

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Кафедра «Химическая технология»
Предмет «Техническая термодинамика»



Реферат

Теплопередача

Выполнил: Студент группы 9-21р-13
Ахмедов Сергей

Проверила: Ахмаджанова Т.М.

Ташкент 2014

Тема: «Теплопередача»**План:**

1. Введение. Понятие теплоты
2. Теплопередача
3. Три основных вида передачи тепла
4. Роль теплоты и её использование
5. Рассмотрение примера с использованием теплопередачи
6. Заключение
7. Список литературы

Введение

ТЕПЛОТА - кинетическая часть внутренней энергии вещества, определяемая интенсивным хаотическим движением молекул и атомов, из которых это вещество состоит. Мерой интенсивности движения молекул является температура. Количество теплоты, которым обладает тело при данной температуре, зависит от его массы; например, при одной и той же температуре в большой чашке с водой заключается больше теплоты, чем в маленькой, а в ведре с холодной водой его может быть больше, чем в чашке с горячей водой (хотя температура воды в ведре и ниже).

Теплота играет важную роль в жизни человека, в том числе и в функционировании его организма. Часть химической энергии, содержащейся в пище, превращается в теплоту, благодаря чему температура тела поддерживается вблизи 37 градусов Цельсия. Тепловой баланс тела человека зависит также от температуры окружающей среды, и люди вынуждены расходовать много энергии на обогрев жилых и производственных помещений зимой и на охлаждение их летом. Большую часть этой энергии поставляют тепловые машины, например котельные установки и паровые турбины электростанций, работающих на ископаемом топливе (угле, нефти) и вырабатывающих электроэнергию.

До конца 18 в. теплоту считали материальной субстанцией, полагая, что температура тела определяется количеством содержащейся в нем «калорической жидкости», или «теплорода». Позднее Б.Румфорд, Дж.Джоуль и другие физики того времени путем остроумных опытов и рассуждений опровергли «калорическую» теорию, доказав, что теплота невесома и ее можно получать в любых количествах просто за счет механического движения. Теплота сама по себе не является веществом – это всего лишь энергия движения его атомов или молекул. Именно такого понимания теплоты придерживается современная физика.

Теплопередача – это процесс переноса теплоты внутри тела или от одного тела к другому, обусловленный разностью температур.

Интенсивность переноса теплоты зависит от свойств вещества, разности температур и подчиняется экспериментально установленным законам природы. Чтобы создавать эффективно работающие системы нагрева или охлаждения, разнообразные двигатели, энергоустановки, системы теплоизоляции, нужно знать принципы теплопередачи. В одних случаях теплообмен нежелателен (теплоизоляция плавильных печей, космических кораблей и т.п.), а в других он должен быть как можно больше (паровые котлы, теплообменники, кухонная посуда).

2. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

Теплопередача — физический процесс передачи тепловой энергии от более горячего тела к более холодному либо непосредственно (при контакте), либо через разделяющую (тела или среды) перегородку из какого-либо материала. Когда физические тела одной системы находятся при разной температуре, то происходит *передача тепловой энергии*, или теплопередача от одного тела к другому до наступления термодинамического равновесия. Самопроизвольная передача тепла *всегда* происходит от более горячего тела к более холодному, что является следствием второго закона термодинамики

Виды теплообмена

Всего существует три простых (элементарных) механизма передачи тепла:

- Теплопроводность
- Конвекция
- Тепловое излучение

Существуют также различные виды сложного переноса тепла, которые являются сочетанием элементарных видов. Основные из них:

- теплоотдача (конвективный теплообмен между потоками жидкости или газа и поверхностью твёрдого тела);
- теплопередача (теплообмен от горячей жидкости к холодной через разделяющую их стенку);
- конвективно-лучистый перенос тепла (совместный перенос тепла излучением и конвекцией);
- термомагнитная конвекция

Внутренние источники теплоты - понятие теории **теплопередачи**, которое описывает процесс производства (реже поглощения) тепловой

энергии внутри материальных тел без какого-либо подвода или переноса тепловой энергии извне. К внутренним источникам теплоты относятся:

- тепловыделение в электрических нагревателях
- тепловыделение при ядерных реакциях
- тепловыделение при химических реакциях

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА- теплообмен между двумя теплоносителями через разделяющую их твёрдую стенку или через поверхность раздела между ними. Т. включает в себя теплоотдачу от более горячей жидкости или газа к стенке, теплопроводность в стенке, теплоотдачу от стенки к более холодной жидкой или газообразной среде. Интенсивность передачи теплоты при Т. характеризуется *коэффициентом теплопередачи k*, численно равным количеству теплоты, которое передаётся через единицу площади поверхности стенки в единицу времени при разности темп-р между теплоносителями в 1 К. Величина $R=1/k$ наз. полным термич. сопротивлением Т. Напр., для однослойной стенки

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2},$$

где α_1 и α_2 - коэф. теплоотдачи от горячей жидкости к поверхности стенки и от поверхности стенки к холодной жидкости, δ - толщина стенки, λ - коэф. теплопроводности.

В большинстве встречающихся на практике случаев k определяется опытным путём по разности темп-р ΔT и *тепловому потоку* dQ через элемент поверхности раздела

$$dS: k = \delta Q / (\Delta T dS).$$



Физика, как наука утверждает, что в природе существуют три вида **теплопередачи**: теплопроводность, конвекция и лучистый теплообмен. Практически во всех источниках просматривается данная иерархия – на первом месте теплопроводность, на втором – конвекция и на третьем – лучистый теплообмен.

Почему сложилась такая последовательность, очевидно, из истории открытия данных явлений. Если теплопроводность и конвекция были известны древним людям, то электромагнитные волны были предсказаны Максвеллом, а затем открыты Герцем только в конце 19 века (1888 году).

«**Теплопередача** - это процесс переноса теплоты внутри тела или от одного тела к другому, обусловленный разностью температур».

Теплопередачу в газах и жидкостях еще можно представить как взаимное проникновение молекул и атомов – горячих в более холодную, а холодных в горячую среду. Но как происходит теплопередача в твердых телах?

