

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОПОТОЧНЫХ СИСТЕМ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

ЖУКОВ В.П., д-р техн. наук, БАРОЧКИН Е.В., канд. техн. наук

Разработана математическая модель многопоточных пластинчатых теплообменных аппаратов, сформулирована задача выбора оптимальной структуры потоков и параметров установки.

Ключевые слова: пластинчатые теплообменные аппараты, математическая модель, теплоноситель.

THE STRUCTURAL-PARAMETRIC MULTITHREAD SYSTEM OPTIMIZATION OF PLATE HEAT-EXCHANGE UNITS

ZHUKOV V.P., Ph.D., BAROCHKIN E.V., Ph.D.

The article contains a developed mathematical model of multithread plate heat-exchange units, a formulated problem of selection of optimum flow structure and installation parameters.

Key words: plate heat-exchange units, mathematical model, heat carrying agent.

В качестве объекта моделирования выбрана многопоточная многоступенчатая система пластинчатых теплообменных аппаратов. Термин «многопоточная» в данном случае понимается как возможность распределенной подачи произвольного числа исходных теплоносителей в систему, а также возможность деления на выходе и объединения на входе ступени произвольного числа потоков. Термин «многоступенчатая» означает наличие в системе произвольного числа ступеней с произвольным числом связей между ними.

Матричная формализация расчета теплообменных аппаратов со сложной конфигурацией потоков [1] предполагает представление каждой ступени или аппарата четырехполюсником с двумя входными и двумя выходными потоками для холодного и горячего теплоносителя, соответственно. В пластинчатом теплообменнике каждый теплоноситель в ступени взаимодействует с двумя соседними теплоносителями (рис. 1,а), поэтому метод матричной формализации [1] для пластинчатых аппаратов нуждается в корректировке. Для адаптации метода принимается следующее допущение: каждая ступень вдоль направления движения теплоносителя условно разбивается на две теплоизолированные между собой части, в каждой из которых теплоноситель контактирует только с одним из соседних теплоносителей. Данный расчетный прием позволяет представить ступень в виде двух четырехполюсников. Выделенные потоки перемешиваются на выходе из ступени и направляются в следующую ступень.

Порядок составления расчетной схемы и матричной модели демонстрируется на примере пластинчатого теплообменника (рис. 1). В крайних секциях теплообмен осуществляется только через одну стенку, что позволяет при составлении расчетной схемы ограничиться тремя четырехполюсниками. Однако для удобства выполнения расчетного анализа и наглядности представления результатов численных экспериментов вводится дополнительный четвертый элемент, входные параметры которого соответствуют выходным параметрам рассматриваемой установки. Таким образом, для составления расчетной схемы и модели предлагается схема из четырех элементов (рис. 1,б).

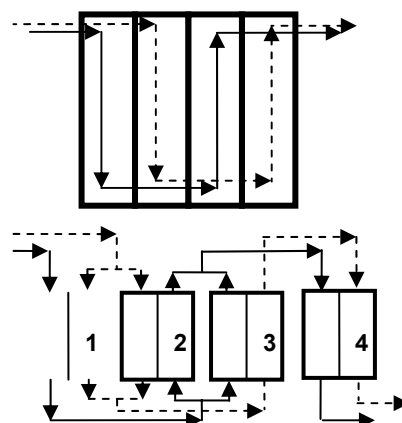


Рис. 1. Схема потоков в четырехступенчатом пластинчатом теплообменнике: а – технологическая; б – расчетная (сплошными и штриховыми линиями показаны соответственно потоки горячего и холодного теплоносителя)

Расчет пластинчатого теплообменника выполняется в два этапа: сначала определяются расходы теплоносителей через каждую ступень, затем вычисляются значения температуры теплоносителя в произвольной точке аппарата.

При выполнении первого этапа в качестве параметров потоков X выбираются расходы горяче-

го и холодного теплоносителей: $X = \begin{pmatrix} G_1 \\ G_2 \end{pmatrix}$. Потоки в

поверхностном подогревателе разделены стенкой, поэтому их расходы не меняются, а матрица процесса в ступени соответствует единичной матрице

$B = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$. Матрица коммутации состоит из четы-

рех элементов $K_{ij} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \end{pmatrix}_{ij}$, каждый из кото-

рых показывает долю потока из j -го в i -й элемент: α_{11} – горячего теплоносителя в горячий; α_{12} – холодного в горячий; α_{21} – горячего в холодный; α_{22} – холодного в холодный. Согласно расчетной схеме (рис. 1,б), матрицы коммутации записываются следующим образом:

$$K_{11} = K_{12} = K_{13} = K_{14} = K_{22} = K_{23} = K_{24} = K_{32} = K_{33} = K_{34} = K_{41} = K_{44} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, K_{21} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, K_{31} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, K_{42} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, K_{43} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

На первом этапе расчета матричная модель принимает вид

$$\begin{pmatrix} K_{11}-I & K_{12} & K_{13} & K_{14} \\ K_{21} & K_{11}-I & K_{23} & K_{24} \\ K_{31} & K_{32} & K_{11}-I & K_{34} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{11}-I \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -[X_0]_1 \\ -[X_0]_2 \\ -[X_0]_3 \\ -[X_0]_4 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Из решения (1) находятся расходы теплоносителей через ступени установки. Следует отметить, что предложенный подход справедлив и при наличии внутренних рециркуляций, рассчитать которые посредством последовательных арифметических вычислений не всегда возможно.

