

Стамбекова Г.А.

**ТАБИГЫЙ ЖАНА АРГАСЫЗДЫКТАН ЖЫЛУУЛУК АЛМАШУУ
ПРОЦЕССТЕРИНЕ АНАЛИЗ ЖҮРГҮЗҮҮ**

Стамбекова Г.А.

**АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ И
ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ**

G.A. Stambekova

**ANALYSIS OF HEAT TRANSFER PROCESSES IN NATURAL
AND FORCED CONVECTION**

УДК: 66.045.1:621.3.036.27

Бул иште бир катар өнөр жай объектилеринде болуучу жылуулук алмашуу процесстери каралды, жылуулук алмашуу процесстерине талдоо жүргүзүү аткарылды, бул процесстерге тийиштүү болгон факторлор жана конвективдүү жылуулук берүү коэффициентинин агымдын ылдамдыгынан, кыймылдын мүнөзүнөн, өтүп жаткан телонун формасынан жана ченеминен, чөйрөнүн касиетинен жана абалынан болгон көз карандылыгы ачылып берилди. Жылуулук өткөрүмдүүлүктү жана конвективдүү жылуулук алмашууну баяндап берүүчү мыйзамдар келтирилди, эркин жана аргасыз конвекция учурундагы агуу режимдери каралды.

Негизги сөздөр: конвективдүү жылуулук алмашуу, конвективдүү жылуулук берүү, жылуулук алмашуунун үстүнкү бети, нур жылуулук алмашуусу, эркин конвекция, аргасыз конвекция, Фурьенин мыйзамы, Ньютон-Рихмандын мыйзамы, жылуулук агымы, агуу режимдери: ламинардык, өткөөлчүлүк жана турбуленттүү.

В работе были рассмотрены протекающие процессы теплообмена в ряде промышленных объектов, выполнен анализ процессов теплообмена, выявлены факторы присутствующие данным процессом и зависимость коэффициента конвективной теплоотдачи от скорости потока и характера движения, от формы и размера обтекаемого тела, от свойств и состояния среды, приведены законы описывающие процессы теплопроводности и конвективного теплообмена, рассмотрены режимы течения при свободной и вынужденной конвекции.

Ключевые слова: конвективный теплообмен, конвективная теплоотдача, поверхность теплообмена, лучистый теплообмен, свободная конвекция, вынужденная конвекция, закон Фурье, закон Ньютона-Рихмана, тепловой поток, режимы течения: ламинарный, переходный и турбулентный.

In the paper, the processes of heat exchange in a number of industrial objects are considered, heat transfer processes are analyzed, the factors inherent in this process and the dependence of the coefficient of convective heat transfer on the flow velocity and motion character, on the shape and size of the streamlined body, on the properties and the state of the medium are given, laws describing the processes thermal conductivity, and convective heat transfer, flow regimes for free and forced convection are considered.

Key words: convective heat transfer, convective heat transfer, heat exchange surface, radiant heat exchange, free convection, forced convection, fourier law, Newton-Rikhman law, heat flow, laminar, transient and turbulent flow regimes.

В природе и в промышленных установках протекают процессы обмена различных объектов энергией и массой (иногда применяют вместо термина обмен-перенос). Самым распространенным явлением тепло-и массопереноса в природе является испарение воды в океанах, протекающее за счет солнечной энергии: химическое вещество H_2O покидает жидкую фазу (воду океана) и поступает в газообразную (воздух).

Процесс сушки сырых материалов является типичным примером тепло- и массообмена в промышленных процессах. Удаление влаги осуществляют в сушильных установках в результате теплообмена материала с горячим воздухом или горячей газо-воздушной смесью и при этом тепло- и массообмен протекают совместно. Тепло- и массообмен может происходить не только в физических процессах, но часто сопровождается и химическими реакциями.

Процесс горения и газификации твердого топлива в промышленных топках и газогенераторах является примером тепло-и массообмена в таких устройствах.

Процессы тепло- и массообмена сложны по своей природе, они связаны с движением вещества – конвективной (молярной) и молекулярной диффузией и определяются законами аэродинамики и газодинамики, термодинамики, передачи энергии в форме тепла, передачи лучистой энергии и превращением ее в теплоту и наоборот.

Достаточно вспомнить, что на выплавку в доменной печи 1 т чугуна из железных руд расходуется 600-750 кг каменноугольного кокса [4]. Плавка стали в мартеновских печах происходит при очень высокой температуре: жидкая сталь выпускается из печи при 1500°C и выше. Тепло выделяется в печах при интенсивном сжигании, газообразного или жидкого топлива.

