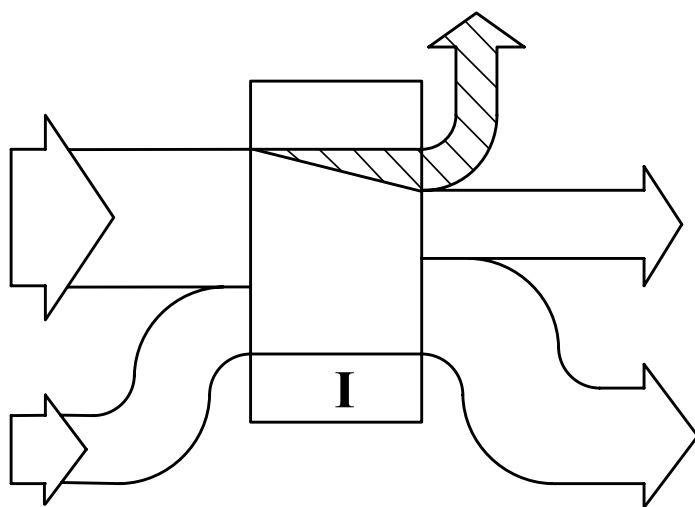


М.И. Кручинин, Е.М. Шадрина

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ЭНЕРГО– И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**
Эксергетический анализ теплообменных аппаратов

Учебное пособие



ИВАНОВО

2007

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Ивановский государственный химико-технологический
университет

М.И. Кручинин, Е.М. Шадрина

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ
Эксергетический анализ теплообменных аппаратов**

Учебное пособие

Иваново 2007

УДК 536 (072)

Кручинин М.И., Шадрина Е.М. Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения. Эксергетический анализ теплообменных аппаратов: учеб. пособие/ ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2007. 44 с. ISBN

В учебном пособии рассмотрены основы теплового расчета теплообменных аппаратов. Представлены методы эксергетического анализа теплообменников. Приведены примеры расчета термического КПД теплообменного аппарата двумя методами. Предложены задачи для самостоятельного решения. В приложении собран необходимый справочный материал для выполнения контрольных задач.

Предназначено для обеспечения самостоятельной работы студентов, изучающих курсы «Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения», «Техническая термодинамика и теплотехника», «Теплотехника».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета.

Рецензенты:

кафедра программного обеспечения Ивановского энергетического университета;
доктор технических наук А.И. Сокольский (Ивановский государственный архитектурно-строительный университет)

ISBN

© ГОУ ВПО Ивановский
государственный
химико-технологический
университет, 2007

ВВЕДЕНИЕ

Эксергетический метод термодинамического анализа позволяет определить максимальные возможности протекающих процессов, источники потерь, пути их устранения или снижения с целью повышения эффективности ЭХТС (энерго-химико-технологических систем), машин и установок. Эксергетический баланс учитывает различную ценность энергоресурсов разной природы или разного потенциала, особенности протекающих процессов в связи с различными проявлениями необратимости, в отличие от энергетического баланса, который не учитывает эти эффекты.

В выборе метода оценки степени термодинамической эффективности теплообменников в настоящее время не установилось единого мнения. Простейшим методом термодинамического анализа является энергетический, основанный на первом законе термодинамики. Существенным недостатком этого метода является то, что не учитывается ценность различных видов энергии, т.е. их практическая пригодность, что неверно с точки зрения второго закона термодинамики. Энергетический КПД – отношение действительно переданной теплоты к возможно максимальному количеству передаваемой теплоты.

Эксергетический метод термодинамического анализа основан на широком использовании эксергии. Виды эксергии и формулы для ее вычисления представлены в литературе [1, 2, 3, 6]. Эксергетический метод термодинамического анализа различных процессов преобразования энергии является универсальным. По второму закону термодинамики несовершенство любой машины и аппарата

обуславливается наличием термодинамической необратимости протекающих процессов, сопровождающихся возрастанием энтропии системы и вызывающих безвозвратную потерю располагаемой эксергии (энергии) из-за понижения ее качества, т.к. в необратимых процессах энергия не исчезает, а обесценивается. Так, например, при дросселировании рабочего тела не изменяется его энергия ($i_1 = i_2$), а снижается ее пригодность к совершению работы или использованию в теплообменниках. При эксергетическом анализе совершенство любой машины, аппарата и ЭХТС в целом оценивается эксергетическим КПД на выходе из системы (аппарата) к эксергии на входе в систему (аппарат).