Хорошую теплопроводность в металлах физики связывают с присутствием свободных электронов. Но есть один диэлектрик по имени «алмаз», у которого нет свободных, нет слабо связанных электронов, но его теплопроводность зашкаливает.

Теплопроводность алмаза



Какой минерал на Земле, описывая который мы как попугаи повторяем «самый», «самый». Нет, не золото и не платина – это алмаз. Самый твердый, самый дорогой, самый износостойкий, самый блестящий, самый редкий и т.д.

Есть еще одно свойство, связанное с алмазом и словом самый – его теплопроводность. **Теплопроводность алмаза** при комнатной температуре в 3 - 6 раз выше теплопроводности серебра и меди, самых теплопроводных металлов на Земле. Сколько бы вы не грели алмаз в сжатой ладони, он останется холодным. Если сделать из алмаза чайную ложечку, то вы каждый раз, опуская ее в горячий чай, будете обжигать пальцы.

Как и чем можно объяснить самую высокую **теплопроводность алмаза**? Чтобы разобраться с этим не простым вопросом, обратимся к теплопроводности металлов.

Металлы, как известно, являются проводниками, причем, чем лучше металл проводит электрический ток, тем он лучше и проводит тепло. Наука связывает данный эффект со свободными электронами, которые под действием разности потенциалов, выстраиваются в цепь и создают прохождение электрического тока.

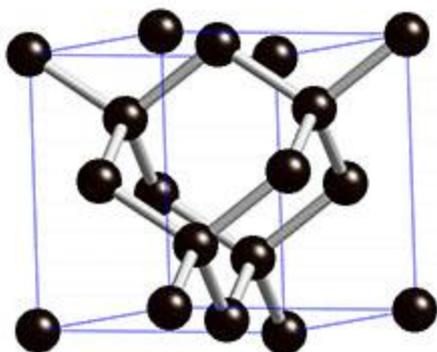
Возьмем медный стержень длиной несколько сантиметров и будем нагревать один конец. Через некоторое, весьма короткое, время второй конец

также будет нагреваться. Физики говорят – стержень обладает теплопроводностью, а свободные, не связанные или слабо связанные электроны, быстро перемещаются и переносят теплоту вдоль стержня.

Медь прекрасный проводник электрического тока. Тогда что происходит с алмазом – он диэлектрик и у него нет свободных электронов-зарядов, а теплопроводность в 5 раз выше, чем у меди.

На мой взгляд, высокая **теплопроводность алмаза** связана с тремя факторами:

1. строением кристаллической решетки;
2. малыми расстояниями между атомами;
3. плотным электромагнитным эфиром.



В кристаллической решётке алмаза каждый атом углерода жестко связан ковалентными связями с четырьмя другими атомами, размещёнными на одинаковом расстоянии. Эти связи по всем направлениям одинаково прочные. Лишним доказательством того, что у алмаза нет свободных электронов говорит о его очень малом коэффициенте теплового расширения (0,0000008), немного уступая кварцевому стеклу. Поскольку у алмаза не может быть конвекции, и нет свободных электронов, то очевидно, основным видом теплопередачи в алмазе является лучистый теплообмен. Структура кристаллической решетки усиливает этот процесс. Даже незначительная разность тепловых потенциалов с помощью излучения быстро выравнивает их.

Снова вернемся к металлам и еще раз разберемся со словами теплопроводность, конвекция и лучистый теплообмен. Начнем с теплопроводности, что скрывается под этим словом?

Под данным словом кроется некий диффузионный перенос теплоты от одного атома к другому. Т.е. свободные электроны, нагретые на одном конце стержня, через некоторое время должны появиться на другом конце стержня и нагреть его. Но так ли это. Рассудим логически, какой колонии электронов нужно перебежать хотя бы на несколько миллиметров, не говоря уже от одного конца стержня к другому, чтобы выровнять температуру, если каждый из них может перенести 1 квант энергии. Получается, что практически все «горячие» электроны должны перебежать на данное расстояние или на противоположную сторону стержня, чтобы нагреть его до той же температуры. Но, в таком случае, они должны возвратиться обратно, иначе нарушится кристаллическая решетка горячего конца, и металл развалится. А как они вернутся обратно, если температурный градиент направлен в одну сторону?

У физиков есть еще одна версия по переносу тепла. Свободные электроны контактируют, иначе соударяются с другими себе подобными и таким образом, по цепочке переносят тепло с нагретого конца к холодному. Но как заставить контактировать эти электроны, они же свободные и летят куда хотят. Не путать с электрическим током, там электроны подчиняются внешнему электрическому полю, т.к. сами находятся под зарядом и по команде этого поля они выстраиваются в проводящую цепочку. А тепловое, нейтральное поле для свободных электронов не указ, да к тому же пространства вокруг, гораздо больше, чем для мячей футбольное поле. Представьте картину, каждому игроку противоположных команд дали по мячу и поставили задачу: попасть в такой же мяч противника. Удары выполняются по очереди с разных сторон поля. И сколько же ударов нужно нанести игрокам, чтобы попасть в заветную мишень. Даже у классных

игроков процент попадания будет низкий, не говоря уже о дилетантах, свободных хаотичных игроках. Перенос тепла в этом случае будет ничтожным.

В любых телах и веществах существует только один перенос энергии от одного атома к другому – это электромагнитный или лучеиспускание, что и косвенно подтверждает нам замечательный минерал – алмаз.

Поэтому, теплопроводность есть не что иное, как тот самый лучистый теплообмен. Отсюда следует, что в природе существуют не три вида теплопередачи, а два: лучистый теплообмен и конвекция. По большому счету, конвективные потоки тоже связаны с лучистым теплообменом, но поскольку они идут только в разреженных субстанциях – жидкостях и газах, то конвекцию пока оставим в покое.

В большинстве случаев, в земных условиях, разности температур нет, но теплообмен, как мы знаем, не прекращается между ними ни на долю секунды.