В паровых котлах, в промышленных печах, в сушилах и в теплообменных аппаратах осуществляется теплообмен между греющими и нагреваемыми теплоносителями. Так, в паровом котле тепло от горячих дымовых газов, образующихся при сгорании топлива, передается через поверхность стальных труб движущейся внутри них воде.

В мартеновской печи тепло от раскаленного факела передается шихте, лежащей на поду ванны.

Шихта быстро нагревается, плавится и состав стали доводится до заданного.

Естественно прийти к выводу, что производительность тепловых агрегатов в первую очередь определяется интенсивностью теплопередачи, а затем размерами агрегатов и другими условиями.

Таким образом, большое количество задач, поставленных практикой в промышленном производстве, относится только к передаче энергии в форме тепла, поскольку процессы могут протекать практически без массообмена.

Среди тепловых процессов, применяемых в производстве, основное место занимает процесс передачи тепла от его источников к обрабатываемому материалу. Такими источниками тепла являются раскаленные или горячие твердые, газообразные или жидкие тела.

Тепло самопроизвольно распространяется от тел с большей температурой к телам с меньшей температурой. При наличии разности температур в одном теле или во многих телах (твердых, жидких и газообразных) возникает процесс теплообмена или теплопередачи, который протекает тем интенсивнее, чем больше разность температур.

Теплообмен является сложным процессом. Однако ради простоты изучения различают три элементарных вида теплообмена: теплопроводность (кондукцию), конвекцию и тепловое излучение.

Теплопроводность определяется тепловым движением микрочастиц тела, т.е. движение микроструктурных частиц вещества (молекул, атомов, ионов, электронов). Обмен энергией между движущимися частицами происходит в результате непосредственных столкновений их; при этом молекулы более нагретой части тела, обладающие большей энергией, сообщают долю ее соседним частицам, энергия которых меньше.

В газах перенос энергии происходит путем диффузии молекул и атомов, в жидкостях и твердых диэлектриках – путем упругих волн. В металлах перенос энергии осуществляется колеблющимися ионами решетки и диффузией свободных электронов («электронным газом»): значение упругих колебаний кристаллической решетки в этом случае не имеет большого значения.

Однако в теории теплопроводности не рассматривается движение микроструктурных частиц, поскольку она базируется на анализе макропроцессов. В 1807 г. основной закон теплопроводности был сформулирован французским ученым Б.Фурье, является феноменологическим описанием процесса и имеет вид [1-4]:

$$q = -\lambda \text{ grad } t \text{ вт/м}^2$$

где q – удельный тепловой поток;

λ – коэффициент теплопроводности вещества, вт/(м · град);

grad t – градиент температуры, град/м.

В дальнейшем под жидкостью будут подразумеваться не только капельные жидкости, но также и

газы. При этом скорости движения будем выбирать небольшие по сравнению со скоростью звука, что позволяет пренебрегать сжимаемостью газов.

В технике применяют разнообразные жидкоститеплоносители с разными физическими свойствами-газообразные продукты сгорания, воздух, пар, воду, органические жидкие теплоносители, расплавленные металлы и т. д.

Распространение тепла путем перемещения объемов жидкости или газов называется конвекцией (от слова «convectio», означающего «привоз, принесение»).

Конвекция бывает естественной, если движение вызвано разностью удельных весов жидкости или газа и вынужденной, когда движение создается насосом или вентилятором. Из определения конвекции следует, что количество передаваемого конвекцией в единицу времени тепла прямо связано со скоростью движения среды. Тепло передается главным образом в результате происходящих потоков жидкости или газа (макрообъемов), но отчасти тепло распространяется и в результате обмена энергией между частицами, т.е. теплопроводностью. Таким образом, конвекция всегда сопровождается теплопроводностью (кондукцией), и, следовательно, теплопроводность является неотъемлемой частью конвекции. Совместный процесс конвекции тепла и теплопроводности называют конвективным теплообменом.

Конвективный теплообмен между потоком теплоносителя и поверхностью называют конвективной теплоотдачей или теплоотдачей соприкосновением и описывают формулой Ньютона – Рихмана [1-4]:

$$q_k = \alpha_k \cdot \Delta t \quad \text{вт/м}^2$$

где q_k – удельный поток тепла;

α_k – коэффициент конвективной теплоотдачи, вт/(м² · град);

Δt – средняя разность температур между греющей средой и нагреваемой поверхностью (температурный напор), град.