Глава 1. Основы теплового расчета теплообменных аппаратов

1.1. Основные типы теплообменных аппаратов

Теплообменник – устройство, предназначенное для нагревания или охлаждения теплоносителя. В теплообменных аппаратах обычно происходит передача теплоты от одного теплоносителя к другому. Исключение составляют теплообменные аппараты с внутренним тепловыделением, когда теплота выделяется в самом аппарате. К таким аппаратам относятся различные электронагреватели и реакторы.

Теплообменники с двумя теплоносителями можно разделить на три основных группы:

1. Рекуперативные (поверхностные) теплообменники, к которых перенос осуществляется через твердую стенку разделяющую два теплоносителя.

2. Регенеративные, теплота горячего теплоносителя передается твердому телу (насадке), а затем через насадку пропускают холодный теплоноситель, который и отводит теплоту от насадки.

3. Смесительные теплообменники, в этих аппаратах теплообмен протекает при непосредственном смешении теплоносителей.

Наиболее простыми и компактными являются смесительные теплообменники. В них полнее используется потенциал передаваемой теплоты. Их применяют в тех случаях, когда теплоносители не требуют дальнейшего разделения, например при подогреве воды

паром или горячей водой или для подогрева легко разделяемых теплоносителей: газ – жидкость, вода – масло, газ – дисперсный твердый материал. На практике смешение теплоносителей допускается редко, поэтому рекуперативные теплообменники получили более широкое использование, особенно в химической промышленности. Конструкции этих аппаратов весьма разнообразны: труба в трубе, кожухотрубные, спиральные, пластинчатые и др.

1.2. Основные расчетные уравнения

Общим уравнением при расчете теплообменного аппарата любого типа является уравнение энергетического (теплового) баланса:

$$Q = G_1 (i'_1 - i''_1)(1 - \Pi_1) = G_2 (i'_2 - i''_2)(1 + \Pi_2). \quad (1.1)$$

Если в процессе теплообмена теплоносители не совершают фазового перехода, то уравнение (1.1) можно записать следующим образом:

$$Q = G_1 c_1 (t'_1 - t''_1)(1 - \Pi_1) = G_2 c_2 (t'_2 - t''_2)(1 + \Pi_2). \quad (1.2)$$

В уравнениях (1.1 – 1.2) индекс «1» относится к теплоносителю с более высокой температурой, а индекс «2» – к теплоносителю с более низкой температурой; Q – тепловой поток, Вт; i' (t') – удельная энтальпия (температура) теплоносителя на входе в теплообменник; i'' (t'') – удельная энтальпия (температура) теплоносителя на выходе из теплообменника, Дж/кг, ($^{\circ}\text{C}$); c – удельная массовая изобарная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг К); G – массовый расход теплоносителя, кг/с; Π – потери теплоты, масс. доли.

Из уравнений (1.1 – 1.2) определяют один неизвестный параметр: расход одного из теплоносителей, либо одну из неизвестных температур. Все остальные величины, входящие в уравнения должны быть заданы.

Расчет потерь теплоты (эксергии) от теплообмена с окружающей средой может быть произведен по одному более горячему теплоносителю.

Расчет тепловых потерь для аппаратов, установленных в закрытых помещениях при температуре поверхности менее 150 °С можно проводить следующим образом:

$$Q_{\Pi} = \alpha F \Delta t, \quad (1.3)$$

где F – площадь поверхности изоляции, м^2 ; Δt – разность температур изоляции аппарата и окружающей среды; α – суммарный коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием и конвекцией, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$, который определяется по уравнению:

