

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ С ПЛАСТИНАМИ СЕТЧАТО-ПОТОЧНОГО ТИПА С ЗАВИХРИТЕЛЯМИ

The research of expediency of application of plates of mesh-line type with whirls is carried in this work. Such plates in comparison with plates without whirls have more factor of a heat transfer. However thus hydraulic resistance of channels considerably increase that limits area of effective application of plates with whirls. Besides the expediency of application of a plate is influenced with its overall dimension. Materials consumption effect the plate without whirls with small depth of the channel (1,8 mm) are the best. However operation heat exchangers with such plates in conditions of Byelorussia can lead fast clog up channels.

Введение. Теплообменный аппарат должен обеспечивать передачу требуемого количества тепла от одного теплоносителя к другому при заданных температурах. При этом к теплообменному аппарату предъявляются следующие требования [1, 2]:

- должен иметь малые габариты, обладать наименьшей удельной металлоемкостью и технологичностью;
- обладать низкой способностью к загрязнению и ремонтпригодностью;
- затрачивать минимум энергии на прокачку теплоносителей.

Как видно, требования, предъявляемые к теплообменным аппаратам, разнообразны, а иногда и противоречивы. При этом эффективность теплообменного аппарата определяется, прежде всего, конструкцией поверхности теплообмена. Примерная взаимосвязь основных характеристик аппарата представлена на рис. 1.



Рис. 1. Взаимосвязь параметров теплообменного аппарата

В последнее время в теплоснабжении наибольшее применение получили кожухотрубный и пластинчатый теплообменные аппараты. Последний представляет пакет гофрированных пластин, между которыми, чередуясь, движутся теплоносители. К достоинствам пластинчатых

аппаратов можно отнести технологичность, высокий коэффициент теплопередачи, ремонтпригодность. К недостаткам – неравномерный коэффициент теплопередачи по всей теплообменной поверхности, влияние размеров входного патрубка на эффективность работы теплообменника, одинаковое проходное сечение греющей и нагреваемой среды. К достоинствам кожухотрубных аппаратов относятся низкая металлоемкость, эффективное использование теплопередающей поверхности, возможность качественной работа теплообменника при работе со средами имеющими значительно разные расходы.

Повышение эффективности теплообменной поверхности. Прежде всего, в современных теплообменных аппаратах стремятся обеспечить высокий коэффициент теплопередачи и тем самым снизить площадь теплообменной поверхности, габариты и стоимость теплообменного аппарата. Как известно, при взаимодействии твердой теплопередающей поверхности с омывающим ее потоком образуется пограничный ламинарный слой, оказывающий основное сопротивление теплопередаче. Чем больше толщина пограничного слоя и чем ниже теплопроводность теплоносителя, тем меньше теплоотдача. Наивыгоднейшим в отношении теплообмена гидродинамическим режимом является турбулентный, или переходной, режим в пограничном слое, но естественное развитие турбулентности начинается при весьма высокой скорости потока, а следовательно, и значительном гидравлическом сопротивлении. Поэтому во многих случаях для интенсификации конвективного теплообмена необходима либо искусственная турбулизация пограничного слоя, позволяющая перенести процесс теплообмена из ламинарной области в турбулентную, либо уменьшение толщины или разрушение пограничного слоя.

Для интенсификации теплообменных процессов в кожухотрубных аппаратах с продольно-обтекаемыми пучками труб предложено использовать трубы с поперечными кольцевыми канавками, изготовленными накаткой (рис. 2).

Преимущества данного способа интенсификации теплообмена по сравнению с другими способами следующие [1]:

- образующиеся внутри трубы диафрагмы после накатки снаружи кольцевых канавок существенно интенсифицируют теплообмен в трубе;
- технологически способ осуществляется несложно, к тому же не надо менять существующую технологию сборки трубных теплообменников;
- применяется при больших удельных тепловых потоках, в тесных пучках труб, поскольку не увеличивает их наружного диаметра.

