

В. В. КАФАРОВ, В. П. МЕШАЛКИН, Г. И. МАНКО, Л. В. ГУРЬЕВА

ВЫБОР АППРОКСИМИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ РАСЧЕТА СТОИМОСТИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ПРИ СИНТЕЗЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ СИСТЕМ

(МОСКОВСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА)

В работе с целью выбора зависимостей, наиболее точно описывающих связь значений поверхности теплообмена со стоимостью теплообменного аппарата, использована информационная оценка точности моделирования.

Критерием эффективности при синтезе теплообменных систем (ТС) является величина приведенных затрат, составная часть которых — капитальные затраты на создание теплообменных аппаратов (ТА) [1]. Капитальные затраты — это сумма стоимостей ТА, в которых происходит теплообмен горячими и холодными потоками, включая потоки тепло- и хладоагентов. При синтезе ТС стремятся к унификации теплообменной аппаратуры, то есть выбирают ТА одного типоразмера. В качестве типоразмеров предлагается использовать ТА с большим диаметром кожуха (1000—1400 мм), так как ТА с меньшим диаметром кожуха менее эффективны по условиям теплообмена и относительно дороже по стоимости. ТА с большими диаметрами кожуха имеют поверхности теплообмена в диапазоне 607—1030 м².

Значения стоимостей ТА, приведенные в [2], зависят от конструктивного типа ТА, диаметра кожуха и труб, длины трубы, расположения труб в трубной решетке, вида материала для исполнения ТА.

При синтезе ТС для расчета критерия эффективности необходимо использовать данные по стоимостям ТА, представленные в [2] в виде таблиц. Для хранения указанной информации требуется большой объем оперативного запоминающего устройства ЭВМ. Чтобы избежать этого, предлагается вместо использования большого объема справочной информации по стоимости ТА рассчитывать их стоимость в зависимости от значения поверхностей теплообмена ТА по формальным выражениям стоимостных функций ТА, полученных статистической обработкой данных прейскуранта [2]. Это обусловлено тем, что в процессе синтеза ТС поверхности теплообмена рассчитываются и их значения могут быть использованы для определения стоимостей ТА.

В качестве стоимостных функций теплообменников использовались три вида зависимостей от поверхности теплообмена: линейная — $\Pi = aF + b$, степенная — $\Pi = aF^b$, полиномиальная — $\Pi = a + bF + cF^2$. Здесь F — поверхность площади теплообмена стандартного ТА, Π — стоимость ТА. Значения коэффициентов a , b и c для каждой из зависимостей приведены в табл. 1.

С целью выбора зависимостей, наиболее точно описывающих связь значений поверхности теплообмена со стоимостью ТА, для каждой стоимостной функции было подсчитано значение информационной оценки точности моделирования [3]. Использовались два вида информационной оценки: абсолютная оценка

$$D = \sum_{i=1}^m P_i \ln \frac{p_i}{q_i} \quad (1)$$

и относительная оценка

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^m p_i \ln m q_i}{\sum_{i=1}^m p_i \ln m p_i}, \quad (2)$$

где $P = \{p_i\}$ — распределение реальных (то есть взятых из прейскуранта) значений стоимости ТА; $Q = \{q_i\}$ — распределение значений стоимостной функции.

Таблица 1

Коэффициенты стоимостных функций и значения информационных оценок точности стоимостных функций ТА

Объем выборки		Поверхность теплообмена, м ²			
		9,4...146	149...294	303...590	607...1030
		22	20	26	23
$\Pi = aF + b$	a	22,88	20,40	22,59	15,90
	b	772,51	1110,61	238,63	4934,52
	D	0,001214	0,004900	0,07596	0,03894
	η	0,9707	0,6036	-0,3790	0,5818
$\Pi = aF^b$	a	220,03	73,37	23,00	140,83
	b	0,574	0,805	1,00	0,722
	D	0,01137	0,002179	0,09017	0,02398
	η	0,6805	0,8243	-1,031	0,6337
$\Pi = a + bF + cF^2$	a	608,54	-419,61	4342,29	1991,57
	b	26,88	34,81	3,60	22,69
	c	-0,03	-0,03	0,02	-0,00373
	D	0,001145	0,001111	0,0330	0,02712
	η	0,9725	0,9116	0,6175	0,6463

При расчете информационных оценок вместо вероятностей p_i , q_i подставлялись выборочные относительные частоты $\hat{v}_i$ и $\hat{v}_i$ попадания реальных и расчетных значений стоимостей в i -тый интервал диапазона изменения стоимостей.

Ввиду малых объемов выборок значений стоимостей, представляемых прейскурантом [2], применение стандартных методов расчета выборочных частот ведет к значительным погрешностям в определении распределений частот. В связи с этим целесообразно использовать метод равночастотных интервалов [4], обеспечивающий более высокую точность расчета распределений в случае выборок малого объема.

Применительно к задаче определения информационных оценок (1), (2) метод [4] был модифицирован следующим образом. Сначала находятся верхняя $L_v = \sup(\Pi \cup \hat{\Pi})$ и нижняя $L_n = \inf(\Pi \cup \hat{\Pi})$ границы объединения множества реальных $\Pi = \{\Pi_j\}$ и расчетных $\hat{\Pi} = \{\hat{\Pi}_j\}$ стоимостей ТА. Затем определяется число интервалов разбиения диапазона $L_v - L_n$ по формуле [5]

$$m = 1,5 + 3,322 \lg n, \quad (3)$$

где n — объем выборки, и находятся границы интервалов разбиения L_i , причем $L_1 = L_n$, $L_{m+1} = L_v$. Все интервалы (L_i, L_{i+1}) принимаются равными друг другу.

