

КОНТАКТНЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Климов А.М., Мартынов А.А.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (603950, Нижний Новгород), e-mail: ooaxis@yandex.ru

Теплообменные аппараты (теплообменники) представляют собой устройства, предназначенные для передачи тепла от одной рабочей среды (теплоносителя) к другой. Теплоносители могут быть газообразными, жидкими и твердыми. Теплообменники имеют различные назначения: в них могут протекать процессы нагревания, охлаждения, кипения, конденсации, расплавления, затвердевания, а также сложные термохимические процессы – выпаривание, ректификация, полимеризация, вулканизация и многие другие. По характеру обмена теплом теплообменные аппараты разделяются на поверхностные и смешительные (контактные).

Контактные теплообменники (КТ) предназначены для нагрева и охлаждения различного рода жидких, газовых, твердых рабочих тел, конденсации паров, испарения (выпаривания) и кристаллизации. Их широко используют в промышленности. Например, их применяют для нагрева (охлаждения) воды газами и растворами; для нагрева (охлаждения) растворов с целью последующей кристаллизации растворенного компонента; для нагрева и охлаждения агрессивных растворов промежуточными теплоносителями, а также твердых частиц и тел газами и жидкостями. Контактные теплообменники используют в энергетических установках различных типов (для нагрева воды перед деаэрацией, в системах регенерации энергии в паротурбинных блоках и др.); в установках деминерализации и очистки сточных промышленных вод; в коммунальном хозяйстве для нагрева воды продуктами сгорания.

Ключевые слова: теплообменные аппараты, контактные теплообменники

CONTACT HEAT EXCHANGERS, THEIR CLASSIFICATION

Klimov A.M., Martynov A.A.

Nizhny Novgorod state University of architecture and construction (603950, Nizhny Novgorod, Russia), e-mail: ooaxis@yandex.ru

Heat exchangers (heat exchangers) are devices designed to transfer heat from one fluid (coolant) to the other. The fluids may be gaseous, liquid and solid. Heat exchangers have different purposes: they can be the processes of heating, cooling, boiling, condensation, melting, solidification, as well as complex thermochemical processes – evaporation, distillation, polymerization, vulcanization, and many others.

By the nature of the exchange of heat exchangers are divided into surface and mixing (contact).

Contact heat exchangers (CT) are used for heating and cooling of various kinds of liquid, gas, solid working, condensation, evaporation (evaporation and crystallization). They are widely used in industry. For example, they are used for heating (cooling) water, gases, and solutions; for heating (cooling) solutions for the purpose of crystallization of the dissolved component; for heating and cooling of aggressive solutions intermediate heat transfer fluids, and solids and solids gases and liquids. Contact heat exchangers used in power plants of different types (for water heating before deaeration, in systems energy recovery in steam turbine units, etc.); in demineralization plants and industrial waste waters; in utilities for heating water by combustion products.

Keywords:

В химической промышленности контактные теплообменники используют во многих производствах. Например, применяют контактные конденсаторы и испарители хлора; аппараты для охлаждения газов при получении аммиачной селитры; для охлаждения воздухом катализатора при контактном производстве серной кислоты; охладители ацетиленов; градирни в замкнутых системах охлаждения воды и др.

Преимущества контактных теплообменников по сравнению с поверхностными – высокая интенсивность процессов теплообмена, существенное уменьшение коррозии оборудования, исключение возможности отложений на поверхностях нагрева, возможность повы-

шения температурного уровня технологических процессов, простота конструкции и снижение затрат дефицитных материалов и соответственно материальных затрат; отсутствие разделяющей поверхности позволяет использовать в качестве теплоносителей загрязненные и агрессивные газы, жидкости, высококонцентрированные растворы и др. Недостатки – загрязнение одного теплоносителя другими, ограниченность предельных температур охлаждения и нагрева сред, существенные потери температурного напора, сложность организации равномерного распределения потоков и др.

В контактных теплообменниках тепло передается путем непосредственного соприкосновения рабочих тел. Теплообмен сопровождается массообменом (испарение жидкости в газовую фазу, конденсация пара, конвективный и диффузионный перенос). Сопутствующий теплообмену массоперенос часто существенно влияет на ход процессов в аппарате. При изучении рабочих процессов в теплообменнике массообмен необходимо учитывать лишь в той мере, в какой он влияет на теплообмен.

Теплоносители взаимодействуют через границу раздела (контакта) фаз, которая должна быть возможно более развитой. Для увеличения поверхности контакта в аппарате используют насадки, перегородки, решетки, тарелки, распылители жидкости и другие устройства. Во многих случаях поверхность раздела между контактирующими теплоносителями можно выделить лишь условно, а иногда и просто невозможно: теплообмен происходит при смешении рабочих тел в объеме аппарата, примером является теплообменник, в котором воду с более высокой температурой используют для повышения температуры более холодной воды до температуры 0К при смешении.

