

А. А. Андрижиевский, д-р техн. наук;  
А. Г. Трифонов, д-р техн. наук; А. Г. Лукашевич, канд. техн. наук (Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси)

### АНАЛИЗ КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ РАБОТЫ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

In work the technical and economic criterion of efficiency of plate heat exchangers in the form of the sum of the resulted expenses, i.e. parameters of specific capital and operational expenses is investigated. Parameters of a variation of technical characteristics of plate heat exchangers with reference to its functional purpose are defined. Recommendations on optimization of constructive and regime parameters of plate heat exchangers are given.

**Анализ проблемы.** Стремление интенсифицировать процессы конвективного теплообмена и создать наиболее технологичные в изготовлении и экономичные теплообменные аппараты привело в последние годы к быстрому совершенствованию конструкций теплообменных аппаратов, изготовленных из листов: пластинчатых, пластинчато-ребристых и спиральных[1–4].

Наиболее прогрессивными в настоящее время являются пластинчатые и пластинчато-ребристые теплообменные аппараты (рис. 1).

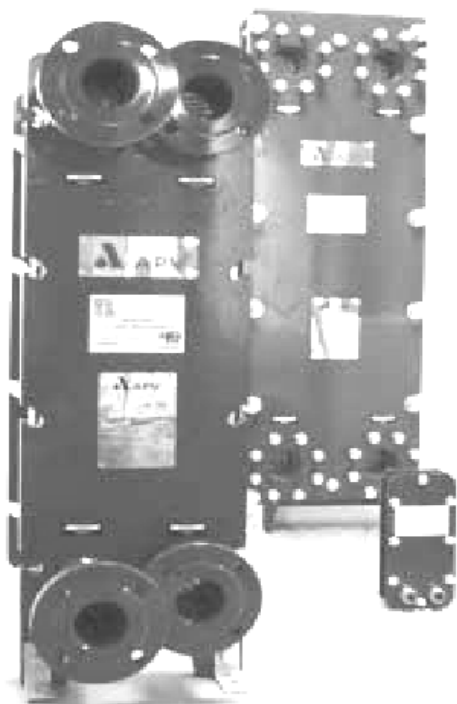


Рис.1. Общий вид пластинчатого теплообменника

Пластинчатые теплообменники представляют собой аппараты, поверхность теплообмена которых образована из тонких штампованных пластин с гофрированной поверхностью.

Рабочие среды в теплообменнике движутся в щелевых каналах между соседними пластинами. Каналы для греющего и нагреваемого теплоносителей чередуются между собой (рис. 2).

Обычно используются одноходовые пластинчатые теплообменники. Их отличительной особенностью является 100%-ный противоток двух сред.

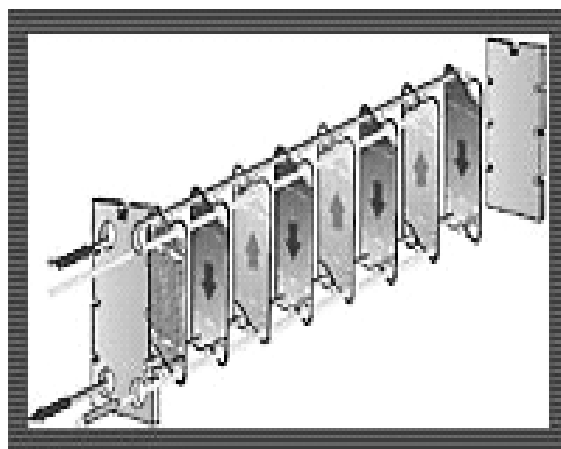


Рис. 2. Схема работы пластинчатого теплообменника

Узлы и детали пластинчатых теплообменников полностью унифицированы, а основные рабочие части изготавливают штамповкой и сваркой. Все это создает возможности экономичного массового изготовления таких аппаратов при минимальной металлоемкости.