Далее для каждого из множеств Π и $\hat{\Pi}$ отдельно находятся границы равночастотных интервалов по методу [4], для чего наблюдения из каждой выборки располагаются в возрастающем порядке и разби-

ваются на m равных групп. При этом число значений стоимостей в группе не должно быть меньше пяти, в противном случае необходимо уменьшить число групп. Затем определяются границы L_{pk} равночастотных интервалов как полусуммы значений стоимостей наибольшего значения Π_j для предыдущей группы и наименьшего Π_{j+1} для последующей группы (см. рис. 1):

$$L_{pk} = \frac{\Pi_j + \Pi_{j+1}}{2}.$$

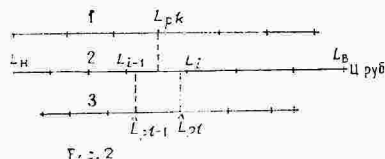
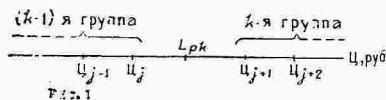


Рис. 1. К определению границ равночастотных интервалов

Рис. 2. Примерное взаимное расположение границ интервалов разбиения множеств Π (линия 1), $\Pi\hat{\Pi}$ (линия 2) и $\hat{\Pi}$ (линия 3)

На рис. 2 показано примерное взаимное расположение границ исходных L_i , а также равночастотных интервалов для выборок реальных L_{pk} и расчетных $\hat{L}_{pl}$ стоимостей.

Для каждого из равночастотных интервалов определяется плотность частот попадания значений стоимостей в i -й интервал:

$$d_k = \frac{r_k}{n(L_{pk} - L_{pk-1})}; \quad d_l = \frac{\hat{r}_l}{n(\hat{L}_{pl} - \hat{L}_{pl-1})},$$

где $r_k(\hat{r}_l)$ — число значений стоимостей в k -м (l -м) интервале для выборок реальных (расчетных) стоимостей.

По известным плотностям частот d_k и $\hat{d}_l$ для каждого из исходных интервалов (L_{i-1}, L_i) определяются частоты v_i , $\hat{v}_i$. Например, для показанного на рис. 2 случая интервалу (L_{i-1}, L_i) соответствуют частоты

$$v_i = d_k(L_{pk} - L_{i-1}) + d_{k+1}(L_i - L_{pk});$$

$$\hat{v}_i = \hat{d}_{l-1}(\hat{L}_{pl-1} - L_{i-1}) + \hat{d}_l(\hat{L}_{pl} - \hat{L}_{pl-1}) + \hat{d}_{l+1}(L_i - \hat{L}_{pl}).$$

Рассчитанные по полученным таким образом частотам v_i и $\hat{v}_i$ значения информационных оценок (1) и (2) приведены в табл. 1. Отметим, что для сравнения по точности тех функций, которые получены на основе одной и той же выборки значений стоимости, рекомендуется использовать оценку D , а для функций, полученных на основе выборок разного объема, следует использовать величину η . С увеличением степени адекватности проверяемой функции величина D стремится к нулю, а величина η — к единице. По мере уменьшения степени адекватности величина η уменьшается до ∞ , а величина D возрастает.

Анализ результатов выполненных на ЦВМ расчетов информационных оценок D и η позволяет сделать следующие выводы. Для первого диапазона значений поверхности теплообмена ($9,4 \dots 146 \text{ м}^2$) усложнение стоимостной функции не дает существенного увеличения степени адекватности. Достаточно точные результаты дает использование линейной зависимости. Для второго ($149 \dots 294 \text{ м}^2$) и третьего ($308 \dots$

Таблица 2

Коэффициенты стоимостной функции для кожухотрубчатых теплообменников

Наименование	1	2	3	4
Поверхность, м ²	9,4—146	149—294	308—590	607—1030
a	220,03	73,37	23,00	140,83
b	0,574	0,805	1,00	0,722
ε, %	6,04	4,21	9,83	2,76
$F = \frac{S_{восп}}{S_{ост}}$	88,37	118,03	20,76	207,82
F _p	2,12	1,84	1,69	1,5

590) диапазонов наибольшую точность обеспечивает полиномиальная зависимость, для четвертого (607...1030) — степенная.

При синтезе ТС по декомпозиционно-топологическому [6] и декомпозиционно-эвристическому методу [7] использовались степенные зависимости стоимости ТА от поверхности теплообмена. Нами была проверена адекватность зависимостей типа $C = aF^b$ по критерию Фишера (см. табл. 2).

Данные табл. 2, так же как и значения информационных оценок из табл. 1, подтверждают целесообразность выбора степенной стоимостной функции для ТА больших типоразмеров, наиболее часто применяющихся в химической и нефтеперерабатывающей промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перов В. Л., Мешалкин В. П. Процессы и аппараты. М.: Изд-во ВИНТИ, 1975, т. 3. 190 с.
2. Прейскурант № 23—03. Оптовые цены на оборудование химическое. М.: Прейскурантгиз, 1971, Ч. 1. 63 с.
3. Кафаров В. В., Мешалкин В. П., Манко Г. И. Докл. АН СССР, 1978, т. 242, № 2, с. 383.
4. Гетопанов В. Н., Алешин Ю. Н. Надежность и контроль качества, 1973, № 1, с. 23.
5. Лапа В. Г. Математические основы кибернетики. 2-е изд. Киев: Вища школа, 1974. 450 с.
6. Кафаров В. В., Перов В. В., Мешалкин В. П., Калмыков А. Н. Докл. АН СССР, 1974, т. 219, № 2, с. 408.
7. Кафаров В. В., Перов В. Л., Мешалкин В. П., Калмыков А. Н. Докл. АН СССР, 1974, т. 218, № 5, с. 1054.

Кафедра кибернетики
химико-технологических процессов

Поступила в редакцию
10 декабря 1979 года