

УДК 696.41

Ю.Б. ДАНИЛОВ, докт. техн. наук, ОАО "УкрНИИхиммаш",
А.В. КОШЕЛЬНИК, канд. техн. наук,
Институт проблем машиностроения им. акад. А.Н. Подгорного, НАНУ,
А.Е. МОРОЗОВ, аспирант, НТУ «ХПИ», г. Харьков, Украина

ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИХ КОНСТРУКЦИЙ

В статті представлена історія виникнення пластинчастого теплообмінного устаткування, його розвитку і сфери застосування. Розглянуті потенційні перетини в міжпластинному просторі сітчастого потокового теплообмінника, які дозволяють знімати низькопотенційне тепло.

В статье представлена история возникновения пластинчатого теплообменного оборудования, его развития и области применения. Рассмотрены потенциальные сечения в межпластинном пространстве сетчато-поточного теплообменника, позволяющие снимать низкопотенциальное тепло.

In the article presented history of origin plate heat-exchange equipment, his development and application domain. Potential sections are considered in interhalf-moon space of reticulated-stream heat-exchange, allowing to take off a potential heat.

Пластинчатые теплообменные аппараты являются одной из новейших разновидностей поверхностных рекуперативных теплообменных аппаратов с поверхностью теплообмена, изготавливаемой из тонколистового проката.

Одним из полезных конструктивных признаков, по которым классифицируют пластинчатые теплообменники, является степень их разборности, то есть возможность доступа к поверхности теплообмена для осмотра, очистки и ремонта.

Как известно, пластинчатые теплообменники разделяются по исполнению на разборные, полуразборные и неразборные (сварные или формованные).

Наиболее широко применяются в промышленности (как наиболее универсальные) разборные теплообменники.

Они состоят из пакета пластин с прокладками и приспособлены, при необходимости для быстрой разборки и сборки.

Первые упоминания в литературе [1, 6] о принципах устройства пластинчатых теплообменных аппаратов для нагревания и охлаждения жидкостей в тонком слое и некоторые конструктивные решения были предложены Драхе (1878), Брейтвиш (1881) и Мальвезиным (1895).

В 1917 г. Гаррисоном предложена теплообменная пластина с четырьмя угловыми отверстиями и зигзагообразными каналами с обеих сторон.

Однако более широкое применение разработанных теплообменных аппаратов началось только после 1923 г. в результате усовершенствований, внесенных

Зелигманом, использовавшим при разработке конструкции разборного теплообменника идеи устройства рамного фильтр-пресса, в котором фильтровальные пластины имели фрезерованные каналы для потоков теплоносителей.

В 1932 – 1933 гг. в результате работ Фельдмейера и Зелингмана были предложены, а затем усовершенствованы штампованные пластины удлиненной формы с теплопередающей стенкой из тонкого волнистого листа.

Это была пластина нового типа, поверхность которой омывается потоком рабочей среды во всю ширину и позволяет повысить теплоотдачу по сравнению с трубчатыми в $2 \div 3$ раза (при идентичных условиях работы).

Такие пластины можно считать прототипом современных, – в конструкциях которых теперь наблюдается большое разнообразие форм профилей рабочих поверхностей.

Преимущества пластинчатых теплообменников перед другими типами оказались весьма значительны, что дало возможность широко применять их в пищевой, химической, фармацевтической, гидролизной и металлургической

и других отраслях промышленности, а также на транспорте.

Последующий прогресс в совершенствовании конструкции пластин выражался в следующем:

- усовершенствовании профиля поверхностей пластин с целью повышения эффективности теплоотдачи и уменьшения гидравлических сопротивлений;

- повышении жесткости тонкой штампованной пластины и пакета в целом путем создания на поверхности элементов, обеспечивающих взаимную опору пластин по множеству равномерно распределенных точек контакта;

- повышение коррозионной стойкости и долговечности пластин и прокладок путем освоения штамповки из многих марок металлов и применения новых марок резин и иных прокладных материалов;

- повышение технологичности конструкций с последующим отказом от сварки и переходом на цельноштампованные конструкции из цельного листа;

Наиболее крупные фирмы, изготавливающие аппараты, размещены в Англии, Швеции, США, Германии, Франции, Японии, Италии и Дании.

На территории Советского Союза первые теплообменные пластинчатые теплообменники для пищевой промышленности были изготовлены в 1940 г. на Симферопольском машиностроительном заводе.

В 1939 г. Рамэн в Швеции предложил оригинальную конструкцию теплообменника, у которого гладкие пластины попарно сваривались, образуя плоские трубы.