Вот здесь я ловлю себя на слове. Если разности температур не было, то не было бы и теплопередачи. В любом веществе всегда существует разность температур и давлений, только эту разницу мы ничем измерить не можем. Еще не изобрело человечество таких чувствительных приборов, которыми можно было измерить разность температур между молекулами.

Поэтому, определение теплопередачи в общем виде должно быть записано следующим образом: теплопередача - это процесс переноса теплоты внутри тела или от одного тела к другому, обусловленный разностью температур, с помощью электромагнитного излучения.

В широком, всеобъемлющем, смысле формулировка теплопередачи сводится к весьма короткому словосочетанию:

Теплопередача – это выравнивание теплового потенциала.

Вывод из вышесказанного: стены наших зданий нужно делать из воздуха, а батареи отопления в домах следует изготавливать из алмаза!

3. ТРИ ОСНОВНЫХ ВИДА ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛА

Существуют три основных вида теплопередачи: теплопроводность, конвекция и лучистый теплообмен.

Теплопроводность. Если внутри тела имеется разность температур, то тепловая энергия переходит от более горячей его части к более холодной. Такой вид теплопередачи, обусловленный тепловыми движениями и столкновениями молекул, называется теплопроводностью; при достаточно высоких температурах в твердых телах его можно наблюдать визуально. Так, при нагревании стального стержня с одного конца в пламени газовой горелки тепловая энергия передается по стержню, и на некоторое расстояние от нагреваемого конца распространяется свечение (с удалением от места нагрева все менее интенсивное).

Интенсивность теплопередачи за счет теплопроводности зависит от градиента температуры, т.е. отношения DT/Dx разности температур на концах стержня к расстоянию между ними. Она зависит также от площади поперечного сечения стержня (в m^2) и коэффициента теплопроводности материала [в соответствующих единицах Вт/(мДК)]. Соотношение между этими величинами было выведено французским математиком Ж.Фурье и имеет следующий вид:

$$q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x},$$

где q – тепловой поток, k – коэффициент теплопроводности, а A – площадь поперечного сечения.

Это соотношение называется законом теплопроводности Фурье; знак «минус» в нем указывает на то, что теплота передается в направлении, обратном градиенту температуры.

Из закона Фурье следует, что тепловой поток можно понизить, уменьшив одну из величин – коэффициент теплопроводности, площадь или градиент температуры. Для здания в зимних условиях последние величины практически постоянны, а поэтому для поддержания в помещении нужной температуры остается уменьшать теплопроводность стен, т.е. улучшать их теплоизоляцию.

В таблице представлены коэффициенты теплопроводности некоторых веществ и материалов. Из таблицы видно, что одни металлы проводят тепло гораздо лучше других, но все они являются значительно лучшими проводниками тепла, чем воздух и пористые материалы.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Вещества и материалы	Теплопроводность, Вт/(мD К)
<i>Металлы</i>	
Алюминий	205
Бронза	105
Висмут	8,4
Вольфрам	159
Железо	67
Золото	287
Кадмий	96
Магний	155
Медь	389
Мышьяк	188
Никель	58
Платина	70
Ртуть	7
Свинец	35
Цинк	113
<i>Другие материалы</i>	
Асбест	0,08
Бетон	0,59
Воздух	0,024
Гагачий пух (неплотный)	0,008
Дерево (орех)	0,209
Магнезия (MgO)	0,10
Опилки	0,059

Резина (губчатая)	0,038
Слюда	0,42
Стекло	0,75
Углерод (графит)	15,6

Теплопроводность металлов обусловлена колебаниями кристаллической решетки и движением большого числа свободных электронов (называемых иногда электронным газом). Движение электронов ответственно и за электропроводность металлов, а потому неудивительно, что хорошие проводники тепла (например, серебро или медь) являются также хорошими проводниками электричества.

Тепловое и электрическое сопротивление многих веществ резко уменьшается при понижении температуры ниже температуры жидкого гелия (1,8 К). Это явление, называемое сверхпроводимостью, используется для повышения эффективности работы многих устройств – от приборов микроэлектроники до линий электропередачи и больших электромагнитов.

Конвекция. Как мы уже говорили, при подводе тепла к жидкости или газу увеличивается интенсивность движения молекул, а вследствие этого повышается давление. Если жидкость или газ не ограничены в объеме, то они расширяются; локальная плотность жидкости (газа) становится меньше, и благодаря выталкивающим (архимедовым) силам нагретая часть среды движется вверх (именно поэтому теплый воздух в комнате поднимается от батарей к потолку). Данное явление называется конвекцией. Чтобы не расходовать тепло отопительной системы впустую, нужно пользоваться современными обогревателями, обеспечивающими принудительную циркуляцию воздуха.

Конвективный тепловой поток от нагревателя к нагреваемой среде зависит от начальной скорости движения молекул, плотности, вязкости, теплопроводности и теплоемкости и среды; очень важны также размер и форма нагревателя.

Соотношение между соответствующими величинами подчиняется закону Ньютона

$$q = hA (T_w - T_{-\infty}),$$

где q – тепловой поток (измеряемый в ваттах), A – площадь поверхности источника тепла (в м^2), T_w и $T_{-\infty}$ – температуры источника и его окружения (в кельвинах).

Коэффициент конвективного теплопереноса h зависит от свойств среды, начальной скорости ее молекул, а также от формы источника тепла, и измеряется в единицах $\text{Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$.

Величина h неодинакова для случаев, когда воздух вокруг нагревателя неподвижен (свободная конвекция) и когда тот же нагреватель находится в воздушном потоке (вынужденная конвекция). В простых случаях течения жидкости по трубе или обтекания плоской поверхности коэффициент h можно рассчитать теоретически. Однако найти аналитическое решение задачи о конвекции для турбулентного течения среды пока не удается. Турбулентность – это сложное движение жидкости (газа), хаотичное в масштабах, существенно превышающих молекулярные.

Если нагретое (или, наоборот, холодное) тело поместить в неподвижную среду или в поток, то вокруг него образуются конвективные токи и пограничный слой.