Преимущества пластинчатых теплообменников перед секционными кожухотрубными заключаются в следующем:

- коэффициент теплопередачи в пластинчатых теплообменниках в 3–4 раза выше, благодаря специальному гофрированному профилю проточной части пластины, обеспечивающему высокую степень турбулизации потоков теплоносителей;
- площадь теплопередающей поверхности теплообменников в 3–4 раза меньше, вследствие этого пластинчатые теплообменники имеют малую металлоемкость, компактны, их можно установить в небольшом помещении;
- высокая ремонтпригодность: легко разбираются и быстро чистятся (при этом не требуется демонтаж подводящих трубопроводов);

- в пластинчатом теплообменнике можно легко и быстро заменить пластину или прокладку, а также увеличить поверхность теплообмена, если со временем возросла тепловая нагрузка;

- пластинчатые теплообменники набираются из отдельных пластин, поверхность нагрева которых, как правило, не превышает  $1 \text{ м}^2$ . Это обстоятельство в сочетании с оптимально выбранным типом пластины позволяет точно, без лишнего запаса, выбрать теплопередающую поверхность теплообменника.

**Критерии оптимальности работы пластинчатых теплообменников.** Применение там, где это возможно пластинчатых теплообменников обеспечивает не только высокую эффективность теплообмена и экономичность, но и компактность, надежность, простоту обслуживания и переналадки.

Внедрение пластинчатых теплообменников требует улучшения методов подбора пластин при проектировании. Это связано с требованием повышения эффективности использования капитальных затрат, повышением эффективности работы технологической системы в целом.

Решение любой задачи оптимизации начинают с выявления цели оптимизации, то есть формулировки требований, предъявляемых к объекту оптимизации. От того насколько правильно выражены эти требования, может зависеть возможность решения задачи.

Для правильной постановки задачи оптимизации необходимо выполнение ряда условий: наличие объекта и цели оптимизации, выбор критерия. Системе не должно приписываться одновременно два и более критерия оптимизации, так как практически всегда экстремум одной функции не соответствует экстремуму другой.

В задачах оптимизации различают простые и сложные критерии.

Критерий оптимальности называется простым, если требуется определить экстремум целевой функции без задания условий на какие-либо другие величины. Такие критерии обычно используются при решении частных задач оптимизации (например, определение оптимального времени пребывания вещества в аппарате).

Критерий оптимальности называется сложным, если необходимо установить экстремум целевой функции при некоторых условиях, которые накладываются на ряд других величин (например, определение максимальной производительности при заданной себестоимости).

В общем, задача оптимизации сводится к нахождению экстремума целевой функции.

Обычно оптимизируемая величина связана с экономичностью работы рассматриваемого объекта.

При определении вида целевой функции оптимизации могут быть использованы различ-

ные критерии – технические, технологические, термодинамические, экономические и т. п.

Наиболее общей постановкой задачи является выражение критерия оптимальности в виде экономической оценки (производительность, себестоимость продукции, прибыль, рентабельность).

Однако в частных задачах оптимизации, когда объект является частью технологического процесса, не всегда удается или не всегда целесообразно выделять прямой экономический показатель, который бы полностью характеризовал эффективность работы рассматриваемого объекта. В таких случаях критерием оптимальности может служить технологическая характеристика, косвенно оценивающая экономичность работы агрегата (время контакта, выход продукта, степень превращения, температура). Но и в данном случае любой критерий оптимальности имеет экономическую природу.

Наиболее общим и полным представляется технико-экономический критерий эффективности в виде суммы приведенных затрат, т.е. показателей удельных капитальных и эксплуатационных затрат.

$$F_{ц} = \frac{S_{\text{кап}}}{T_{\text{н.о}}} + S_{э},$$

где  $S_{\text{кап}}$  – капитальные затраты;  $T_{\text{н.о}}$  – нормативный срок окупаемости капитальных затрат;  $S_{э}$  – эксплуатационные затраты.

Капитальные вложения необходимы для подготовки и запуска проекта до начала эксплуатационной фазы. Они включают в себя стоимость основного и вспомогательного оборудования и его монтажа, стоимость сырья, основных и вспомогательных материалов, энергетических средств, заработной платы и т.д.

Входящие в капитальную составляющую приведенных затрат монтажные и пусконаладочные работы составляют 10–15% от стоимости оборудования.