Эти плоские трубы закреплялись в сварных трубных решетках и вставлялись в кожух с квадратным поперечным сечением.

Такой теплообменник называли ламельным (*lamelle* – пластина).

Эта конструкция теплообменника являлась переходной от кожухотрубчатого к пластинчатому.

Ламельные теплообменники нашли применение в целлюлозной промышленности, а также в химической и нефтехимической промышленности. Характерной особенностью конструкции является возможность механической очистки поверхности теплообменника только с наружной стороны пластин, для чего пучок пластин извлекают из кожуха.

В неразборных пластинчатых теплообменниках отдельные гофрированные пластины свариваются в блоки и получают две системы герметичных каналов для рабочих сред не дающих труднорастворимых загрязнений поверхности теплообменника, при использовании которых не требуется меха-

ническая очистка каналов, и можно ограничиться их промывкой с применением химических средств.

Промышленные пластинчатые теплообменники выпускают в США и Японии уже более 60 лет.

Первые их разработки были сделаны в Англии, Швеции, Германии и применены для охладителей и пастеризации молока.

За прошедшие годы наука и техника в области создания пластинчатых теплообменников [2, 3, 4] намного продвинулась вперед – от эмпирического к аналитическому и программному (в части расчетов) и от кустарного к высокотехнологичному производству.

Большой вклад в создание современных пластинчатых теплообменных аппаратов в мире внес концерн «Альфа-Лаваль» (Швеция), который и сегодня является лидером в этой области.

В СССР серийное производство пластинчатых теплообменников осуществлялось на заводе «Уралхиммаш» (в пятидесятые годы прошлого века) и высокотехнологическое специализированное производство в Украине на заводе «Павлоградхиммаш» (в шестидесятые годы прошлого века).

Научные и конструкторские разработки осуществляли Харьковский политехнический институт и Украинский научно-исследовательский и конструкторский институт химического машиностроения.

В процессе многолетних научных исследований пластинчатой теплообменной аппаратуры, как в мире, так и в Украине, построены полуэмперические методы расчетов теплопередачи и гидросопротивлений, что позволило создать компьютерные программы оптимального конструирования и выбора энергоэкономичного оборудования.

Анализ показал [4, 5], что пластинчатые теплообменные аппараты с гофрированной поверхностью нагрева в виде прямолинейных наклонных каналов имеют значительно более высокую интенсивность теплоотдачи при тех же затратах энергии, чем трубчатые, спиральные и другие известные конструкции широкого промышленного применения.

Особо следует отметить эффективность и универсальность сетчатопоточных конструкций, представляющих собой, как известно, пакеты гофрированных пластин (иногда подобных печатным платам – при изготовлении, например, электрохимическим способом), имеющих прямолинейные наклонные каналы.

Этот вид конструкции (в аналитическом плане) интересен еще тем, что в

зависимости от значений конструктивных параметров он может представлять и характеризовать работу различных видов теплообменников.

Например, при:

- $\varphi_1 = \pi/2$, $\alpha_1 = \text{const}$ – ленточно-поточных теплообменников;
- $\varphi_1 = 0$, $\alpha_1 = 0$ – щелевых теплообменников с гладкими пластинами, ламельных и.т.п.;
- $\varphi_1 \neq 0$, $\varphi_1 \neq \pi/2$, $\alpha_1 = \text{const}$ – сетчато-поточных теплообменников и витых теплопередающих труб.

Здесь φ_1 – угол наклона гофры (канала) к продольной оси пластины; α_1 – угол наклона боковой стенки гофры к полости пластины.

В трубчатых и плоских щелевых каналах поток характеризуется одномерным движением, в ленточно-поточных двумерным – (в виде извилистой плоской ленты), в сетчато-поточном – трехмерным, – при котором поток обтекает по винтовым извилистым линиям опорные точки соприкасающихся вершинами гофр двух пластин.

Межпластинная полость образуется парой унифицированных пластин.

Продольные ряды точек контакта вершин гофр образуют границы элементарных каналов, в пределах которых, по условиям симметрии, движется теплоноситель.

Траектории движения потоков теплоносителя внутри этих каналов представляют собой винтовые линии, особенностями которых являются попеременные переходы теплоносителя (на продольных границах канала) с одной пластины на другую [3, 4].

Таким образом, рассматривая движение потока на участке прямолинейного наклона канала гофра одной из пластин в границах поступления на него теплоносителя, движение по гофру и схода на парную пластину у следующей границы симметрии потоков.

Продольных течений можно представить его в виде потенциального плоского потока, определяемого взаимодействием с источником и стоком, расположенными у границ рассматриваемого участка гофра.

