

ТЕПЛОМАССОБМЕН В РАЗНЫХ МНОГОФАЗНЫХ СРЕДАХ

В.А. Султанов¹, О.Р. Каратаев²

Казанский (Приволжский) Федеральный Университет¹
Slava_Sultanov1411@mail.ru

Ключевые слова: тепломассообмен в разных многофазных средах, явление теплопроводности, явление конвекции, явление теплового излучения, сложный теплообмен, фазовые превращения.

Текст аннотации: в работе представлен способ исследования процесса тепломассообмена, разделения его на три элементарных вида: теплопроводность, конвекцию и тепловое излучение, а также примеры этих видов, встречающихся в действительности в многофазных средах.

Annotation text: the paper presents a method for studying the heat and mass exchange process, dividing it into three elementary types: thermal conductivity, convection and thermal radiation, as well as examples of these types, which are actually found in multiphase media.

Одной из важнейших дисциплин, составляющих теоретическую основу технической физики и энергетики, является термодинамика и теплопередача.

Термодинамика – это наука о закономерностях превращения энергии из одного вида в другой, о наиболее общих макроскопических свойствах материи. Она изучает различные как физические, так и химические явления, обусловленные превращениями энергии. Применение закономерностей термодинамики позволяет анализировать свойства веществ, предсказывать их поведение в различных условиях. Термодинамика дает возможность исследовать различные процессы от простых в однородных средах до сложных с физическими и химическими превращениями, биологических и др.

Термодинамика основана на двух, экспериментально установленных законах (началах).

Первый закон (начало) является по существу законом преобразования и сохранения энергии применительно к процессам, изучаемым в термодинамике; «невозможен процесс возникновения или исчезновения энергии».

Второй закон (начало) – определяет направление течения реальных (неравновесных) процессов; «невозможен процесс, имеющий единственным своим результатом превращение теплоты в работу».

Теплопередача (тепломассообмен) – это учение о самопроизвольных необратимых процессах распределения (переноса) теплоты в пространстве с неоднородным полем температуры.

Теплота передается тремя простейшими принципиально отличными друг от друга способами:

- теплопроводностью,
- конвекцией,
- тепловым излучением.

Этим способам соответствуют такие способы переноса теплоты, как:

- молекулярный,
- конвективный,

- радиационный.

Основы учения о теплоте заложены ещё академиком М.В. Ломоносовым; он создал механическую теорию теплоты и первым установил законы сохранения материи и энергии. Исследования показали, что теплообмен является сложным процессом. Поэтому при изучении этот процесс расчленяют условно на простые явления. Различают три выше перечисленных вида теплообмена (теплопроводность, конвекцию и тепловое излучение) [1].

Явление теплопроводности состоит в том, что обмен энергии происходит путём непосредственного соприкосновения между частицами тела, путем упругих волн, путем диффузии атомов или молекул и путем диффузии свободных электронов.

Явление конвекции происходит лишь в жидкостях и газах. Оно состоит в том, что перенос энергии осуществляется путем перемещения частиц. При этом очень большое значение имеют состояние и характер движения жидкости. Явление конвекции всегда сопровождается явлением теплопроводности [2].

Явление теплового излучения – это процесс распространения энергии в виде электромагнитных волн. По природе это явление отлично от теплопроводности и конвекции и сопровождается двойным превращением энергии – тепловой энергии в лучистую и, обратно, лучистой энергии в тепловую.

В действительности же эти выше перечисленные элементарные виды теплообмена не обособлены и в чистом виде встречаются редко. В большинстве случаев один вид теплообмена сопровождается другим [3].

Например, в паровом котле, в процессе передачи тепла от топочных газов к внешней поверхности кипящих трубок, одновременно участвуют все три вида теплообмена – теплопроводность, конвекция и тепловое излучение. А от внешней поверхности кипящих трубок к внутренней через слой сажи, металлическую стенку и слой накипи тепло передается только путем теплопроводности. И наконец, от внутренней поверхности кипящих трубок к воде тепло передается только конвекцией [4].

