

СИСТЕМА КОДИФИКАЦИИ И СТРУКТУРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ УСТАНОВОК

БАРОЧКИН Е.В., канд. техн. наук, ЖУКОВ В.П., д-р техн. наук, ТРУБЧАНИН В.А., инж., БАРОЧКИН А. Е., студ.

Предложена система кодификации структуры сложных теплообменных установок, на ее основе разработан алгоритм и получено решение задачи структурной оптимизации систем теплообменных аппаратов со сложной конфигурацией потоков.

Ключевые слова: тепломассообменная установка, система кодификации, матрицы коммутации, температура горячего теплоносителя, структурная оптимизация.

CODIFICATION SYSTEM AND STRUCTURAL OPTIMIZATION OF MULTISTAGE HEAT EXCHANGE PLANTS

E.V. BAROCHKIN, Candidate of Engineering, V.P. GUKOV, Dr. of Engineering, V.A. TRUBCHANIN, Engineer, A.E. BAROCHKIN, Student

The article presents a codification system of heat exchange plants configuration on the basis of which the algorithm is developed. The author suggests a solution to the structural optimization problem of heat exchange system with complex flow configuration.

Key words: heat and mass exchanger, codification system, switching element matrix, temperature of the hot heat-transfer agent, structural optimization.

На основе разработанного ранее [1] метода расчета сложных тепломассообменных установок предлагается система кодификации структуры и решение на ее основе задачи структурной оптимизации систем со сложной конфигурацией потоков.

Система кодификации, применяемая для структурной оптимизации, должна обладать рядом свойств:

- однозначное соответствие кода структуре системы;
- простота составления кода по известной структуре системы;
- экономное использование машинной памяти;
- автоматическое исключение кодов неработоспособных схем;
- простота генерации по коду расчетной модели;
- возможность использования кода при построении генетического (эволюционного) алгоритма [2, 3] или алгоритмов статистического программирования [4] для оптимизации структуры системы.

Ниже рассматриваются несколько вариантов разработанного кода, которые могут использоваться для решения различных задач.

При моделировании многоступенчатых систем со сложной конфигурацией потоков [1] для описания структуры системы используется матрица коммутации K . Порядок формирования матрицы коммутации для сложных систем тепломассообменных аппаратов, состоящей из n подсистем, проиллюстрирован на рис. 1.

Для описания структуры потоков между j -м и i -м элементами строится матрица K_{ij} , состоящая из четырех элементов $K_{ij} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} \end{pmatrix}$, каждый из которых 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.

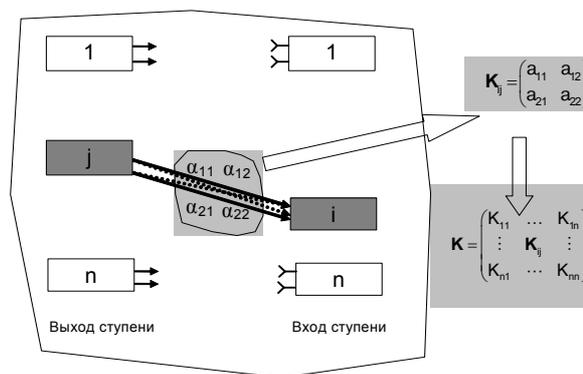


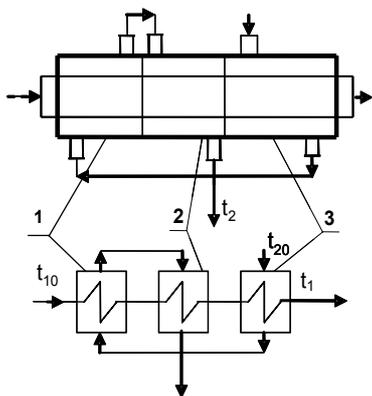
Рис. 1. Формирование матрицы коммутации K для сложных систем тепломассообменных аппаратов

Для установки из n ступеней матрица коммутации системы K составляется из $n \times n$ матриц K_{ij} , где $i, j = 1, 2, \dots, n$. Известный вид матрицы K однозначно определяет структуру потоков сложной системы.

Системы кодификации рассматриваются на примере трехступенчатой установки (рис. 2). На рис. 2,а показана схема потоков и расчетная схема установки, на рис. 2,б – соответствующий ей вид матрицы коммутации в блочном и развернутом виде.

