

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ТЕПЛООБМЕНА РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Мансурова Р. Р*., Денисенко И. П*., Печенегов Ю. Я**.

* Балаковский инженерно-технологический институт (филиал) НИЯУ «МИФИ»,
Россия, Балаково, irishka.den@mail.ru

** Энгельский технологический институт (филиал) СГТУ им. Гагарина Ю.А.,
Россия, Энгельс, y.pechenegov@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены характеристики интенсификаторов теплообмена различной конфигурации. Выбор метода интенсификации теплообмена в каждом случае индивидуален и определяется назначением аппарата, его конструкцией, свойствами рабочего тела и тому подобными факторами.

Ключевые слова: интенсификация, теплообмен, сопротивление, оребрение, завихритель.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF HEAT TRANSFER VARIOUS DESIGNS INTENSIFIERS

Mansurova R. R*., Denisenko I. P*., Pechenegov Y. Y**.

** Balakovo engineering and technological Institute (branch) of national research nuclear University "MEPHI",
Russia, Balakovo, irishka.den@mail.ru

** Engels technological Institute (branch) of Saratov state technical University n. a. After Y. A. Gagarin,
Russia, Engels, y.pechenegov@mail.ru

Abstract. The characteristics of heat exchange intensifiers of different configurations considered. The choice of method of heat exchange intensification in each individual case and depends on the function of the devices, its construction, properties of the working fluid, and the like factors.

Keywords: intensification, heat transfer, resistance, fins, swirl.

Для уменьшения массы теплообменной аппаратуры и повышения ее эффективности проводятся исследования и внедрение в промышленность различных методов интенсификации теплообмена. В настоящее время интенсификация конвективного теплообмена является одной из сложных проблем.

Чтобы увеличить количество тепла, передаваемое от одного теплоносителя к другому, необходимо увеличить коэффициент теплопередачи, который увеличивается путем снижения температуры стенки.

Для интенсификации теплообмена в каналах используются различные методы - закрутка и турбулизация потока, оребрение поверхности, выступы и углубления различной формы, а также некоторые другие методы [1].

При использовании винтовой накатки при изотермическом режиме течения гидравлическое сопротивление увеличивается, его рост зависит от геометрических характеристик канала. Максимальное увеличение гидравлического сопротивления достигается при установке трубы, имеющей минимальный шаг винтовой накатки $S/D = 0,72$ и максимальную высоту выступа $d/D = 0,72$. При ламинарном режиме повышение гидравлического сопротивления вызвано наличием небольших завихрений непосредственно за выступом винтовой накатки. При турбулентном режиме наблюдается расширение зоны вихревых возмущений, т. е. турбулизация течения, сопровождающаяся резким повышением гидравлического сопротивления. Для ламинарного режима характерно повышение гидравлического сопротивления на 30-200% по отношению к сопротивлению гладкой трубы, для турбулентного - до 350-600%.

Применение интенсификатора в форме винтовой накатки дает значительный эффект повышения интенсивности теплообмена по сравнению с гладкой трубой. Максимальный эффект достигается для трубы с минимальным шагом винтовой накатки $S/D = 0,72$. С ростом высоты винтовой накатки наблюдается рост интенсивности теплообмена. При этом отмечается эффект интенсификации (40-250%) в зависи-

мости от геометрических параметров винтовой накатки. По достижении критического значения числа $Re_{кр}$ происходит резкое увеличение интенсивности теплообмена (эффект интенсификации достигает 150-700%).

Теплогидравлическая эффективность зависит от геометрических характеристик S/D и d/D исследуемого канала. Наиболее рационально использовать трубы с относительными шагами $S/D=1,79$ и $0,72$ и относительной высотой $d/D = 0,72$. При этом темп роста эффективности теплоотдачи превышает рост гидравлического сопротивления для ламинарного режима на 10-15%, а для турбулентного - на 25%.

При использовании труб со вставками из проволоочных спиралей значения коэффициентов гидравлического сопротивления при изотермическом течении вязкой жидкости заметно увеличивается. При низких значениях числа Рейнольдса увеличение коэффициента сопротивления по сравнению с гладкой трубой составляет 100-300%, а при более высоких - достигает 1000% и более в зависимости от геометрических размеров спиралей. Это можно объясняется тем, что при низких значениях чисел Re , соответствующих малым расходам, жидкость обтекает проволоочную спираль, и возникают малые вихри за проволокой. При увеличении расходов в движущейся жидкости возникают вторичные течения, происходит турбулизация потока, приводящая к более сильному росту значений коэффициентов гидравлического сопротивления. Подобные эффекты наблюдаются при использовании труб со вставками из скрученных лент. Границей между двумя режимами течений вязкой жидкости в винтовом канале является критическое число $Re_{кр}$. Его значение зависит от геометрических характеристик проволоочной спирали.

Коэффициент теплоотдачи в трубах со вставками увеличивается в 2-4,5 раза в зависимости от геометрических параметров [2]. С уменьшением чисел $Re < 100$ интенсивность теплообмена постепенно приближается к теплоотдаче в гладкой трубе.