На интенсивность переноса тепла существенно влияют гидродинамические процессы (обуславливающие поверхность контакта между теплоносителями, скорость и направление их движения), а также процессы срыва и уноса капель жидкости, растворения одной фазы в другой, дегазации жидкости и т.п. Существенные трудности обусловлены необходимостью выполнения противоречивых условий: с одной стороны, должен быть обеспечен хороший контакт взаимодействующих сред, а с другой — отделение их друг от друга.

Классификация контактных теплообменников. Во многих отраслях промышленности – химической, металлургической, пищевой и других – широко применяют контактные теплообменные аппараты (контактные теплообменники). В этих аппаратах процесс подвода или отвода тепла при нагреве или охлаждении газов, жидкостей, твердых тел осуществляется при непосредственном контакте теплоносителей, без соприкосновения их с теплопередающей поверхностью. Преимущества контактных теплообменников по сравнению с поверхностными (снижение металлоемкости и коррозионно-эрозионного износа, повышение надежности, отсутствие отложений, возможность существенного повышения температуры нагрева теплоно-

сителей и др.) обуславливают все более широкое применение этих аппаратов в промышленности и перспективность использования их в объектах новой техники.

Особое значение имеют контактные теплообменники в системах утилизации вторичных ресурсов и в установках обезвреживания жидких, газообразных и твердых отходов.

Использование контактных теплообменников — один из эффективных путей экономии металлов и других дефицитных материалов, снижения капитальных и эксплуатационных затрат, повышения надежности оборудования.

Процессы переноса тепла и массы в контактных, теплообменниках чрезвычайно сложны. Их исследование и расчет затрудняют такие факторы, как совместный тепло и массообмен, изменение во времени и в пространстве поверхности взаимодействия теплоносителей, существенное продольное и поперечное перемешивание, вертикальная конвекция, неравномерность гидродинамических характеристик по сечению аппарата, нестационарность распределения частиц (капель, пузырей), пульсации параметров и многие другие. Поэтому математическое моделирование процессов тепло- и массопереноса в контактных теплообменниках может быть выполнено лишь при существенных упрощениях. Ввиду ограниченности методов расчета и моделирования при разработке контактных аппаратов часто используют данные, полученные экспериментальным путем.

По числу ступеней контактные теплообменники разделяют на одно- и многоступенчатые (каскадные). В каждой ступени гидродинамические, тепло и массообменные процессы взаимосвязаны. В свою очередь ступени (каскады) взаимодействуют друг с другом. В контактных теплообменниках параметры рабочих тел изменяются в пространстве.

По функциональному назначению — на нагреватели, охладители, испарители (выпарные аппараты), конденсаторы, плавители, кристаллизаторы и др. В контактных теплообменниках процессы протекают как без изменения агрегатного состояния сред, так и с изменением (испарители, конденсаторы, плавители).

По способу организации процессов — на аппараты непрерывного и периодического действия. Аппараты периодического действия применяют в установках небольшой производительности, они отличаются простотой конструкции и надежностью. Аппараты непрерывного действия применяют в установках большой производительности, они способствуют стабилизации процесса во времени, что облегчает их регулирование и автоматизацию и упрощает обслуживание.

В большинстве контактных теплообменников параметры (температура, давление, скорости, концентрация), характеризующие процесс, постоянны во времени и являются функцией координат (стационарные, или установившиеся процессы). В ряде случаев существенна роль нестационарных (неустановившихся) процессов, когда параметры теплоносителей зависят от

времени. Такие процессы характерны для аппаратов периодического действия, а также для непрерывнодействующих аппаратов в период их пуска, остановки или при изменении режима работы. Аппараты, в которых для интенсификации процессов используют пульсации, вибрацию, также работают в нестационарных режимах.

По числу и типу взаимодействующих фаз – на аппараты, в которых создаются двухфазные системы (газ – жидкость, пар – жидкость, жидкость – жидкость, газ – твердые частицы, пар – твердые частицы, жидкость – твердые частицы, твердые частицы – твердые частицы, газ – газ, пар – пар) и трех фаз системы (например, газ – жидкость – твердые частицы).

По характеру сил, используемых для создания взаимного движения теплоносителей, – на аппараты, в которых движение теплоносителей определяется силами гравитации, инерции, давления, поверхностного натяжения, архимедовой, электромагнитными или их комбинацией.

Обычно движение теплоносителей происходит под действием нескольких сил. Так, в насадочных противоточных аппаратах «газ – жидкость» газ перемещается под действием давления, создаваемого нагнетателем, а жидкость – под действием сил гравитации.