Первый вариант кода формируется путем построчного преобразования матрицы коммутации в вектор (рис. 2,в). Такой вектор однозначно соответствует матрице коммутации, поэтому определяет структуру системы и является вариантом ее кода. Матрица коммутации состоит из $2n$ строк и $2n$ столбцов, то есть из $2n \times 2n$ элементов. Для трехступенчатой установки число позиций кода составляет 36. Число вариантов структур, которое может быть сгенерировано на основании предложенного кода, если каждая позиция кода может принимать значения

только 0 или 1, составляет $2^{4n^2} = 2^{36}$. Следует отметить, что недостатком первого варианта кода является возможное нарушение балансовых ограничений в сгенерированных схемах.



а)

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

б)

Код1 = [000000 000001 100000 010000 001000 000000] в)

Код2=[(2.1.2.2) (3.1.0.0) (0.0.1.2)] г)

Код3=[3.4.5.0.0.2] д)

Рис. 2. Схема потоков в трехступенчатом теплообменнике (а), вид матрицы коммутации **K** (б), определяющей структуру системы, и примеры ее кода (в, г, д)

Более рациональный код, при построении которого учитываются балансовые ограничения, приведен на рис. 2.г. Четыре позиции кода, записанные в круглых скобках и разделенные точками, соответствуют одной ступени. Первая позиция показывает номер ступени, в которую направляется горячий теплоноситель. Вторая позиция соответствует типу канала, в который подается горячий теплоноситель (1 – горячий, 2 – холодный). Значения третьей и четвертой позиций кода выбираются аналогично для холодного теплоносителя. Предлагаемая система кодирования допускает подачу выходного потока не более чем в один входной канал. Такой запрет существенно уменьшает число возможных вариантов кода по сравнению с первым случаем: число вариантов структур для трехступенчатой установки ($n = 3$) составляет $(2n)^{2n} = 6^6 = 46656$.

Третий вариант кода строится на основе матрицы коммутации, приведенной на рис. 1,б. Если деления потоков теплоносителей не происходит и элементы матрицы коммутации принимают значения нуля или единицы, то в каждом столбце матрицы **K** может размещаться не более одной единицы. При построении кода предлагается номер строки, где размещается единица в первом столбце матрицы коммутации, заносить в первую позицию кода, номер строки второго столбца, где размещена единица, заносится во вторую позицию кода, и так далее. В данном случае число позиций кода ($2n$) равно числу столбцов матрицы **K**. Если в столбце единица отсутствует, то в позицию кода заносится ноль. Это соответствует случаю, когда поток теплоносителя покидает схему, например, направляется потребителю. Пример кода, построенного по такому принципу, для

схемы рис. 2,а приведен на рис. 2,д. В отличие от второго варианта кода, который включает $4n$ позиций, этот код содержит $2n$ позиций, то есть в два раза экономней. Кроме этого, третий код позволяет разработать простой алгоритм построения модели по заданному коду системы.

Третий вариант системы кодификации положен в основу алгоритма и компьютерной программы расчета и оптимизации структуры системы теплообменных аппаратов.

В качестве примера, демонстрирующего возможности предлагаемого алгоритма структурной оптимизации, решается следующая задача: выбрать оптимальную структуру трехступенчатой теплообменной установки, которая обеспечивает экстремальное значение целевой функции. В качестве целевой функции предлагается использовать потери эксэргии теплоносителей при теплообмене [5]. Известно, что при обратимом теплообмене потерь эксэргии не происходит. Отклонение значения целевой функции от нуля характеризует неидеальность процесса. Для реального процесса оценка потери эксэргии при одинаковых водяных эквивалентах W теплоносителей может выполняться согласно [5]:

$$\overline{E_T} = T_c W \ln \frac{T_2 T_1}{T_{20} T_{10}}, \quad (1)$$

где T – абсолютная температура; $W = cG$ – водяной эквивалент, c – теплоемкость, G – расход теплоносителя; индекс 1 относится к горячему, 2 – к холодному теплоносителю, 0 – к исходному значению параметров, c – к параметрам окружающей среды.