Температура, давление и скорость движения молекул в этом слое играют важную роль при определении коэффициента конвективного теплопереноса.

Конвекцию необходимо учитывать при проектировании теплообменников, систем кондиционирования воздуха, высокоскоростных летательных аппаратов и многих других устройств. Во всех подобных системах одновременно с конвекцией имеет место теплопроводность, причем как между твердыми телами, так и в окружающей их среде. При повышенных температурах существенную роль может играть и лучистый теплообмен.

Лучистый теплообмен. Третий вид теплопередачи – лучистый теплообмен – отличается от теплопроводности и конвекции тем, что теплота в этом случае может передаваться через вакуум. Сходство же его с другими способами передачи тепла в том, что он тоже обусловлен разностью температур. Тепловое излучение – это один из видов электромагнитного излучения. Другие его виды – радиоволновое, ультрафиолетовое и гамма-излучения – возникают в отсутствие разности температур.

На рис. 8 представлена зависимость энергии теплового (инфракрасного) излучения от длины волны. Тепловое излучение может сопровождаться испусканием видимого света, но его энергия мала по сравнению с энергией излучения невидимой части спектра.

Интенсивность теплопередачи путем теплопроводности и конвекции пропорциональна температуре, а лучистый тепловой поток пропорционален четвертой степени температуры и подчиняется закону Стефана – Больцмана

$$q = \sigma A (T_1^4 - T_2^4),$$

где, как и ранее, q – тепловой поток (в джоулях в секунду, т.е. в Вт), A – площадь поверхности излучающего тела (в м²), а T_1 и T_2 – температуры (в кельвинах) излучающего тела и окружения, поглощающего это излучение.

Коэффициент σ называется $0,00096 \times 10^8$ х постоянной Стефана – Больцмана и равен $(5,66961^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ ДК}^4))$.

Представленный закон теплового излучения справедлив лишь для идеального излучателя – так называемого абсолютно черного тела. Ни одно реальное тело таковым не является, хотя плоская черная поверхность по своим свойствам приближается к абсолютно черному телу. Светлые же поверхности излучают сравнительно слабо. Чтобы учесть отклонение от идеальности многочисленных «серых» тел, в правую часть выражения, описывающего закон Стефана – Больцмана, вводят коэффициент, меньший единицы, называемый излучательной способностью. Для плоской черной

поверхности этот коэффициент может достигать 0,98, а для полированного металлического зеркала не превышает 0,05.

Соответственно лучепоглощательная способность высока для черного тела и низка для зеркального.

Жилые и офисные помещения часто обогревают небольшими электрическими теплоизлучателями; красноватое свечение их спиралей – это видимое тепловое излучение, близкое к границе инфракрасной части спектра. Помещение же обогревается теплотой, которую несет в основном невидимая, инфракрасная часть излучения. В приборах ночного видения применяются источник теплового излучения и приемник, чувствительный к ИК-излучению, позволяющий видеть в темноте.

Мощным излучателем тепловой энергии является Солнце; оно нагревает Землю даже на расстоянии 150 млн. км. Интенсивность солнечного излучения, регистрируемая год за годом станциями, расположенными во многих точках земного шара, составляет примерно $1,37 \text{ Вт/м}^2$. Солнечная энергия – источник жизни на Земле.

Ведутся поиски способов наиболее эффективного ее использования. Созданы солнечные батареи, позволяющие обогревать дома и получать электроэнергию для бытовых нужд.

4. РОЛЬ ТЕПЛОТЫ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Глобальные процессы теплообмена не сводятся к нагреванию Земли солнечным излучением. Массивными конвекционными потоками в атмосфере определяются суточные изменения погодных условий на всем земном шаре. Перепады температуры в атмосфере между экваториальными и полярными областями совместно с кориолисовыми силами, обусловленными вращением Земли, приводят к появлению непрерывно изменяющихся конвекционных потоков, таких, как пассаты, струйные течения, а также теплые и холодные фронты.

Перенос тепла (за счет теплопроводности) от расплавленного ядра Земли к ее поверхности приводит к извержению вулканов и появлению гейзеров. В

некоторых регионах геотермальная энергия используется для обогрева помещений и выработки электроэнергии.

Теплота – неперемный участник почти всех производственных процессов. Упомянем такие наиболее важные из них, как выплавка и обработка металлов, работа двигателей, производство пищевых продуктов, химический синтез, переработка нефти, изготовление самых разных предметов – от кирпичей и посуды до автомобилей и электронных устройств.

Многие промышленные производства и транспорт, а также теплоэлектростанции не могли бы работать без тепловых машин – устройств, преобразующих теплоту в полезную работу. Примерами таких машин могут служить компрессоры, турбины, паровые, бензиновые и реактивные двигатели.

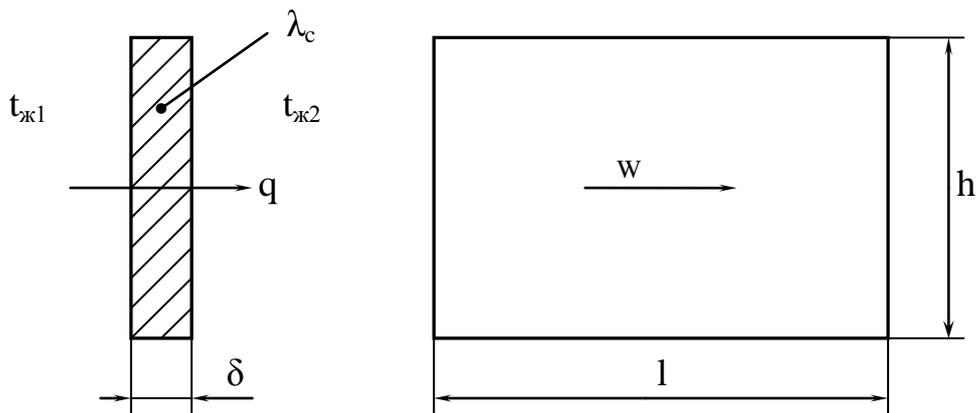
Важным источником теплоты для таких целей, как производство электроэнергии и транспортные перевозки, служат ядерные реакции. В 1905 А.Эйнштейн показал, что масса и энергия связаны соотношением $E = mc^2$, т.е. могут переходить друг в друга. Скорость света c очень велика: 300 тыс. км/с.