Эксплуатационные затраты – издержки производства, которые состоят из следующих элементов:

а) стоимости расходуемых в процессе эксплуатации материалов и энергии;

б) амортизационных отчислений от капитальных затрат, служащих для погашения начальной стоимости оборудования за определенное число лет работы в связи с их естественным и техническим износом, на производство капитальных ремонтов;

в) прочих расходов (в частности, затрат на материалы для текущего ремонта).

Рассмотрим более подробно требования, которые должны предъявляться к критерию оптимальности. Критерий оптимальности должен выражаться количественно, быть единст-

венным, отражать наиболее существенные стороны процесса и желательно, чтобы критерий оптимальности имел ясный физический смысл и легко рассчитывался.

Рассчитываем капитальные затраты в долларах США по формуле

$$S_{\text{кап}} = 1,2 \cdot S_{kg} \cdot m,$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий монтажные и пусконаладочные работы;  $S_{kg}$  – стоимость одного килограмма металла.

Рассчитываем эксплуатационные затраты в долларах США по формуле

$$S_э = N_{\text{пр}} \cdot K_э \cdot \tau_{TA},$$

где  $N_{\text{пр}}$  – суммарная мощность теплообменника на прокачку, Вт;  $K_э$  – стоимость энергии на привод вспомогательного оборудования;  $\tau_{TA}$  – число часов работы оборудования в году.

**Результаты исследования.** В данной работе рассматриваются три схемы включения пластинчатых теплообменников тепловых пунктов (одноходовая, двухходовая, трехходовая) с площадью поверхности теплообмена пластины 0,06 и 0,25 м<sup>2</sup> и для трех мощностей 116, 430, 1450 кВт (рис. 3).

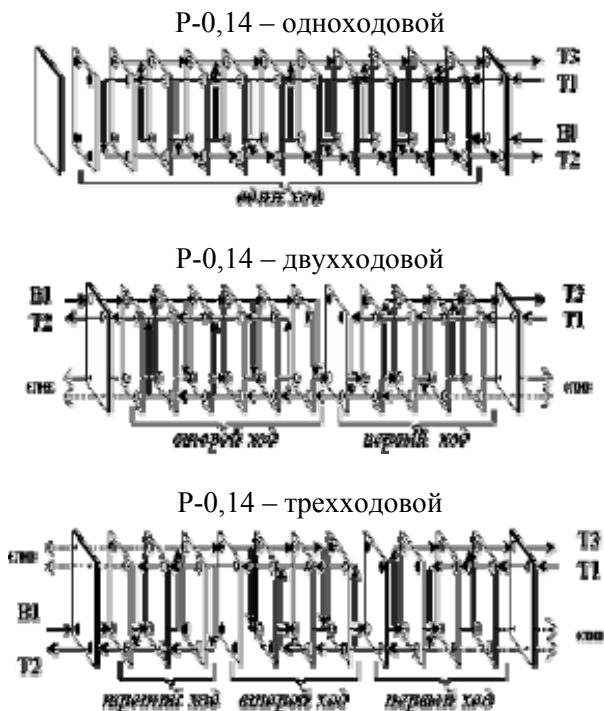


Рис. 3. Схемы включения пластинчатого теплообменника

*Исходные показатели для оценки критерия экономической эффективности:*

- нормативный срок окупаемости принят 15 лет;
- коэффициент монтажа принят 1,2;
- стоимость металла 20 дол. США/кг;

– цена отпущенной электроэнергии на сегодняшний день установлена в размере 0,07 дол. США/кВт·ч;

– число часов работы оборудования в году составит 8000 ч.

Исходные значения для оценки критерия экономической эффективности от эксплуатации оборудования рассчитываются программой «Термоблок», разработанной в Объединенном институте энергетических и ядерных исследований – Сосны Национальной академии наук Беларуси.

По результатам данного исследования построены графические зависимости капитальных, эксплуатационных и приведенных затрат применительно к пластинчатым теплообменникам различного типа.

Анализ данных графических зависимостей позволяет сделать выводы относительно оптимальной конструкции и схемы включения пластинчатого теплообменника.