Следовательно, на отдельных участках пути прохождения тепла элементарные виды теплообмена находятся в самом различном сочетании и разделить их очень трудно.

В практических же расчетах такие сложные процессы иногда целесообразно рассматривать как одно целое. Так, например, перенос тепла от горячей жидкости к холодной через разделяющую их стенку называется процессом теплопередачи.

Совокупность всех трёх видов переноса теплоты называют сложным теплообменом. Однако изучение закономерностей сложного теплообмена представляет довольно трудную задачу. Поэтому изучают порознь каждый из трёх видов теплообмена, после чего становится возможным вести расчеты, относящиеся к сложному теплообмену:

- градиент температуры ($\text{grad } t = \partial t / \partial n$);
- теплопроводность (λ);
- количество теплоты (Q) и т.д.

Измерение температуры производится при помощи ртутных термометров, термопар и болометров (термометров сопротивления). Применение того или иного способа измерения определяется условиями эксперимента; в большинстве случаев применяются термопары, из них наиболее ходовыми являются медь-константановые, железо-константановые и никель-нихромовые при диаметре проволок от 0,1 до 0,5 мм. Изготавливать термопары и градуировать их лучше всего самим; необходимый для этого навык приобретается очень быстро.

Проволока для термопар должна быть высшего качества, желательно в двойной изоляции [6].

А. Расчет распределения температуры магнетитовой формы (Т).

Для случая неустановившегося теплового потока в твердом теле без внутренних источников, рассмотрим уравнение нестационарного температурного поля (уравнение теплопроводности Фурье):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \nabla^2 T$$

В начальный момент времени пластина имела температуру T_0 . Температура окружающей среды равна T_1 . Безразмерная температура равна

$$\theta = \frac{T - T_0}{T_1 - T_0}$$

В результате получаем

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a \nabla^2 \theta.$$

Представим функцию θ как

$$\theta = \varphi(F_0) \psi(\xi),$$

$$F_0 = \frac{at}{\delta^2} \quad \text{где - функция} \quad \xi = \frac{x}{\delta} \quad \text{времени, а - функция координаты.}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial F_0} = \nabla^2 \theta \quad \text{Тогда}$$

Ищем решение в виде произведения 2-х функций

$$\varphi'(F_0) \psi(\xi) = \varphi(F_0) \nabla^2 \psi(\xi),$$

$$\frac{\varphi'(F_0)}{\varphi(F_0)} = \frac{\nabla^2 \psi(\xi)}{\psi(\xi)} = -\beta^2.$$

$$\text{Для } \beta_1^2 = \frac{\pi}{2}, \quad a = \frac{\lambda}{\rho c_p}.$$

Получаем решение в безразмерном виде

$$\theta = 2 \frac{\sin(\beta_1) \cos(\beta_1 \xi)}{\beta_1 + \sin(\beta_1) \cos(\beta_1)} e^{(-\beta_1^2 F_0)}.$$

Для

$$T = 2 \frac{\sin(\beta_1) \cos(\beta_1 \frac{x}{\delta})}{\beta_1 + \sin(\beta_1) \cos(\beta_1)} e^{(-\beta_1^2 F_0)} (T_1 - T_0) + T_0.$$

Результаты расчетов распределения температуры представлены на рисунках 1 и 2.