$$\alpha = 9,74 + 0,07 \Delta t. \quad (1.4)$$

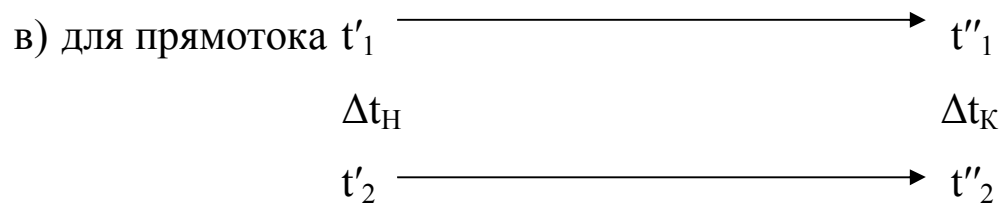
Необходимую поверхность теплообмена определяют из уравнения теплопередачи:

$$Q = K \Delta t_{\text{ср}} F, \quad (1.5)$$

где Q – тепловой поток, Вт ; K – коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$; F – поверхность теплообмена, м^2 ; $\Delta t_{\text{ср}}$ – средняя движущая сила (средняя разность температур) процесса теплопередачи.

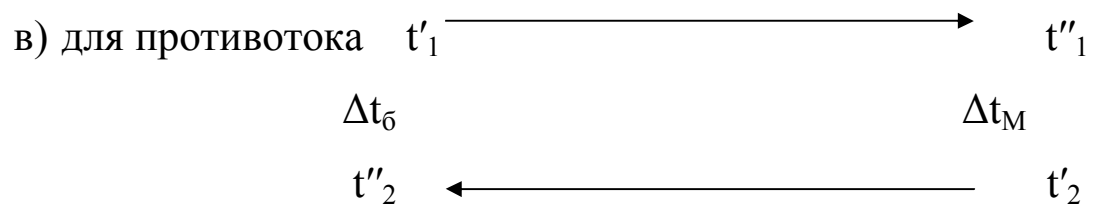
По численному значению рассчитанной поверхности теплообмена по ГОСТу выбирают необходимый аппарат.

Численное значение Δt_{CP} зависит от взаимного направления движения теплоносителей:



$$\frac{\Delta t_H}{\Delta t_K} < 2 \rightarrow \Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_H + \Delta t_K}{2};$$

$$\frac{\Delta t_H}{\Delta t_K} > 2 \rightarrow \Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_H - \Delta t_K}{\ln \frac{\Delta t_H}{\Delta t_K}}.$$



$$\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_M} < 2 \rightarrow \Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_M}{2}; \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_M} > 2 \rightarrow \Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_M}}$$

в) для смешанного тока расчет средней движущей силы приведен в главе 3 в задаче 1.

Поскольку тонкие стенки трубок рекуперативных теплообменников практически всегда считают плоскими, значение коэффициента теплопередачи определяют по формуле:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (1.6)$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м² К); $\sum \delta/\lambda$ – термические сопротивления стенки и загрязнений, Вт/(м² К).

Численные значения коэффициентов теплоотдачи определяют из критериальных уравнений. В табл. 4.1. [5, стр. 151] приведен перечень основных случаев теплоотдачи и соответствующих расчетных уравнений для определения коэффициентов теплоотдачи. Основные критерии подобия, входящие в критериальные уравнения: $Nu = \alpha \ell / \lambda$ – критерий Нуссельта; $Re = w \ell \rho / \mu = w \ell / \nu$ – критерий Рейнольдса; $Pr = c \mu / \lambda = \nu / a$ – критерий Прандтля; $Ga = g \ell^3 / \nu^2 = g \ell^3 \rho^2 / \mu^2$ – критерий Галлилея; $Gr = g \ell^3 \beta \Delta t / \nu^2$ – критерий Грасгофа. В критериях подобия: α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² К); ℓ – определяющий размер (для теплообменных аппаратов в большинстве случаев $\ell = d_{\text{ЭКВ}}$), м; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м К); w – скорость, м/с; ρ – плотность, кг/м³; μ – коэффициент динамической вязкости, Па с; ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с; c – теплоемкость, Дж/(кг К); $a = \lambda / (c \rho)$ – коэффициент температуропроводности, м²/с; β – коэффициент объемного расширения, К⁻¹; g – ускорение свободного падения, м/с²; Δt – разность температур стенки и жидкости, °С.

Теплофизические свойства теплоносителей, входящие в критерии подобия, необходимо брать при определяющей температуре. Для каждого критериального уравнения необходимо указать что было принято за определяющую температуру и определяющий размер.