

Медь или нержавейка.

В статье сравнивается относительная эффективность кожухотрубчатых теплообменников с трубками из меди и нержавеющей стали.

Существует мнение, что для одной и той же задачи теплообменники с медными трубками нужны значительно меньшей площади, чем теплообменник с трубками из нержавеющей стали. Возможно, что это мнение сложилось из-за того, что коэффициент теплопроводности меди в двадцать раз больше чем нержавеющей стали. Но так ли это влияет на площадь теплообменника?

Рассмотрим два наиболее типичных для спиртовой отрасли примера, а именно дефлегматор и кипятильник.

В большинстве случаев, на брагоректификационных аппаратах используются кожухотрубчатые теплообменники с гладкими трубами. Они просты в изготовлении, следовательно, у них невысокая себестоимость.

Рассмотрим дефлегматор.

В настоящее время применяются горизонтальные дефлегматоры. В них флегма не переохлаждается в отличие от вертикальных. Это лучше сказывается на условиях работы колонн.

Выходящие из колонны пары конденсируются в дефлегматоре, отдавая свое тепло охлаждающей воде. В результате пары превращаются в жидкость (флегму), а вода нагревается. Каким же путем это тепло передается? Пары при помощи конвенции передают тепло пленке жидкости на трубе, образованной из этих паров. В верхней части горизонтальной трубы дефлегматора она тоньше, к низу она утолщается. В любом случае тепло от пленки передается трубкам теплопроводностью. Теплопроводность этой пленки значительно меньше теплопроводности металла трубок.

Далее тепло идет через металлические трубки.

Потом тепло передается от внутренней стороны трубок приграничному слою жидкости, который перемешивается с остальной жидкостью, нагревая всю воду. Это процесс происходит тем интенсивней, чем больше скорость воды в трубах. Часто воду в дефлегматоры подают самотеком и она далека от оптимальной. Но если воду подавать насосом, то казалось бы можно создать оптимальную скорость потока. Но сопротивление зависит от квадрата скорости, и увеличивая скорость в два раза мы увеличиваем сопротивление в

четыре. Отсюда вывод, что желая увеличить скорость воды, мы будем терять много электричества на мощные насосы. Поэтому скорость охлаждающей воды всегда ниже оптимальной с точки зрения теплообмена, и следовательно передача тепла от внутренней стороны трубок к жидкости тоже неэффективна (в статье рассматриваются кожухотрубчатые теплообменники с гладкими трубами). Дополнительным сопротивлением передачи тепла также являются отложения на трубах, которые могут быть как с внутренней, так и с наружной стороны трубок.

Площадь дефлегматора определяют по формуле:

$$F = \frac{Q}{k * \Delta t_{cp}}$$

Где

F – площадь теплообмена

Q – тепло

Δt_{cp} – средний температурный напор между парами и водой (разница между средней температурой паров и средней температурой воды)

k – коэффициент теплопередачи

В этой формуле нас интересует k – коэффициент теплопередачи (не путать с коэффициентом теплопроводности), так как остальные параметры одинаковы как для дефлегматора с медными трубками, так и для дефлегматора с нержавеющей трубами.

Коэффициент теплопередачи определяется по формуле:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{sT}{\lambda_1} + \frac{s2}{\lambda_2}}$$

Где

α_1 - коэффициент теплоотдачи от пара к стенке

α_2 - коэффициент теплоотдачи от стенки к воде

S_T - толщина стенки трубки

λ_1 - коэффициент теплопроводности металла трубки

S_2 - толщина слоя отложений

λ_2 - коэффициент теплопроводности слоя отложений

Коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 зависят от режима течения теплоносителя, его физических свойств, размеров и формы поверхности теплообмена. Другими словами они будут одинаковы как для теплообменника с медными трубками, так и для теплообменника с нержавеющей трубками. Также будут равны толщины стенок, толщина отложений на трубках и теплопроводность этих отложений.

При определении коэффициента теплопроводности для дефлегматора с медными трубками и нержавеющей трубками отличием будет только теплопроводность металла λ_1 .

Не будем загружать читателя расчетами, а просто выдадим средний результат расчетов для различных дефлегматоров: без учета загрязнений отличие коэффициента теплопередачи а следовательно площади теплообменников составляет в среднем 2-4%. А если учитывать отложения на трубках то это отличие еще уменьшается.

При расчете теплообменников обычно закладывают запас по площади примерно 15%, то есть при выборе площади дефлегматора не будет ни какой разницы из меди или нержавеющей стали изготовлены трубки.

Поэтому мы считаем, что при выборе материала трубок для дефлегматоров надо руководствоваться другими соображениями, например абразивно устойчивостью или чем то другим.

Теперь рассмотрим кипятильник колонны. Греющий пар поступает в межтрубное пространство и конденсируется на трубках. Потом в виде пленки жидкости стекает вниз. Толщина жидкой пленки к низу увеличивается, естественно увеличивается и ее сопротивление теплопередаче. Тепло от греющего пара передается с помощью конвекции. Потом тепло передается от

пленки к стенкам трубок. Далее тепло идет через металл трубок. Здесь, как и в дефлегматоре, теплопроводность металла трубок значительно больше остальных слагаемых теплопроводности. Далее тепло от внутренней стороны трубок передается жидкости циркулирующей через кипятильник. Обычно циркуляция жидкости через теплообменник происходит за счет циркуляции из-за разности жидкости плотностей в кубе и парожидкостной смеси в трубках кипятильника. Жидкость в кубе кипятильника имеет большую плотность и выдавливает парожидкостную смесь.

Парожидкостная смесь внутри трубок по высоте неоднородна. В нижней части трубок она практически не содержит пузырьков пара. Здесь она догревается до температуры кипения. Выше она начинает закипать, на внутренней стороне трубок начинают появляться пузырьки пара. Чем выше, тем их больше. В верхней части трубок теплу приходится идти не через жидкость, а через парожидкостную смесь, которая значительно хуже проводит тепло, чем жидкость и значительно хуже металла трубок. С внутренней стороны трубок (так же как и с внешней) передача тепла хуже, чем передача тепла через металл.

Передача тепла в кипятильниках одинаковых размерах, но с разными металлами трубок, со стороны пара к трубкам одинакова, со стороны трубок к парожидкостной смеси также одинакова, различается только передача тепла через металл трубок.

Коэффициент теплопередачи кипятильника определяется по той же формуле, как и для дефлегматора:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{sT}{\lambda_1} + \frac{s2}{\lambda_2}}$$

При сравнительных расчетах с медными и нержавеющей трубками отличие по коэффициенту теплопередачи, а следовательно и по площади кипятильников составляет не более 2-4%. Как и для дефлегматоров. Как и для дефлегматоров отложения на трубках уменьшают эту разницу.

Если еще учесть запас (обычно 15%) то и здесь мы не видим ни какой разницы между кипятильниками с медными и нержавеющей трубками.