После выбора целевой функции формулировка задачи структурной оптимизации уточняется следующим образом: для трехступенчатой схемы выбрать оптимальную структуру, которой соответствует минимальное значение потерь эксэргии при теплообмене. При выполнении расчетных исследований приняты следующие исходные данные и ограничения. Горячий теплоноситель подается в первую ступень с температурой 800 °С, холодный теплоноситель направляется в третью ступень с температурой 160 °С. С учетом незначительного числа возможных вариантов структур для трехступенчатых схем реализован алгоритм полного перебора. Расчетный анализ показал, что число возможных работоспособных схем составляет 12. При этом схемы с разными кодами могут обеспечивать одинаковые температуры и значения целевой функции. Результаты решения задачи приведены в табл. 1, где показаны варианты кода структуры, соответствующие им значения температур горячего и холодного теплоносителей на выходе системы и значения целевой функции.

Таблица 1

Код	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$\overline{E_T}, \text{Вт}$
2.3.4.0.0.5	160,0	800,0	0
2.3.5.0.0.4	413,6	546,4	56,1
2.4.5.0.0.3	368,2	591,8	51,9
2.5.4.0.0.3	523,3	436,7	57,4
3.4.2.0.0.5	160,0	800,0	0
3.4.5.0.0.2	394,8	565,2	54,6
3.5.2.0.0.4	445,3	514,7	57,8
3.5.4.0.0.2	368,2	591,8	51,9
4.3.5.0.0.2	388,7	571,3	54,0
4.5.2.0.0.3	424,7	535,3	56,8
5.3.4.0.0.2	413,6	546,6	56,2
5.4.2.0.0.3	445,3	514,7	57,8

В табл. 2 приводятся коды и соответствующие им структурные схемы установки.

Таблица 2

Код	Структурная схема
2.3.4.0.0.5	
2.3.5.0.0.4	
2.4.5.0.0.3	
2.5.4.0.0.3	
3.4.2.0.0.5	
3.4.5.0.0.2	
3.5.2.0.0.4	
3.5.4.0.0.2	
4.3.5.0.0.2	
4.5.2.0.0.3	
5.3.4.0.0.2	
5.4.2.0.0.3	

На рис. 3 показывается зависимость значения целевой функции от температуры горячего теплоносителя на выходе установки.

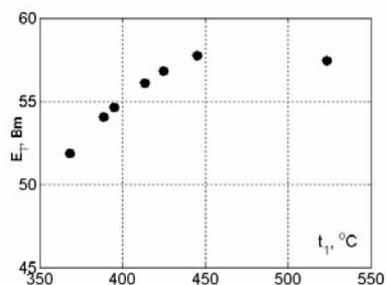


Рис. 3. Зависимость значения целевой функции от температуры горячего теплоносителя на выходе трехступенчатого теплообменника (точки соответствуют различным структурам системы)

Минимальное значение температуры горячего теплоносителя на выходе соответствует минимальному значению целевой функции, что согласуется с известными термодинамическими положениями [5]. Нулевое значение целевой функции соответствует случаю, при котором горячий и холодный теплоноситель без теплообмена меняются каналами. Этот результат исключается из дальнейшего анализа как не имеющий практического значения.

Рассмотренный демонстрационный пример представляет, скорее, методический, нежели практический интерес в силу выбранных ограничений и вида целевой функции. Для решения практических задач целевая функция и ограничения выбираются из реальных условий с возможным привлечением экономических критериев.

При большом числе ступеней теплообмена число вариантов структур существенно возрастает, и более эффективное решение задачи структурной оптимизации может быть получено методами направленного поиска или генетического алгоритма [2, 3], которые обладают известными преимуществами по сравнению с алгоритмами перебора.

Таким образом, разработанная система кодификации позволяет решать задачи структурной оптимизации систем теплообменных аппаратов по одному или нескольким критериям эффективности их работы.

Список литературы

1. Барочкин Е.В. Обобщенный метод расчета многоступенчатых деаэраторов // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2004. – Т. 47. – Вып. 9.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – М.: Дрофа, 2004.
3. Holland J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems / J.H. Holland. – Ann Arbor: Univ. of Michigan Press, 1975.
4. Bremermann H. Numerical optimization procedures derived from biological evolution processes // Cybernetics problems in biology. – N.Y.-London-Paris: Gordon and Breach Science Publ. Inc, 1968. – P. 597–616.
5. Кафаров В.В., Мешалкин В.П., Гурьева Л.В. Оптимизация теплообменных процессов и систем. – М.: Энергоатомиздат, 1988.

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,
 admin@tes.ispu.ru

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

Трубчанин

Барочкина