На втором этапе расчета вектор признаков составляется из температуры горячего и холодного теплоносителя $X = \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \end{pmatrix}$. Матрица процесса в ступени B для каждого четырехполюсника, согласно [2], записывается в следующем виде:

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix},$$

$$b_{11} = \left(\frac{a_2}{a_1} + e^{-(a_1+a_2)F} \right) / \left(\frac{a_2}{a_1} + 1 \right),$$

$$b_{12} = \left(1 - e^{-(a_1+a_2)F} \right) / \left(\frac{a_2}{a_1} + 1 \right),$$

$$b_{21} = \left(\frac{a_2}{a_1} - \frac{a_2}{a_1} e^{-(a_1+a_2)F} \right) / \left(\frac{a_2}{a_1} + 1 \right),$$

$$b_{22} = \left(1 + \frac{a_2}{a_1} e^{-(a_1+a_2)F} \right) / \left(\frac{a_2}{a_1} + 1 \right),$$

$$a_1 = \frac{k}{c_1^* G_1}, \quad a_2 = \frac{k}{c_2^* G_2},$$

где k – коэффициент теплопередачи; c – удельная теплоемкость; G – расход; t – температура теплоносителя; индекс «1» относится к горячему, «2» – к холодному теплоносителю.

Температура не является аддитивным параметром, поэтому для составления балансовых уравнений температура умножается на расход теплоносителя и теплоемкость. Полученное произведение есть энергия (или энтальпия) потока и при смешении потоков их энергии могут складываться. С учетом сделанных замечаний матричная модель принимает вид

$$\begin{pmatrix} -G_{11} & K_{12}G_{22}B_2 & K_{13}G_{33}B_3 & K_{14}G_{44}B_4 \\ K_{21}G_{11}B_1 & -G_{22} & K_{23}G_{33}B_3 & K_{24}G_{44}B_4 \\ K_{31}G_{11}B_1 & K_{32}G_{22}B_2 & -G_{33} & K_{34}G_{44}B_4 \\ K_{41}G_{11}B_1 & K_{42}G_{22}B_2 & K_{43}G_{33}B_3 & -G_{44} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -[GX_0]_1 \\ -[GX_0]_2 \\ -[GX_0]_3 \\ -[GX_0]_4 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $G_{ii} = \begin{pmatrix} G_{1i} & 0 \\ 0 & G_{2i} \end{pmatrix}$ – диагональная матрица расходов

теплоносителей через ступень; $[GX_0] = \begin{pmatrix} Gt_{10} \\ Gt_{20} \end{pmatrix}$ – вектор-столбец из произведений температуры на расход внешних потоков.

На втором этапе решения задачи вектор внешних входных потоков записывается в виде $X_0 = -[G_{10}t_{10} \ G_{20}t_{20}/2 \ 0 \ G_{20}t_{20}/2 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$.

Решение системы (2) позволяет определить значение температуры теплоносителей в произвольной точке установки.

Рассматривается пример решения задачи структурно-параметрической оптимизации многопоточной системы пластинчатых теплообменных аппаратов. Установка состоит из трех пластинчатых теплообменных аппаратов, включенных параллельно по горячему и холодному теплоносителю. В качестве параметров оптимизации выбираются доли горячего x_1 и холодного x_2 теплоносителя, подаваемые на вход в первый подогреватель. При этом доли внешних потоков, направляемые во второй и третий подогреватели, принимаются равными. В качестве целевой функции оптимизации выбирается температура холодного теплоносителя на выходе установки. Необходимо определить распределение внешних потоков по ступеням, которое обеспечивает максимальную температуру холодного теплоносителя на выходе, то есть максимальную эффективность теплообмена. Температура и суммарный расход входных потоков в установку при этом не изменяются.

Результаты решения сформулированной задачи представлены в виде зависимостей температуры холодного теплоносителя на выходе от доли горячего теплоносителя x_1 (рис. 2), анализ которых показывает, что максимальное значение целевой функции соответствует равномерному распределению потоков холодного и горячего теплоносителя по ступеням.

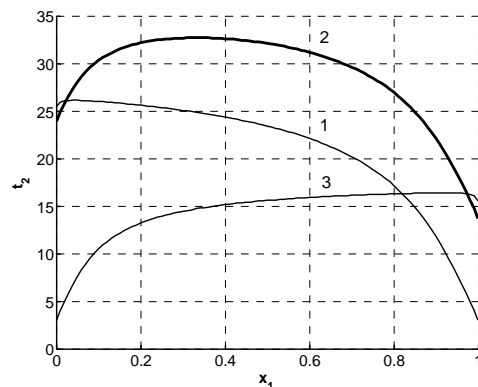


Рис. 2. Зависимость температуры холодного теплоносителя на выходе от доли потока горячего теплоносителя в первый теплообменник при различных значениях доли холодного теплоносителя, подаваемого в первый теплообменник: 1 – $x_2 = 0,01$; 2 – $0,33$; 3 – $0,99$

Результаты исследований могут использоваться для постановки и решения оптимизационных задач при наладке и проектировании пластинчатых теплообменных установок.

Список литературы

1. **Моделирование** тепломассообмена в струйных деаэраторах со сложной конфигурацией потоков / Е.В. Барочкин, В.П. Жуков, Г.В. Ледуховский и др. // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2004. – Т. 47. – Вып. 9.

2. **Барочкин Е.В., Жуков В.П., Ледуховский Г.В.** Обобщенная модель каскадных теплообменных аппаратов с учетом фазовых переходов // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2004. – Т. 47. – Вып. 3.

Жуков Владимир Павлович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики,
телефон (4932) 26-97-45,
e-mail: zhukov@home.ivanovo.ru

Барочкин Евгений Витальевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций,
телефон (4932) 41-60-56,
e-mail: admin@tes.ispu.ru