Заметное влияние на теплообмен оказывал относительный диаметр проволоки спирали. С ростом значений d/D интенсивность теплообмена увеличивается. На теплообмен существенное влияние оказывает и относительный шаг проволоочной спирали S/D . Анализ полученных результатов показал, что увеличение S/D приводит к ухудшению теплообмена.

С точки зрения теплогидравлической эффективности для интенсификации конвективного теплообмена при ламинарном течении вязкой жидкости можно рекомендовать проволоочные спиральные вставки, если имеется запас мощности нагнетателей. Целесообразнее использовать их для значений чисел $Re < Re_{кр}$. Проволоочные спиральные вставки сравнительно несложно установить в существующие на ТЭЦ маслоохладители и мазуто-подогреватели, тем более что гидравлическое сопротивление теплообменников составляет небольшую долю от общего сопротивления системы.

Еще одним способом интенсификации теплообмена является закрутка теплоносителя в трубе. Она обеспечивается различными вставками: винтовыми в форме шнека или плоской закрученной ленты; лопаточными завихрителями по типу многолопастного пропеллера или турбинного колеса. Закрутить поток можно посредством тангенциального подвода жидкости. Если закручивающие вставки непрерывны вдоль канала или расположены с малыми промежутками, то они создают равномерную закрутку потока по всему каналу. Характеристики закрученного потока для винтовых вставок определяются шагом закручивания вставки, для лопаточных завихрителей - углом закрутки лопаток. Структура закрученного потока очень сложная. Движение жидкости имеет винтообразный характер, одновременно в поперечном сечении трубы может возникать замкнутое вихревое вторичное течение жидкости.

Гидравлическое сопротивление трубы с закручивающей вставкой возрастает (по сравнению со свободной трубой). Это связано с увеличением поверхности трения, дополнительными затратами энергии на создание вращательного движения теплоносителя и образованием вторичных поперечных течений. При турбулентном режиме в трубе со скрученной лентой при относительном шаге $S/d = 5$ гидросопротивление в 1,35-1,55 раза больше, чем в трубе без завихрителя. Интенсификация теплоотдачи в закрученном потоке достигается за счет увеличения пристенной скорости потока и вторичных течений, возникающих под действием центробежных сил и усиливающих теплообмен между ядром потока и пограничным слоем на стенке канала; а также за счет того, что протяженный завихритель (скрученная лента) увеличивает поверхность теплообмена. При условии хорошего контакта между вставкой и стенкой трубы возникает эффект оребрения. Доля теплового потока за счет эффекта оребрения не превышает 30% от количества тепла, которым обмениваются стенка трубы и теплоноситель путем теплоотдачи. Интенсификация теплоотдачи снижается при увеличении относительного шага закрутки ленты, возрастании числа Рейнольдса и увеличении теплопроводности жидкости. Практически интересный диапазон относительных шагов закрутки ленты - 2-15. При меньших шагах резко возрастает гидравлическое сопротивление, а при больших - значительно снижается уровень интенсификации теплообмена. В рекомендованном диапазоне относительных шагов теплоотдача возрастает примерно пропорционально увеличению сопротивления.

Ленточные и шнековые завихрители, установленные на входе в трубу на коротком входном участке, интенсифицируют теплообмен в несколько раз, а на достаточно протяженном участке трубы (50-60 диаметров и больше) обеспечивают повышение теплоотдачи в 1,5-2,5 раза.

Для интенсификации процесса теплопередачи в теплообменниках достаточно часто применяется оребрение рабочей поверхности со стороны меньшего коэффициента теплоотдачи. Обеспечивается это за счет снижения термического сопротивления теплоотдачи со стороны развитой поверхности. Оребрение наиболее эффективно при существенной разнице коэффициентов теплоотдачи теплоносителей по разделительной стенке (в 10 и более раз). Обычно различие в коэффициентах теплоотдачи связано со значительным отличием теплофизических свойств теплоносителей. Развитие поверхности за счет оребрения особенно эффективно до тех пор, пока произведение коэффициента теплоотдачи и поверхности теплообмена с обеих сторон стенки не станут одинаковыми, дальнейшее развитие поверхности менее эффективно. Следовательно, отношение поверхностей оребренной и гладкой сторон стенки должно быть равно обратному отношению коэффициентов теплоотдачи. Но эффективность ребра понижается по мере увеличения его поверхности, поэтому обычно пользуются следующим ориентировочным правилом: поверхность ребер должна составлять примерно половину от величины, определенной приведенным кратким анализом.

Выбор метода интенсификации теплообмена в каждом случае индивидуален и определяется назначением аппарата, его конструкцией, свойствами рабочего тела и тому подобными факторами.

Библиографический список

1. Калинин Э. К., Дрейцер Г. А., Ярхо С. А. Интенсификация теплообмена в каналах. - М.: Машиностроение, 1972. 220 с.
2. Лаптев А.Г., Николаев Н.А., Башаров М.М. Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов. Учебно-справочное пособие. М.: Теплотехник, 2011. 335 с.