Это означает, что даже малое количество вещества может дать огромное количество энергии. Так, из 1 кг делящегося вещества (например, урана) теоретически можно получить энергию, которую за 1000 суток непрерывной работы дает электростанция мощностью 1 МВт

5. Рассмотрение примера с использованием теплопередачи

Задание:

В теплообменном аппарате вертикальная плоская стенка толщиной $\delta = 5,5$ мм, длиной $l = 1,45$ м и высотой $h = 0,95$ м выполнена из стали с коэффициентом теплопроводности $\lambda_c = 50$ Вт/(мК) (рис. 1). С одной стороны она омывается продольным вынужденным потоком горячей жидкости (воды) со скоростью $w = 0,525$ м/с и температурой $t_{ж1} = 80$ °С (вдали от стенки), с другой стороны – свободным потоком атмосферного воздуха с температурой $t_{ж2} = 10$ °С.



Требуется:

1. Определить плотность теплового потока q . Результаты расчетов занести в таблицу. Лучистым теплообменом пренебречь из-за малых значений $t_{ж1}$ и $t_{ж2}$.

2. Провести расчетное исследование вариантов интенсификации теплопередачи при неизменной разности температур между горячим и холодным теплоносителями.

2.1. Определить коэффициент теплопередачи при:

а) увеличении в 5, 10, 15 раз коэффициентов теплопередачи α_1 , α_2 и поверхности стенки F как со стороны горячей жидкости ($K_{5\alpha_1}$, $K_{10\alpha_1}$, $K_{15\alpha_1}$, K_{p5F_1} , K_{p10F_1} , K_{p15F_1}), так и со стороны воздуха ($K_{5\alpha_2}$, $K_{10\alpha_2}$, $K_{15\alpha_2}$, K_{p5F_2} , K_{p10F_2} , K_{p15F_2}).

б) замене стальной стенки на латунную ($K_{\lambda_{л}}$), алюминиевую ($K_{\lambda_{ал}}$) и медную ($K_{\lambda_{м}}$) с коэффициентами теплопроводности соответственно $\lambda_{л} = 102$ Вт/(м·К), $\lambda_{ал} = 202$ Вт/(м·К), $\lambda_{м} = 393$ Вт/(м·К).

Результаты расчетов занести в таблицу.

2.2. Определить степень увеличения коэффициента теплопередачи при изменении каждого из варьируемых факторов σ_i по формуле: $\sigma_i = K_i / K$, где K , K_i – коэффициенты теплопередачи до и после интенсификации теплопередачи.

Результаты расчетов свести в таблицу.

2.3. Обозначив степень изменения варьируемых факторов через z , построить в масштабе (на одном рисунке) графики: $\sigma_{\alpha_1} = f_1(z)$, $\sigma_{F_1} = f_2(z)$, $\sigma_{\alpha_2} = f_3(z)$, $\sigma_{F_2} = f_4(z)$, $\sigma_{\lambda} = f_5(z)$.

2.4. Проанализировать полученные результаты и сформулировать выводы о целесообразных путях интенсификации теплопередачи.

Решение:

1. Для нахождения коэффициентов теплоотдачи α необходимо выбрать уравнения подобия и найти числа подобия.

При вынужденном обтекании плоской поверхности может быть использовано следующее уравнение подобия:

$$Nu_{ж1l} = c Re_{ж1l}^{n_1} \cdot Pr_{ж1}^{n_2} \left(\frac{Pr_{ж1}}{Pr_{c1}} \right)^{0,25};$$

Для воды при температуре 80°C характерны следующие параметры:

$$\nu = 0,365 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \quad Pr_{ж1} = 2,21; \quad \lambda_{ж1} = 67,4 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$$

$$Re_{ж1l} = \frac{wl}{\nu} = \frac{0,525 \cdot 1,45}{0,365 \cdot 10^{-6}} = 20,85 \cdot 10^5;$$

$$Re_{ж1l} > 5 \cdot 10^5 \Rightarrow c = 0,037; \quad n_1 = 0,8; \quad n_2 = 0,43;$$

Зададимся температурами поверхностей стенки со стороны охлаждаемой t_{c1} и нагреваемой t_{c2} сред. Учитывая рекомендации (для металлических стенок в первом приближении можно принять $t_{c1} = t_{c2} = t_c$; температура стенки всегда ближе к температуре той среды, со стороны которой α выше; при вынужденном движении величина α обычно значительно больше, чем при свободном), выбираем $t_{c1} = t_{c2} = t_c = 75^\circ\text{C}$.

При температуре 75°C $Pr_{c1} = 2,38$.

$$Nu_{ж1l} = 0,037 \cdot (20,86 \cdot 10^5)^{0,8} \cdot 2,21^{0,43} \cdot \left(\frac{2,21}{2,38} \right)^{0,25} = 5803,576;$$

При свободном движении (естественной конвекции) вдоль вертикальных поверхностей может быть использовано следующее уравнение подобия:

$$Nu_{ж2h} = c (Gr_{ж2h} \cdot Pr_{ж2})^m \left(\frac{Pr_{ж2}}{Pr_{c2}} \right);$$

Для воздуха при температуре 10°C характерны следующие параметры:

$$\nu = 14,16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}; \quad \text{Pr}_{\text{ж}_2} = 0,705; \quad \lambda_{\text{ж}_2} = 2,51 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$$

а при температуре 75°C $\text{Pr}_{\text{с}_2} = 0,693$.