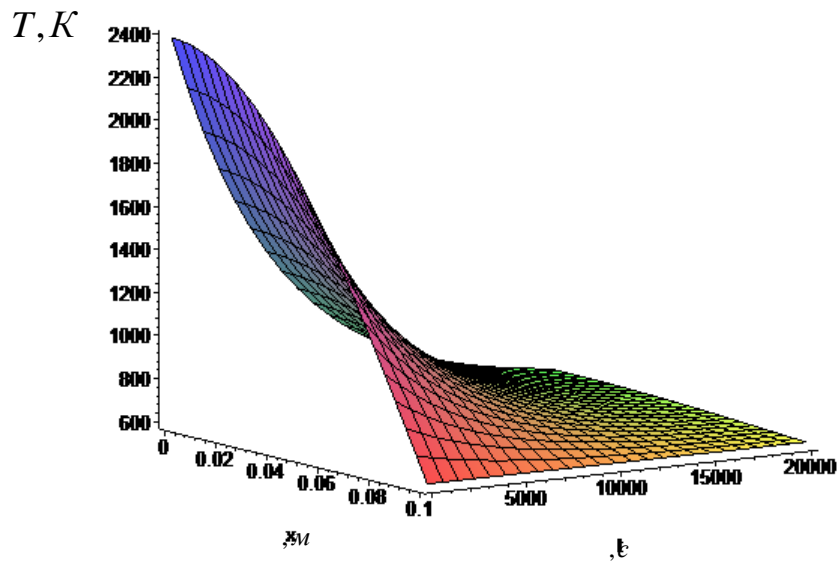


Рисунок 1 Пространственно-временное распределение температуры в магnezитовой форме толщиной 10 см

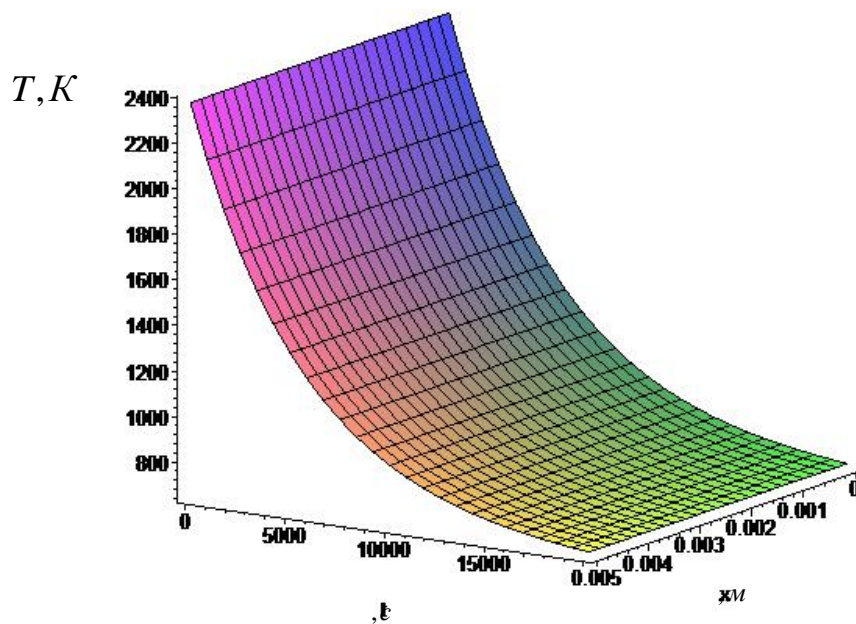


Рисунок 2 Пространственно-временное распределение температуры в слое магnezитовой формы толщиной 5 мм

Б. Определение коэффициентов теплопроводности (λ).

Большинство методов определения коэффициентов теплопроводности материалов основано на стационарном режиме – это:

- метод плиты;
- метод трубы;
- метод шара.

Для нашего случая больше подходит метод плиты. Этот метод основан на законе теплопроводности плоской стенки неограниченных размеров.

Если количество выделившегося тепла равно Q и температуры t_1 и t_2 известны, то коэффициент теплопроводности определяется из следующего соотношения:

$$\lambda = \frac{Q\delta}{F(t_1 - t_2)} = \frac{0,86 \cdot I \cdot \Delta E \delta}{F(t_1 - t_2)},$$

где F – поверхность центрального нагревателя, m^2

δ - толщина образца, м.

В. Определение коэффициента теплоотдачи (α).

Способы определения и изучения коэффициента теплоотдачи весьма разнообразны. В каждом отдельном случае эти способы обуславливаются задачей и конкретной обстановкой опыта.

$$\alpha_0 = \frac{Q}{F(t_w - t_f)},$$

где Q – расход энергии;

t_w – температура поверхности стенки,

t_f – температура поверхности стенки.

$$\alpha_0 = \alpha_c + \alpha_l$$

α_0 – суммарный коэффициент теплоотдачи.