По наличию специфических зон тепломассопереноса – на аппараты с зонами однофазного нагрева (охлаждения), испарения, конденсации, кристаллизации и др. Для большинства КТ характерно наличие нескольких зон. Например, в теплообменниках для охлаждения дымовых газов водой существуют зоны насыщения газов парами воды, конденсации паров и подлинной температуры охлаждающей воды.

По принципу образования межфазной поверхности – на аппараты с фиксированной поверхностью контакта фаз, с формированием поверхности контакта в результате движения теплоносителей или в результате подвода энергии извне. В аппаратах первой группы (например, пленочных) поверхность контакта определяется поверхностью элементов и их конструкцией; в аппаратах второй группы поверхность контакта образуется при перемешивании, диспергировании, псевдооживлении сред, а третьей – при работе механических мешалок, вращении или вибрации элементов, наложении пульсаций на потоки.

По взаимному направлению потоков теплоносителей – на аппараты с противоточным, перекрестным и смешанным движением сред. В отдельных теплообменниках используют более сложные способы организации потоков.

По характеру изменения параметров в объеме – на аппараты без изменения параметров (аппараты полного перемешивания), с изменением (аппараты полного вытеснения) и смешанного типа.

Контактные теплообменники состоят из следующих основных элементов: камер греющей и нагреваемой среды, устройств для распределения и взаимодействия теплоносителей в объеме аппарата, корпуса. Кроме того, для функционирования теплообменника необходимы

устройства подачи и отвода теплоносителей (насосы, газодувки, транспортеры и т. п.). Контактный теплообменник представляет собой систему взаимодействующих элементов, в то же время он сам взаимодействует с агрегатами, обеспечивающими подачу и отвод теплоносителей, и с другими аппаратами технологических систем, в которых этот аппарат функционирует. Таким образом, являясь элементом технологических систем, контактный теплообменник, в свою очередь, представляет собой систему взаимодействующих элементов (процессов).

По конструктивным признакам контактные теплообменники подразделяют на полые, с трубой Вентури, барботажные, погружного горения, тарельчатые, с неподвижной, подвижной и регулярной насадкой, со встречными струями, с внешним подводом энергии.

Полые теплообменники могут быть распылительного, брызгального и других типов. Теплоносители могут двигаться в них противотоком или прямотоком. В полых теплообменниках типа «газ – жидкость» гидравлическое сопротивление составляет 3,3–10 кПа при скорости газов 1–5 м/с; в форсунках создается давление 0,1–3,5 МПа. Разновидностью полых аппаратов являются циклонные, с трубой Вентури, в которых распыление жидкости производится потоком. Поток жидкости орошает стенки трубы или распыляется с форсунок в наиболее узком месте трубы. Стоимость трубы Вентури мала, значителен расход энергии – 0,05 кВт/м³ газа. Гидравлическое сопротивление труб Вентури составляет 4–5 кПа. Разновидностью таких аппаратов являются аппараты с распределительным диском (пленкообразователем), установленные в трубе Вентури. Тонкая пленка жидкости подхватывается потоком газа и дробится. Диск может перемещаться по оси трубы, что позволяет подбирать оптимальные условия работы при изменении расхода газа. К недостатку аппаратов с трубой Вентури следует отнести невозможность организации противоточного движения теплоносителей. Этот недостаток частично устраняется при использовании многоступенчатых схем.

К брызгальным относятся открытые аппараты, в которых жидкость распределяется с помощью центробежных или форсуночных распылителей и движется в виде капель под действием силы тяжести.

Широкое распространение получили барботажные контактные теплообменники типа газ – жидкость, пар – жидкость, жидкость – жидкость.

Разновидностью таких теплообменников является аппарат погружного горения. В промышленности используют барботажные аппараты, не заполненные насадкой, оборудованные (в нижней части) устройством (пористые плиты, перфорированные решетки, сопла и др.) для диспергирования потока газа или жидкости, поступающего снизу. Над этим устройством находится слой жидкости, высота которого поддерживается постоянной, через который барботируют пузырьки газа или капли жидкости. В аппаратах барботажного типа практически осуществляется режим, близкий к режиму полного перемешивания, однако вследствие про-

дольного и поперечного перемешивания движущая сила процесса в них уменьшается, а температуры теплоносителей на выходе из аппарата практически равны. Для уменьшения продольного перемешивания осуществляют секционирование барботажных аппаратов с помощью промежуточных решеток (при этом они превращаются в тарельчатые).