$$\text{Gr}_{\text{ж}_2\text{h}} = \frac{g \cdot h^3 \cdot \beta}{\nu^2} \Delta t, \text{ где } \beta = \frac{1}{T};$$

$$\text{Gr}_{\text{ж}_2\text{h}} = \frac{9,81 \cdot 0,95^3 \cdot 1/283}{(4,16 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 65 = 9,635 \cdot 10^9;$$

$$\text{Gr}_{\text{ж}_2\text{h}} \cdot \text{Pr}_{\text{ж}_2} = 0,705 \cdot 9,635 \cdot 10^9 = 6,792 \cdot 10^9;$$

$$\text{Gr}_{\text{ж}_2\text{h}} \cdot \text{Pr}_{\text{ж}_2} > 10^9 \Rightarrow c = 0,15; m = 0,33;$$

$$\text{Nu}_{\text{ж}_2\text{h}} = 0,15 \cdot (6,792 \cdot 10^9)^{0,33} \cdot \left(\frac{0,705}{0,693}\right)^{0,25} = 264,554;$$

Коэффициенты теплоотдачи:

$$\alpha_1 = \text{Nu}_{\text{ж}_1} \cdot \frac{\lambda_{\text{ж}_1}}{l} = 5803,576 \cdot \frac{67,4 \cdot 10^{-2}}{1,45} = 2697,662 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}\right);$$

$$\alpha_2 = \text{Nu}_{\text{ж}_2\text{h}} \cdot \frac{\lambda_{\text{ж}_2}}{h} = 264,554 \cdot \frac{2,51 \cdot 10^{-2}}{0,95} = 6,990 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}\right);$$

Коэффициент теплопередачи К для плоской стенки:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2697,662} + \frac{0,0055}{50} + \frac{1}{6,990}} = 6,9666 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}\right);$$

Плотность теплового потока:

$$q = K(t_{\text{ж}_1} - t_{\text{ж}_2}) = 6,9666 \cdot (80 - 10) = 487,662 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}\right);$$

Проверка правильности принятия для температур $t_{\text{с}_1}$ и $t_{\text{с}_2}$ для расчета:

$$t'_{\text{с}_1} = t_{\text{ж}_1} - \frac{q}{\alpha_1} = 80 - \frac{487,662}{2697,662} = 79,819 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t'_{\text{с}_2} = t_{\text{ж}_2} + \frac{q}{\alpha_2} = 10 + \frac{487,662}{6,990} = 79,766 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Отклонения:

$$\Theta_1 = \frac{t'_{\text{с}_1} - t_{\text{с}_1}}{t'_{\text{с}_1}} = \frac{79,819 - 75}{79,819} 100\% = 6,04\% < 10\% \Rightarrow \text{допустимо};$$

$$\Theta_2 = \frac{t'_{\text{с}_2} - t_{\text{с}_2}}{t'_{\text{с}_2}} = \frac{79,766 - 75}{79,766} 100\% = 5,97\% < 10\% \Rightarrow \text{допустимо};$$

Результаты расчета

$\alpha_1,$ Вт/(м ² К)	$\alpha_2,$ Вт/(м ² К)	$1/\alpha_1,$ м ² К/Вт	$1/\alpha_2,$ м ² К/Вт	$\delta/\lambda_c,$ м ² К/Вт	R, м ² К/Вт	K, Вт/(м ² К)	q, Вт/(м ² К)
2697,662	6,990	0,0004	0,1431	0,0001	0,1436	6,9666	487,662

2.1. Коэффициенты теплопередачи при изменении каждого из варьируемых факторов:

$$K_{5\alpha_1} = \frac{1}{\frac{1}{5\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{5 \cdot 2697,662} + \frac{0,0055}{50} + \frac{1}{6,990}} = 6,9810;$$

$$K_{10\alpha_1} = \frac{1}{\frac{1}{10\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{10 \cdot 2697,662} + \frac{0,0055}{50} + \frac{1}{6,990}} = 6,9828;$$

$$K_{15\alpha_1} = \frac{1}{\frac{1}{15\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{15 \cdot 2697,662} + \frac{0,0055}{50} + \frac{1}{6,990}} = 6,9834;$$

$$K_{5\alpha_2} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_c} + \frac{1}{5\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2697,662} + \frac{0,0055}{50} + \frac{1}{5 \cdot 6,990}} = 34,3725;$$

$$K_{10\alpha_2} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_c} + \frac{1}{10\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2697,662} + \frac{0,0055}{50} + \frac{1}{10 \cdot 6,990}} = 67,6277;$$

$$K_{15\alpha_2} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_c} + \frac{1}{15\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2697,662} + \frac{0,0055}{50} + \frac{1}{15 \cdot 6,990}} = 99,8191;$$

$$K_{P5F_1} = \frac{1}{\frac{1}{5\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{5 \cdot 2697,662} + \frac{0,0055}{50} + \frac{1}{6,990}} = 6,9810;$$

$$K_{P10F_1} = \frac{1}{\frac{1}{10\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{10 \cdot 2697,662} + \frac{0,0055}{50} + \frac{1}{6,990}} = 6,9828;$$

$$K_{P15F_1} = \frac{1}{\frac{1}{15\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{15 \cdot 2697,662} + \frac{0,0055}{50} + \frac{1}{6,990}} = 6,9834;$$

$$K_{P5F_2} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_c} + \frac{1}{5\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2697,662} + \frac{0,0055}{50} + \frac{1}{5 \cdot 6,990}} = 34,3725;$$

$$K_{P_{10F_2}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_c} + \frac{1}{10\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2697,662} + \frac{0,0055}{50} + \frac{1}{10 \cdot 6,990}} = 67,6277;$$

$$K_{P_{15F_2}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_c} + \frac{1}{15\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2697,662} + \frac{0,0055}{50} + \frac{1}{15 \cdot 6,990}} = 99,8191;$$

$$K_{\lambda_{л}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_{л}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2697,662} + \frac{0,0055}{102} + \frac{1}{6,990}} = 6,9693;$$

$$K_{\lambda_{ал}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_{ал}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2697,662} + \frac{0,0055}{202} + \frac{1}{6,990}} = 6,9706;$$

$$K_{\lambda_{м}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_{м}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2697,662} + \frac{0,0055}{393} + \frac{1}{6,990}} = 6,9713;$$