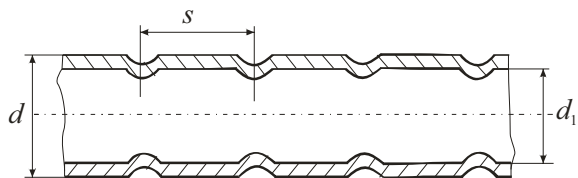


Рис. 2. Труба с поперечными канавками

Применение данного способа интенсификации теплообмена наиболее целесообразно в диапазоне относительных шагов труб $s/d = 1,1-1,3$. В пучках с $s/d > 1,3$ оптимальная интенсификация в межтрубном пространстве обеспечивается при высотах кольцевых диафрагм внутри трубы выше оптимальных и, следовательно, при значительных потерях давления внутри трубы. Оптимальная же интенсификация теплообмена внутри трубы дает незначительную его интенсификацию снаружи труб. Теплоотдача теплообменника данной конструкции на 50% выше, а объем на 30% меньше по сравнению с гладкотрубным теплообменником. Кроме того, темп роста термического сопротивления слоя загрязнения на наружной поверхности труб с канавками во времени замедляется, и величина загрязнений стабилизируется на высоте, которая примерно в три раза меньше, чем на гладкой трубе. Таким образом, применение труб с кольцевыми канавками позволяет делать трубные теплообменники работоспособными при жесткости воды до 20 мг/л.

В пластинчатых теплообменниках профиль теплопередающей поверхности выполняется в виде гофр синусоидальной или пилообразной формы. В сборке пластины образуют каналы, по которым теплоносители движутся друг относительно друга одновременно противотоком и перекрестно, что существенно увеличивает время их взаимодействия по сравнению со схемами относительного движения, реализуемыми в других теплообменных аппаратах. При этом гофры играют роль турбуляторов потока, которые интенсифицируют теплообмен между потоками [3, 4].

Для большей интенсификации теплообменных процессов в пластинчатых аппаратах предложено применять пластины сетчато-поточного типа с завихрителями (рис. 3). У данных пластин гофры имеют чередующиеся впадины и

выступы, которые, с одной стороны, повышают коэффициент теплопередачи, но, с другой, увеличивают гидравлические сопротивления.

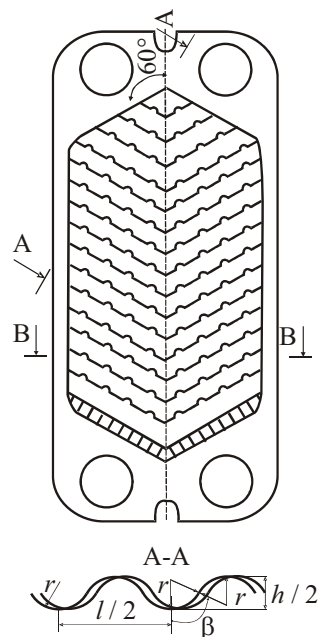


Рис. 3. Пластина сетчато-поточного типа с завихрителями

Целесообразность применения таких пластин оценивается в данной работе.

Эффективность применения пластинчатых теплообменников с завихрителями. Для исследования выбраны пластины фирмы «Альфа Лаваль» сетчато-поточного типа без завихрителей (М6-Л, М6-Н, М6М-Л, М6М-Н) и с завихрителями (Т5М-Л, Т5М-Н). Их геометрические характеристики представлены в таблице. Теплообменники с пластинами класса Л имеют меньшие гидравлические потери давления в канале за счет меньшего угла расхождения гофр ($52-70^\circ$), чем у пластин класса Н (120°). Однако в теплообменниках с пластинами класса Н поток жидкости вынужден перемещаться по более сложным траекториям, чем в теплообменниках с пластинами класса Л, что приводит к созданию большого количества вихрей, разрушению ламинарного подслоя. Следовательно, пластины типа Н имеют более высокий коэффициент теплопередачи.

Таблица

Характеристики	М6		М6М		Т5М	
	Л	Н	Л	Н	Л	Н
Габаритные размеры, м	0,75×0,25				0,64×0,20	
Шаг гофр, мм	6,7		10,5		9,4	
Глубина гофр, мм	1,8		3,0		2,6	
Угол расхождения гофр, град	70	120	57	120	52	120
Теплообменная поверхность, м ²	0,150		0,140		0,084	

Исследования проводились при различных тепловых нагрузках для температурного режима (110/70–65/95)°С, характерного для отопления в Республики Беларусь. Допустимые потери давления в канале принимались равными 20 кПа и 90 000 кПа (без ограничения).

Исследования осуществлялись по двум критериям: теплотехническая эффективность (по площади теплообменной поверхности) и материалоемкостная эффективность (по габаритной площади). Первый параметр характеризует эффективность теплообменной поверхности (конструкции гофр пластины), второй параметр – эффективность использования всей поверхности пластины. Результаты получены с помощью представленной производителем компьютерной программы AlfaSelect v.5 designers для расчета пластинчатых теплообменников фирмы «Альфа Лаваль».

На рис. 4 представлены зависимости площади теплообмена аппарата от тепловой нагрузки для различных типов пластин (*a* – без ограничения по потерям давления, *b* – допустимые потери давления 20 кПа).