Таким образом, фазовые превращения вещества (конденсация, кипение, испарение) сопровождаются существенным изменением условий теплообмена около поверхности. Переход теплоносителя из одного агрегатного состояния в другое влияет на механизм и интенсивность теплообмена [2]:

1. При конденсации.

В случаях соприкосновения пара со стенкой, температура которой ниже температуры насыщения, происходит конденсация. Конденсат выпадает на стенке в виде капель или пленки, т.е. конденсация может иметь капельный или пленочный характер. Возможна и смешанная конденсация, когда часть поверхности покрыта пленкой, а часть – каплями конденсата. Наиболее часто в технических устройствах встречается пленочная конденсация. Капельная конденсация наблюдается только в случаях, когда жидкость не смачивает поверхность.

2. При кипении в большом объеме.

В этих случаях процесс теплообмена между жидкостью и поверхностью нагрева сопровождается превращением жидкости в пар.

3. При кипении в условиях движения жидкости по трубам.

Тепломассообмен при кипении жидкости, движущейся по трубам и каналам, имеет ряд особенностей, которые обусловлены изменением температуры стенки и жидкости вдоль трубы. Температура насыщения по длине трубы уменьшается благодаря уменьшению давления из – за гидравлического сопротивления.

По условиям теплообмена трубу можно подразделить на ряд участков. Во входном участке температура стенки трубы меньше температуры насыщения. Проходя через этот участок, жидкость подогревается, причем теплообмен не сопровождается кипением. На втором участке трубы температура стенки превышает температуру насыщения, но ядро потока еще не достигло этой температуры. Поэтому отделяющиеся от поверхности нагрева пузырьки пара частично или полностью конденсируются в центральной части потока. Такое явление называют кипением недогретой жидкости. К началу третьего участка центральная часть потока достигает температуры насыщения. На этом участке происходит развитое пузырьковое кипение. Здесь паросодержание может достигать большой величины, и по трубе движется, по существу, двухфазный поток.

4. При испарении.

Теплообмен между поверхностью пленки и горячим газом сопровождается испарением жидкости. Механизм теплоотдачи при поступлении пара в пограничный слой горячего газа такой же, как и при подводе к поверхности газа – охладителя, но фазовый переход на поверхности теплообмена приводит к появлению некоторых особенностей.

При стационарном процессе теплообмена часть поступающей к поверхности пленки теплоты компенсирует теплоту испарения жидкости, а часть расходуется на подогрев пленки и передается в стенку. Если подведенная к поверхности пленки теплота равна теплоте, затраченной на испарение жидкости, то по всей толщине пленка будет иметь постоянную температуру и теплота в стенку передаваться не будет. Такой процесс испарения называют адиабатным.

Аналогично протекает процесс испарения твердого тела.

Если температура поверхности меньше температуры в тройной точке фазовой диаграммы, то вещество переходит из твердого состояния в парообразное, минуя жидкую фазу.

Такой процесс испарения называют сублимацией.

Следовательно, расчет теплообмена при испарении и сублимации не может быть выполнен без оценки массообмена, т.е. без расчета плотности массового потока пара.

Литература:

1. Бармасов А.В. Курс общей физики для природопользователей. Молекулярная физика и термодинамика: учеб. пособие / А.В. Бармасов, В.Е. Холмогоров / Под ред. А.П. Бобровского. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 499 с., ил. (Учебная литература для вузов) – ISBN 978-5-94157-731-6 <http://znanium.com/bookread2.php.book=349974>.
2. Юдаев Б. Н. Техническая термодинамика. Теплопередача: Учеб. для неэнергетич. спец. вузов.- М.: Высш. шк., 2012. – 479 с.: ил.
3. Мухачев Г.А. Термодинамика и теплопередача / Г.А. Мухачев, В.К. Щукин М.: Высшая школа. 1991. – 480 с.
4. Райзер Ю. П. Физика газового разряда – М.: Наука. – 1987. – 592 с.
5. Сергель О. С. Прикладная гидрогазодинамика / О. С. Сергель – М.: Машиностроение. – 1981. – С. 131.
6. Михеев М.А. Основы теплопередачи. – М.: Государственное энергетическое издательство. – 1956. -392 с.