Таблица 2

Результаты расчета

$K_{5\alpha_1}$	$K_{10\alpha_1}$	$K_{15\alpha_1}$	$K_{P_{5F_1}}$	$K_{P_{10F_1}}$	$K_{P_{15F_1}}$	$K_{5\alpha_2}$	$K_{10\alpha_2}$
6,9810	6,9828	6,9834	6,9810	6,9828	6,9834	34,3725	67,6277
Вт/(м ² К)							
$K_{15\alpha_2}$	$K_{P_{5F_2}}$	$K_{P_{10F_2}}$	$K_{P_{15F_2}}$	$K_{\lambda_{л}}$	$K_{\lambda_{ал}}$	$K_{\lambda_{м}}$	
99,8191	34,3725	67,6277	99,8191	6,9693	6,9706	6,9713	
Вт/(м ² К)							

2.2. Степень увеличения коэффициента:

$$\sigma_{5\alpha_1} = \frac{K_{5\alpha_1}}{K} = \frac{6,9810}{6,9666} = 1,0021;$$

$$\sigma_{10\alpha_1} = \frac{K_{10\alpha_1}}{K} = \frac{6,9828}{6,9666} = 1,0023;$$

$$\sigma_{15\alpha_1} = \frac{K_{15\alpha_1}}{K} = \frac{6,9834}{6,9666} = 1,0024;$$

$$\sigma_{5\alpha_2} = \frac{K_{5\alpha_2}}{K} = \frac{34,3725}{6,9666} = 4,9339;$$

$$\sigma_{10\alpha_2} = \frac{K_{10\alpha_2}}{K} = \frac{67,6277}{6,9666} = 9,7074;$$

$$\sigma_{15\alpha_2} = \frac{K_{15\alpha_2}}{K} = \frac{99,8191}{6,9666} = 14,3282;$$

$$\sigma_{5F_1} = \frac{K_{P5F_1}}{K} = \frac{6,9810}{6,9666} = 1,0021;$$

$$\sigma_{10F_1} = \frac{K_{P10F_1}}{K} = \frac{6,9828}{6,9666} = 1,0023;$$

$$\sigma_{15F_1} = \frac{K_{P15F_1}}{K} = \frac{6,9834}{6,9666} = 1,0024;$$

$$\sigma_{5F_2} = \frac{K_{P5F_2}}{K} = \frac{34,3725}{6,9666} = 4,9339;$$

$$\sigma_{10F_2} = \frac{K_{P10F_2}}{K} = \frac{67,6277}{6,9666} = 9,7074;$$

$$\sigma_{15F_2} = \frac{K_{P15F_2}}{K} = \frac{99,8191}{6,9666} = 14,3282;$$

$$\sigma_{\lambda_{\text{л}}} = \frac{K_{\lambda_{\text{л}}}}{K} = \frac{6,9693}{6,9666} = 1,0004;$$

$$\sigma_{\lambda_{\text{ан}}} = \frac{K_{\lambda_{\text{ан}}}}{K} = \frac{6,9706}{6,9666} = 1,0006;$$

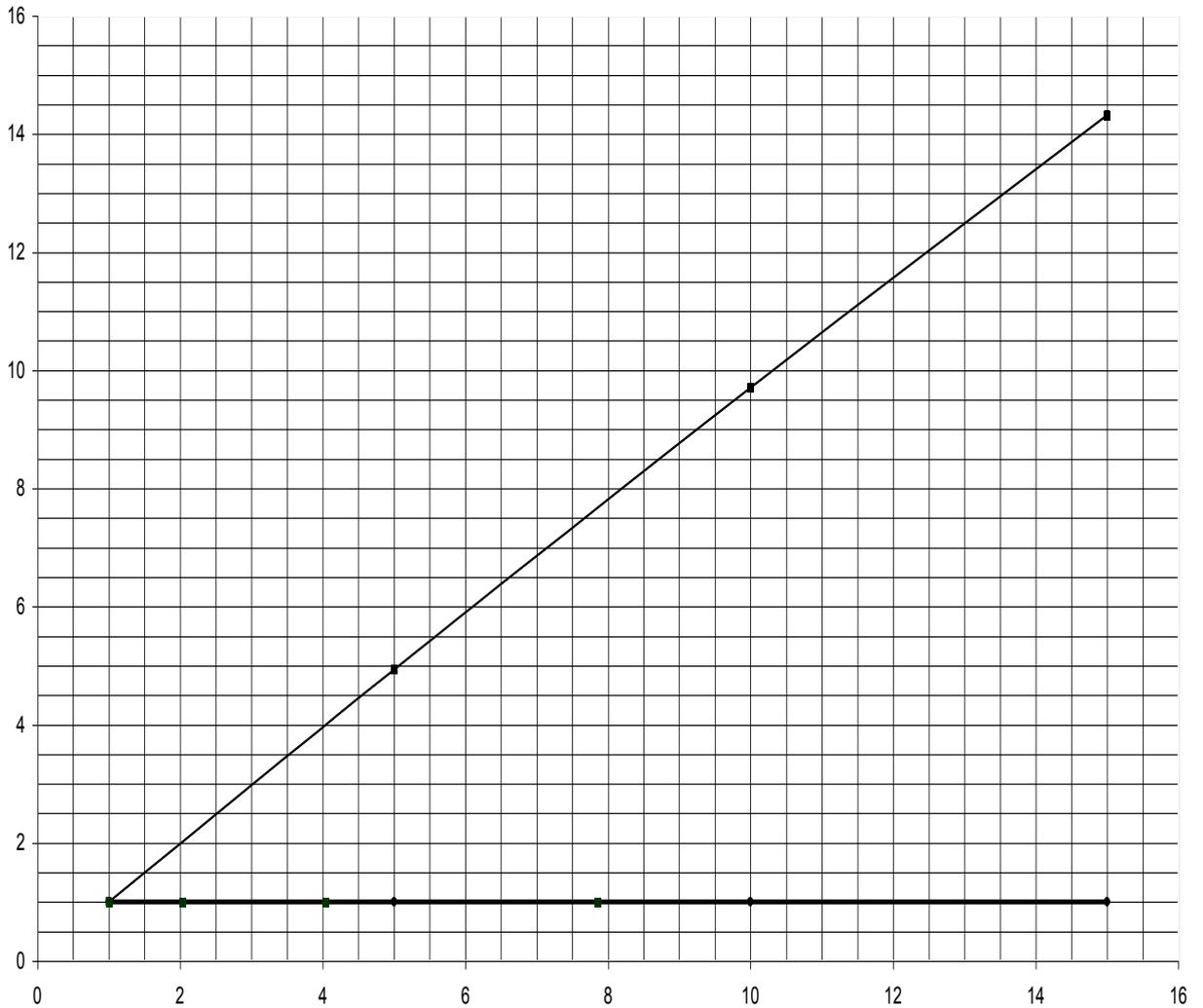
$$\sigma_{\lambda_{\text{м}}} = \frac{K_{\lambda_{\text{м}}}}{K} = \frac{6,9713}{6,9666} = 1,0007;$$