Величину, обратную коэффициенту теплоотдачи $1/\alpha$, называют термическим сопротивлением. Коэффициент конвективной теплоотдачи зависит от многих факторов и на практике значение его составляет от 2 (от свободно движущегося воздуха к плоскости) до 5000 вт/(м² · град) и более (от вынужденно движущейся воды в трубах к их поверхности). Оно зависит от скорости потока и характера движения, от формы и размера обтекаемого тела, от свойств и состояния среды.

В чистом виде теплопроводность встречается только в твердых телах и очень тонких прослойках жидкостей и газов. В замкнутом пространстве, если расстояние не превышает между пластинами 1-2 мм процесс переноса тепла осуществляется теплопроводностью.

В большом объеме жидкости или газа теплопроводность всегда сопровождается конвекцией.

При соприкосновении движущейся жидкости или газа (назовем их теплоносителем) с более горячей стенкой тепло передается от стенки к теплоносителю и распространяется в нем путем конвекции и теплопроводности. Теплообмен между поверхностью и омывающим ее теплоносителем называется конвективным теплообменом. Иногда его называют теплоотдачей соприкосновением или просто теплоотдачей.

Примерами конвективного теплообмена являются:

а) теплоотдача от горячих газов к стенке и от стенки к воде в паровом котле (рис. 1);

б) теплоотдача от левой поверхности к воздуху и от воздуха к правой поверхности (рис. 2).

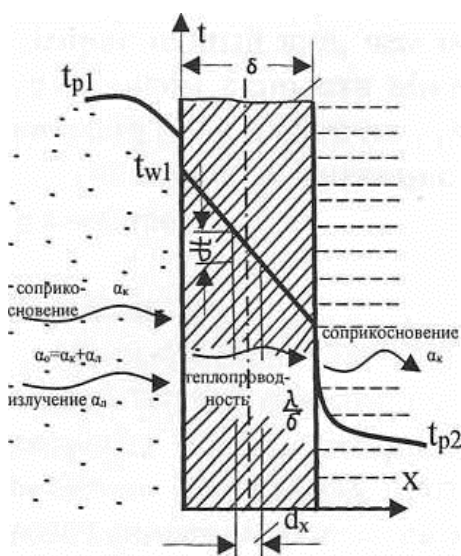


Рис. 1. Способы распространения тепла и виды теплообмена.

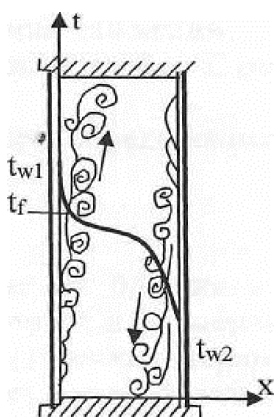


Рис. 2. Конвективный перенос тепла.

Вынужденное движение осуществляется нагнетателями (вентиляторами, компрессорами, насосами и т. д.), естественное вызывается разностью удельных весов жидкости в разных местах ее объема.

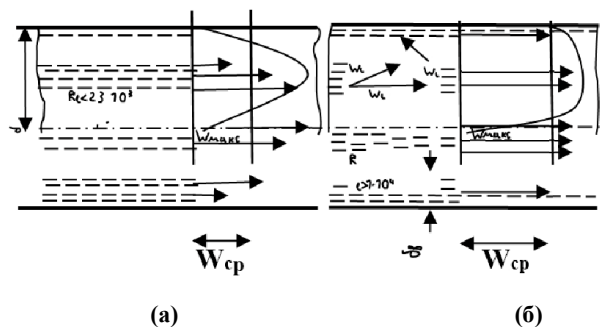


Рис. 3. Распределение скоростей при движении жидкости в трубе:

а - ламинарное движение; б - турбулентное движение

Движение жидкости может быть ламинарным или турбулентным.

При ламинарном или слоистом движении струи жидкости в своем течении повторяют очертание канала или стенки. В силу внутреннего трения (вязкости) скорость жидкости различна по сечению. Но скорость в каждой точке при установившемся движении постоянна, т.е. струи потока располагаются упорядоченно, скользя одна по отношению к другой. При ламинарном движении эпюра скоростей представляет параболу (рис. 3), для которой отношение максимальной скорости w_{max} к средней w_{cp} равно 2. Распространение тепла по нормали к направлению движения происходит благодаря его микрофизической природе (теловому движению молекул и атомов), т.е. путем теплопроводности.

При турбулентном движении происходит постоянное перемешивание жидкости; струи хаотически возникают и перемешиваются одна с другой, вследствие чего увидеть отдельные струи нельзя. Чем больше турбулентность, тем интенсивнее перемешивается жидкость, однако температура теплоносителя по сечению практически постоянна и поэтому роль свободной конвекции, зависящей от разности температур, заметного влияния на теплоотдачу не оказывает.