Исследования позволили построить идентифицированную ячеечную структуру межпластинного пространства, образуемую контактирующими гофрами двух пластин, ограничивающих теплообменную полость.

Детальное изучение прочных поверхностей каждой ячейки и структур потоков, которые они образуют при течении жидкости, позволило привлечь к решению задач теорию потенциальных плоских течений.

Использование метода наложения известных потенциальных потоков: поступательного, плоско-параллельного, источника и стока позволило получить решение уравнение Лапласа, определяющее потенциал скоростей.

Функцию тока, абсолютное значение вектора скорости и его направление в любой точке скоростного поля проточной части ячейки, что, в свою очередь, при решении обратной задачи дает возможность сформировать поле скоростей под любую, заданную конструктором форму ячейки (что в особенности важно при вариационном машинном проектировании удобообтекаемых энергосберегающих теплопередающих поверхностей пластин).

Дальнейшее развитие метода позволяет производить расчеты теплоотдачи и гидросопротивлений, определяющее теплоэнергетическое совершенство конструкции.

Установлено что:

- вынужденное течение жидкости в межпластинном сетчато-поточном пространстве осуществляется в форме ряда продольных двухзаходных винтовых потоков, со взаимной подкруткой течений по разнонаправленным проточным частям ячейки;

- имеет место концептуальная общность полученных теоретических и инженерных решений гидродинамики и теплообмена сетчато-поточных пластинчатых теплообменников (с расчетами и конструированием трубчатых, лямельных, ленточно-поточных пластинчатых, щелевых с гладкими греющими поверхностями), являющихся частными случаями полученного общего решения при подстановке значений соответствующих конструктивных параметров;

- полученные теоретические и инженерные решения и теплообменники, апробированы в промышленности рекомендованы для изготовления;

- для увеличения среднего коэффициента теплоотдачи необходимо чтобы на распределительном участке сопротивление движению жидкости, как вдоль пластины, чего возможно достичь уменьшением угла ϕ_1 , и разрежением расположения гофр;

- радиус скругления гофры при вершине должен быть, по возможности максимально большим (из условия устойчивости формы пластины).

В настоящее время ведущими в Украине по научным и конструкторским разработкам является НТУ «ХПИ» и ОАО УкрНИИхиммаш, а по серийному и индивидуальному производству пластинчатого теплообменного оборудования ОАО «Павлоградхиммаш».

Изготавливается [6] широкая номенклатура пластинчатых теплообменников для химической, нефтегазоперерабатывающей и других отраслей промышленности, предназначенной для параметров и условий эксплуатации:

1. по давлениям:

- разборные – до 2,5 МПа;
- полуразборные – до 1,6 МПа;
- неразборные (сварные) – до 4,0 МПа.

2. по температурам:

- разборные – от – 20 до + 200 °С;
- полуразборные – от – 20 до + 200 °С;
- неразборные (сварные) – от – 100 до + 300 °С.

Список литературы: 1. Барановский Н.В. Пластинчатые и спиральные теплообменники / Н.В. Барановский, Л.М. Коваленко, А.Р. Ястребенецкий. – М.: Машгиз, 1973. – 285 с. 2. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л. Пластинчатые теплообменники в промышленности / [Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. КАПУСТЕНКО, Г.Л. ХАВИН, О.П. АРСЕНЬЕВ]. – Харьков: НТУ ХПИ», 2004. – 232 с. 3. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л. Гидросопротивления течению несжимаемой жидкости в межпластинной полости сетчатопоточного и пластинчатого теплообменника / [Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, Ю.Б. ДАНИЛОВ, Л.П. ПЕРЦЕВ, А.Е. МОРОЗОВ] // Интегровані технології та енергозбереження. – 2006. – № 3. – С. 36 – 42. 4. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л. Теплоотдача несжимаемой вязкой жидкости при течении в межпластинной полости сетчатопоточного пластинчатого теплообменника / [Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, Ю.Б. ДАНИЛОВ, Л.П. ПЕРЦЕВ, А.Е. МОРОЗОВ] // Интегровані технології та енергозбереження. – 2007. – № 1. – С. 25 – 34. 5. ПЕРЦЕВ Л.П. Теплообменная аппаратура для химических производств / Л.П. ПЕРЦЕВ, О.А. КОРОБЧАНСКИЙ, Л.М. КОВАЛЕНКО // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1967. – № 10. – С. 9 – 14. 6. КОВАЛЕНКО Л.М. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи / Л.М. КОВАЛЕНКО, А.Ф. ГЛУШКОВ. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 238 с.

Поступила в редколлегию 25.03.10