Так, с ростом количества ходов теплообменника увеличивается скорость теплоносителя в аппарате, возрастают коэффициенты теплоотдачи по холодной и горячей сторонам и, соответственно, суммарный коэффициент теплопередачи, следовательно, теплообменная поверхность, масса аппарата и капитальные затраты уменьшаются (рис. 4).

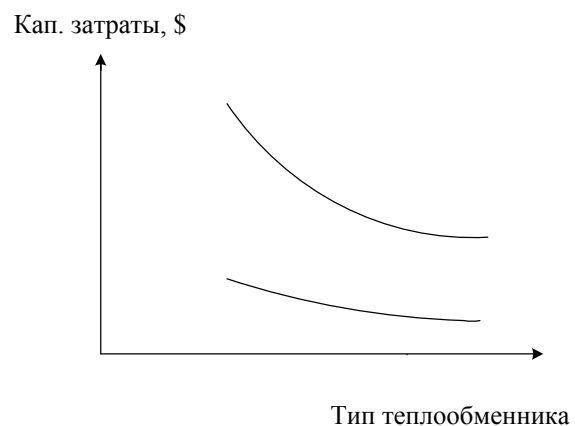


Рис. 4. Изменение капитальных затрат в зависимости от типа теплообменника

Одновременно возрастает перепад давления в аппарате, и следовательно, увеличиваются мощность на прокачку теплоносителя и эксплуатационные затраты (рис. 5).

Для выбора оптимальной конструкции теплообменников необходимо исходить из приведенных в виде суммы капитальных и эксплуатационных затрат. Сумма этих величин имеет минимальное значение на границе расчетной области.

Вместе с тем, асимптотический характер данной графической зависимости позволяет ограничить число ходов теплообменника и принять данную конструкцию в качестве оптимальной.

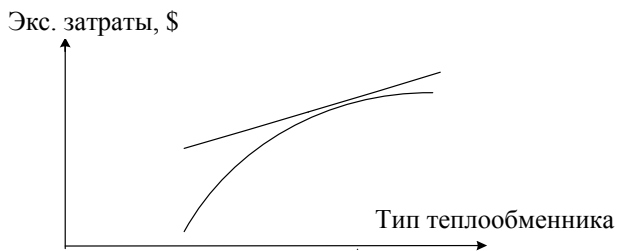


Рис. 5. Изменение эксплуатационных затрат в зависимости от типа теплообменника

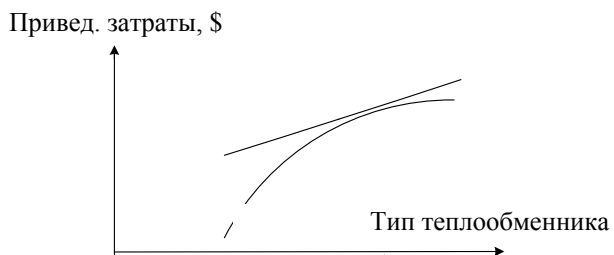


Рис. 6. Изменение приведенных затрат в зависимости от типа теплообменника

Для теплообменников большой мощности наиболее оптимальным является многоходовая конструкция с большей единичной поверхно-

стью, а для теплообменников меньшей мощности – с меньшей единичной поверхностью (рис. 6).

**Заключение.** Как показывает анализ, для теплообменников большой мощности наиболее оптимальной является многоходовая конструкция.

В этом случае, теплообменник имеет меньшую стоимость и занимает значительно меньшее пространство, что бывает очень важно в условиях теплового пункта жилого здания.

### Литература

1. Барановский, Н. В. Пластинчатые и спиральные теплообменники / Н. В. Барановский, Л. М. Коваленко, А. Р. Ястребенецкий. – М.: Машиностроение, 1973. – 288 с.
2. Керн, Д. А. Развитые поверхности теплообмена / Д. А. Керн, А. Л. Краус. – М.: Энергия, 1977. – 464 с.
3. Дрейцер, Г. А. Компактные теплообменные аппараты / Г. А. Дрейцер. – М.: МАИ, 1986. – 74 с.
4. Коваленко, Л. М. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи / Л. М. Коваленко, А. Ф. Глушков. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 240 с.