У стенки всегда наблюдается вязкий подслой (ламинарный пограничный слой), в котором жидкость движется крайне медленно и как бы прилипает к поверхности. Тепло через этот тонкий слой распространяется только теплопроводностью и в нем наблюдается очень резкое падение температуры – от температуры жидкости до температуры стенки. Пограничный слой ограничивает теплоотдачу от жидкости к стенке, протекающую в условиях турбулентного режима, протекающую в общем интенсивно. Скорость жидкости в каждой точке переменна и подвергается частым пульсациям, изменяясь по величине и направлению. В случае турбулентного движения для каждой точки приходится рассматривать усредненные значения скоростей. Вектор действительной скорости w_i ; некоторой ассоциации молекул можно разложить на две составляющих: осредненную во времени скорость, соответствующую упорядоченному перемещению жидкости в направлении движения \bar{w}_i ;

и пульсационную скорость w'_i . Пульсационная скорость все время изменяется по величине и направлению, но, если усреднить ее за довольно длительный отрезок времени, то она обращается в нуль. Отмечая усредненные скорости чертой сверху, получим $w_i = \bar{w}_i + w'_i$; $\bar{w}_i = 0$; $\bar{w}_i = w_i + w'_i$.

Профиль скоростей при турбулентном движении (рис. 3-б) имеет более выпрямленный вид, чем при ламинарном движении, т.е. характеризуется крутым градиентом скорости вблизи поверхности трубы.

Отношение $w_{\max}/w_{\text{ср}}$ для всего сечения (а не для точки) равно $1,2 \div 1,3$. Ламинарное движение переходит при определенных условиях в турбулентное, и наоборот.

При ламинарном движении в трубах перенос тепла в радиальном направлении осуществляется путем теплопроводности и теплоотдача от жидкости к стенке (или наоборот) и протекает медленно вследствие малой теплопроводности жидкости. В отличие от теплопроводности и конвективного переноса теплоты, теплообмен излучением не требует непосредственного контакта тел.

Науку, изучающую распространение теплоты называют теплопередачей или теорией теплообмена.

Основы учения о теплоте были заложены великим русским ученым М.В.Ломоносовым, который в 1744 г. в работе «Размышление о причине теплоты и холода» установил физическую сущность теплоты и истолковал процесс распространения тепла как передачу движения от одних частиц тела к другим [4].

В области теплопередачи известны труды русских ученых конца XIX в. - А.Г.Столетова, В.А.Михельсона, Н.А.Умова и Б.Б.Голицина.

Учение о теплообмене очень быстро развивалось в течение последних 40 лет.

В эту науку наряду с зарубежными исследованиями большой вклад внесли и ученые Советского Союза. Особенно следует отметить работы акаде-

мика М.В.Кирпичева и его школы в области теории подобия теплофизических процессов и конвективно-го теплообмена, работы М.А.Михеева, А.А.Гухмана, Г.М.Кондратьева, А.В.Лыкова, С.Н. Щорина и многих других.

Тепловые процессы лежат в основе многих важнейших производств: металла, машин, строительных материалов, химических и пищевых продуктов и др.

Выводы:

Процесс теплообмена зависит от большого количества факторов. В общем случае он является функцией формы и размеров тела, режима движения, скорости и температуры жидкости, физических параметров жидкости и других величин. По-разному протекает процесс теплоотдачи в зависимости от природы возникновения движения жидкости.

Литература:

1. Баскаков А.П., Гуревич М.И. Общая теплотехника. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. - С. 392.
2. Боришанский В.М., Кутателадзе С.С. Справочник по теплопередаче. М.-Л. ГЭИ, 1959. 414 с
3. Исаченко В.П., В.А. Осипова, Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергоиздат, 1981. - С. 416.
4. Луканин В.Н., Шатров М.Г., Камфер Г.М. Теплотехника: Учебник для вузов. - М.: Высш. шк., 2000. - С. 671.
5. Матвеев Г.А. Теплотехника. - М.: Машиностроение, 1986.
6. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: «Энергия», 1977. - С. 344.
7. Нашекин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. - М.: Высшая школа, 1980.
8. Осипова В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. Изд. 2-е, М.: «Энергия», 1969. - С. 392.
9. Петухов Б.С., Шиков В.К. Справочник по теплообменникам. - Том 1. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - С. 560.
10. Сушкн И.Н., Щукин А.А., Теплотехника. М.: Изд. «Металлургия», 1973. - С. 479.

Рецензент: к.т.н., профессор Саньков В.И.