Из рис. 4, *a* видно, что наибольшей теплотехнической эффективностью обладают пластины типа Т5М (из-за имеющихся у них завихрителей), затем пластины типа М6 (из-за небольших размеров канала) и худшие показатели у пластины типа М6М. Пластины с низким гидравлическим сопротивлением (класса L) имеют наихудшие теплотехнические характеристики. Положительный эффект применения пластин типа Т5М по сравнению с пластинами типа М6 составляет 12%, а по сравнению с пластинами М6М – 15%.

Из рис. 4, *b* следует, что при допустимых потерях давления 20 кПа наилучшую характе-

ристику имеет пластина с завихрителями типа Т5М при нагрузках менее 300 кВт, а при нагрузках более 300 кВт – пластина типа М6-Н. Характеристика пластины типа М6М-Н лучше, чем пластины Т5М при нагрузках свыше 500 кВт. Всем типам пластин с низким гидравлическим сопротивлением (класса L) присущи худшие показатели, чем пластинам с высокими гидравлическими сопротивлениями (класса Н).

На рис. 5 представлены зависимости габаритной площади пластин теплообменника от тепловой нагрузки для различных типов пластин (*a* – без ограничения по потерям давления, *b* – допустимые потери давления 20 кПа).

Из рис. 5, *a* видно, что наибольшую материалоемкостную эффективность имеют пластины без завихрителей типа М6, затем пластины с завихрителями типа Т5М и худшие показатели у пластины типа М6М. Это обусловлено тем, что у пластин с завихрителями и без завихрителей одинаковые диаметры входных и выходных отверстий (50 мм) для рабочих сред, но при этом пластины с завихрителями меньших размеров, чем пластины без завихрителей. Входные и выходные отверстия и некоторая область вокруг них не участвуют в теплообмене (рис. 3) и, следовательно, коэффициент полезного использования поверхности у пластин с завихрителями ниже, чем у пластин без завихрителей. Что и привело к ухудшению материалоемкостной эффективности пластины Т5М.

Пластины класса L с низким гидравлическим сопротивлением имеют наихудшие материалоемкостные показатели. Положительный эффект применения пластин типа М6 по сравнению с пластинами типа Т5М составляет 7%, а по сравнению с пластинами М6М – 7,5%.

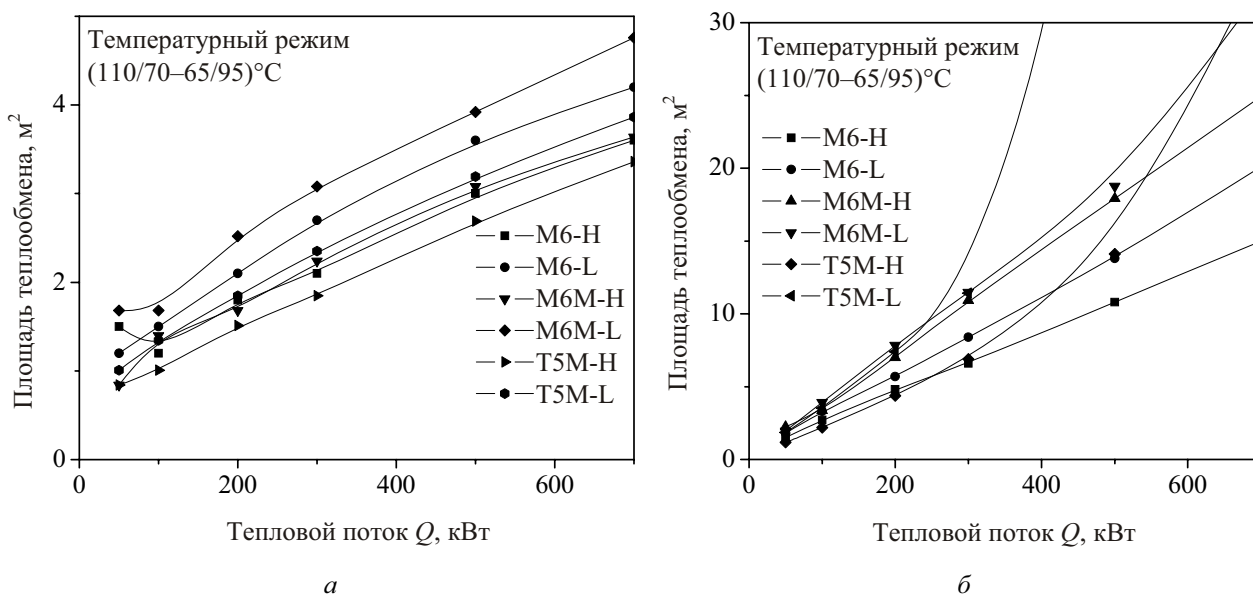


Рис. 4. Теплотехническая эффективность пластин:
a – без ограничения по потерям давления в канале;
b – с допустимыми потерями давления в канале 20 кПа