В тарельчатых теплообменниках один из теплоносителей подается в верхнюю часть аппарата и движется вниз под действием сил гравитации, перемещаясь от тарелки к тарелке через отверстия в них, а другой перемещается за счет архимедовой силы либо сил давления. Тарельчатые аппараты – наиболее распространенные. Существует множество конструкций таких аппаратов: полочные, с сетчатыми сегментными тарелками, клапанные, колпачковые, провальные (без переливных устройств) и др.

В тарельчатых аппаратах типа «газ – жидкость» скорость газа в отверстиях тарелки составляет 6 – 10 м/с и более. Газ проходит через отверстия, а затем (в виде пузырей или струй) – через слой жидкости на тарелке. При этом на тарелке может образоваться слой пены высотой в несколько сантиметров, которая является основной зоной взаимодействия жидкости и газа. Высота слоя пены определяется соотношением расходов жидкости и газа, а также конструкцией тарелки. Гидравлическое сопротивление тарельчатых аппаратов по газу достигает 3,3 – 13,5 кПа на одну тарелку. Отверстия для прохождения газа и жидкости могут забиваться примесями, содержащимися в теплоносителях. Разработан пенный аппарат типа газ – жидкость, в котором вся жидкость на тарелке находится в виде слоя пены. Это обеспечивает развитую и непрерывно обновляющуюся поверхность раздела фаз. Пенные аппараты работают устойчиво в широком интервале скоростей газа – от 0,8 до 4 м/с. Гидравлическое сопротивление их невелико, а коэффициенты тепло и массопередачи весьма высоки.

В насадочных аппаратах контакт теплоносителей осуществляется при прохождении их через слой нерегулярных насадок различной формы, размеров, из различных материалов. В большинстве случаев эти аппараты выполняют в виде вертикальных колонн, в которых теплоносители перемещаются противотоком. Насадочные аппараты газ – жидкость характеризуются низкими потерями давления (1,0–10 кПа) при плотности орошения 1–10 м³/(м²·ч). Скорость газа составляет 1,0–2,0 м/с. Чрезмерное вспенивание жидкости и засорение между элементами насадки вызывают необходимость использования таких аппаратах специальных сепараторов различных конструкций. Несколько большие скорости газов (до 3 м/с) достигаются в насадочных аппаратах перекрестным током. При скоростях движения газа более 2,5–3,0 м/с требуется разработка специальных конструкций – с регулярной насадкой. В Одесском технологическом институте разработаны контактные теплообменники с пленочным режимом течения на плоскопараллельной регулярной насадке с канавами различного профиля. В таких аппаратах достигаются высокие коэффициенты теплопередачи.

Перспективны (особенно для систем «газ – жидкость», «газ – твердые частицы») контактные теплообменники со встречными струями.

Широко используют теплообменники с внешним подводом энергии. Чаще всего их применяют для систем «жидкость – жидкость». В простейшем случае они представляют собой аппараты с механическими мешалками. Используют также барабанные, ротационно-дисковые, центробежные и другие аппараты с механическим перемешиванием.

При разработке и эксплуатации контактных теплообменников решают следующие основные задачи: определение параметров проектируемого аппарата; определение эффективных режимов работы действующих теплообменников; анализ установившихся и переходных процессов при управлении теплообменником. Можно выделить и более частные задачи:

- а) перевод технологических систем, включающих поверхностные теплообменники, на использование (там, где это необходимо) более эффективных контактных теплообменных аппаратов;
- б) интенсификация процессов контактного теплообмена, создание компактных аппаратов (уменьшение их габаритов);
- в) увеличение единичной тепловой мощности теплообменников;
- г) создание теплообменников для утилизации вторичных энергоресурсов, нагрева и охлаждения агрессивных и коррозионно-активных сред для высоко и низкотемпературной техники;
- д) максимальное использование температурного потенциала горячего или холодного источника и повышение энергетической эффективности контактных теплообменных аппаратов и установок;
- е) минимизация уноса теплоносителей и повышение экологической эффективности контактных теплообменников;
- ж) оптимизация режимов работы.

Список используемой литературы.

1. Антуфьев В. М., Гусев В. К., Ивахненко В. В. и др. Теплообменные аппараты из профильных листов. Л., «Энергия», 1972, 128 с.
2. Богатых С. А. Комплексная обработка воздуха в пенных аппаратах. Л., «Судостроение», 1971. 144 с.
3. Мателенок Д. А. Охлаждение воздуха или оборотной воды в вентиляторных теплообменниках. Л., «Профиздат», 1973, 205 с.
4. Семенов П. А., Шварцштейн Я. В. Абсорбер с плоскопараллельной насадкой. Ж. «Химическая промышленность», 1952.
5. Соснин Ю. П. Контактные водонагреватели. 2-е изд. М., «Стройиздат», 1974, 359 с.