Таблица 3

Результаты расчета

$\sigma_{5\alpha_1}$	$\sigma_{10\alpha_1}$	$\sigma_{15\alpha_1}$	σ_{5F_1}	σ_{10F_1}	σ_{15F_1}	$\sigma_{5\alpha_2}$	$\sigma_{10\alpha_2}$
1,0021	1,0023	1,0024	1,0021	1,0023	1,0024	4,9339	9,7074
$\sigma_{15\alpha_2}$	σ_{5F_2}	σ_{10F_2}	σ_{15F_2}	$\sigma_{\lambda_{л}}$	$\sigma_{\lambda_{ал}}$	$\sigma_{\lambda_{м}}$	
14,3282	4,9339	9,7074	14,3282	1,0004	1,0006	1,0007	

2.3.Графики: $\sigma_{\alpha_1} = f_1(z)$, $\sigma_{F_1} = f_2(z)$, $\sigma_{\alpha_2} = f_3(z)$, $\sigma_{F_2} = f_4(z)$, $\sigma_{\lambda} = f_5(z)$.



Наклонная линия характеризует 2 наложенных друг на друга графика функций $\sigma_{\alpha_2} = f_3(z)$ и $\sigma_{F_2} = f_4(z)$. Линия, почти параллельная оси абсцисс, характеризует 3 наложенных друг на друга графика функций $\sigma_{\alpha_1} = f_1(z)$, $\sigma_{F_1} = f_2(z)$ и $\sigma_{\lambda} = f_5(z)$.

2.4. Выводы:

1. из таблицы 1 видно, что величину полного термического сопротивления и коэффициента теплопередачи определяет термическое сопротивление теплоотдачи со стороны стенки, омываемой свободным потоком атмосферного воздуха.

2. из графика, таблиц 2 и 3 видно, что увеличение коэффициента теплоотдачи и поверхности стенки со стороны горячей жидкости, а также изменение материала стенки практически не увеличивают теплопередачу. А увеличение коэффициента теплоотдачи и поверхности стенки со стороны воздуха является эффективным средством ее интенсификации, поскольку термическое сопротивление со стороны стенки, омываемой свободным потоком атмосферного воздуха, вносит наибольший вклад в полное термическое сопротивление теплопередачи.

3. необходимо уменьшать наибольшее из частных термических сопротивлений, предварительно численно вычислив каждое сопротивление.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях интенсификации технологических процессов, разработки и освоения новой техники существенное значение получают мероприятия направленные на обеспечение функциональной способности конструктивных элементов, работающих в области высоких температур и интенсивных тепловых нагрузок. Конструктивные элементы, работающие в таких условиях, требуют, как правило, эффективных средств тепловой защиты. Одной из наиболее эффективных систем тепловой защиты является испарительное охлаждение защищаемых элементов. Повышение эффективности испарительного охлаждения по сравнению с чисто конвективным связано с фазовым превращением охлаждающей среды в охлаждающем контуре, которое идёт с большим поглощением тепла и практически при постоянной температуре, близкой к температуре насыщения. Расчёт параметров испарительного охлаждения конструктивных элементов связан с целым комплексом расчётов, включающих:

расчёт состава атмосферы в рабочем пространстве агрегата;

расчёт теплофизических и радиационно-оптических характеристик атмосферы;

расчёт характеристик радиационно-конвективного теплообмена охлаждаемого элемента;

расчёт теплопередачи через рабочие поверхности охлаждаемого элемента;

определение режима фазового перехода при испарительном охлаждении.

Решение такой комплексной задачи осложняется нелинейностью её постановки: "внутренней" и "внешней". Внутренняя нелинейность постановки определяется зависимостью теплофизических характеристик материала конструктивных элементов от температуры. "Внешняя" – наличием в качестве составляющего – радиационного теплообмена.

Нелинейные постановки задач характерны выражением искомых функций в неявном виде, поэтому решение таких задач связано, как правило, с организацией некоторого итерационного процесса, позволяющего найти приближенное решение с заданной точностью. Рассмотрим основные теоретические положения, связанные с расчётом испарительного охлаждения конструктивных элементов, находящихся в условиях радиационно – конвективного теплообмена.

Список литературы:

1. *Лит.*: Михеев М. А., Михеева И. М., Основы теплопередачи, 2 изд., М., 1977; Шорин С. Н., Теплопередача, 2 изд., М., 1964
2. Физический энциклопедический словарь. — М.: Советская энциклопедия. Главный редактор А. М. Прохоров. 1983
3. Кутателадзе С. С., Боришанский В. М. Справочник по теплопередаче. - М.: Гостехиздат, 1959.- 414 С.
4. Миснар В. Д. Теплопроводность твёрдых тел, газов и жидкостей. - М.: Наука, 1973. – 445 С.
5. Исаченко В. П. Теплопередача. – М.: Энергия, 1969. – 439 С.
6. Ривкин С. Л., Александров А.А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. – М.: Энергия, 1980. – 80 С.
7. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи. – М.: Мир, 1983. – 511С.