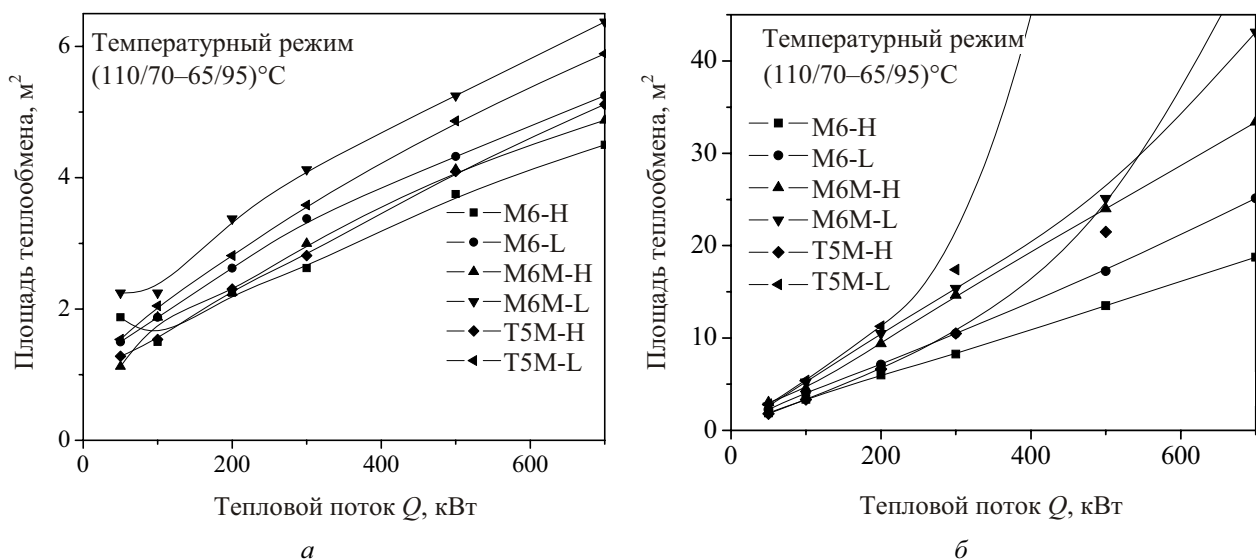


Рис. 5. Материалоемкостная эффективность пластин:
 а – без ограничения по потерям давления в канале;
 б – с допустимыми потерями давления в канале 20 кПа

Из рис. 5, б видно, что при допустимых потерях давления 20 кПа наилучшей характеристикой обладает пластина с завихрителями типа Т5М при нагрузках менее 50 кВт, а при нагрузках более 50 кВт – пластина с небольшим размером канала типа М6. Пластина без завихрителей типа М6М имеет лучшую характеристику, чем пластина с завихрителями Т5М при нагрузках свыше 300 кВт. Положительный эффект применения пластин типа М6 по сравнению пластинами типа М6М составляет 15–20%.

Заключение. Использование пластин сетчато-поточного типа с завихрителями увеличивает теплопередачу теплообменного аппарата. Однако у таких пластин значительно возрастают гидравлические сопротивления, что ограничивает их эффективное применение областью небольших удельных тепловых потоков. Кроме того, на целесообразность применения пластины влияет ее коэффициент полезного использования поверхности.

Наилучший материалоемкостный эффект дает пластина без завихрителей с небольшой глубиной гофра (1,8 мм). Однако эксплуатация теп-

лообменников с такими пластинами в системах теплоснабжения с теплоносителем, имеющим большое содержание минеральных примесей, может привести к быстрому забиванию каналов.

Оптимальным вариантом для применения в системах теплоснабжения из исследованных пластин является М6М без завихрителей с глубиной гофра 3 мм и углом их расхождения 120°.

Литература

1. Жукаускас, А. А. Конвективный перенос в теплообменниках / А. А. Жукаускас. – М.: Наука, 1982. – 472 с.
2. Барановский, Н. В. Пластинчатые и спиральные теплообменники / Н. В. Барановский, Л. М. Коваленко, А. Р. Ястребенецкий. – М.: Машиностроение, 1973. – 288 с.
3. Коваленко, Л. М. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи / Л. М. Коваленко, А. Ф. Глушков. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 240 с.
4. Теплообменные аппараты из профильных листов / В. М. Антуфьев [и др.]. – Л.: Энергия, 1972. – 128 с.