

О.В. АЛТУХОВА, асп., НТУ «ХПИ»

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИЙ СХЕМ ТОКА СРЕД В ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ ХИМИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ПРОИЗВОДСТВ

В статье представлен принципиально новый уточненный метод расчета пластинчатого теплообменного аппарата с учетом специфики схемы тока сред внутри аппарата. Описаны основные принципы формирования топологий схем тока сред как структурной основы при создании сменных модулей уточненных расчетов пластинчатых теплообменников для синтезаторов средств расчета и оптимизации теплообменного оборудования различного назначения и конструкций.

Ключевые слова: топология, схема тока сред, пластинчатые теплообменные аппараты, оптимизация, алгоритм.

Вступление. В настоящее время расчет пластинчатых теплообменных аппаратов (ПТА) проводится по общепринятым методикам, базирующимся в основном на эмпирических данных – результатах экспериментов. Такие методики описаны в [1 – 3]. Все они предполагают расчет ПТА как единой теплопередающей поверхности, т.е. при расчете учитывается только общая схема тока сред в аппарате (общий прямоток, противоток или перекрестный ток). На самом же деле внутри аппарата схема тока сред представляет собой сложный комплекс объединенных между собой прямоточных/противоточных элементов или элементов с перекрестным током сред. Иногда поправку на влияние их при стандартном методе расчета учитывают введением некоторых эмпирических коэффициентов, как, например, в [4].

При большом числе пластин в аппарате фактором влияния схемы тока сред действительно можно пренебречь. Однако в некоторых аппаратах количество пластин может быть настолько мало, что при расчете теплообмена следует учитывать влияние схем тока сред. Это вносит существенную неточность в результаты расчета.

Итак, проблема, существующая в настоящее время, состоит в отсутствии методики, позволяющей добиваться большей точности расчета ПТА. Как же повысить эту точность?

Решением может стать применение фрактального подхода, позволяющего проводить уточненный расчет поэтапно путем объединения элементов в

© О.В. Алтухова, 2014

пары, ряды и комплексы теплообменных поверхностей. Универсальная фрактальная классификация и способы определения функций эффективности элементов, пар, рядов и комплексов элементов подробно описаны в [5, 6].

Применение уточненной методики открывает следующие возможности:

1. Удешевление теплообменников и снижение энергозатрат при их эксплуатации за счет уменьшения необходимого коэффициента запаса. Введение этого запаса связано с необходимостью компенсации возможной погрешности расчета. Следовательно, с ее уменьшением возможно и уменьшение запаса, что значительно улучшит результаты оптимизации.

2. Проведение нестандартных расчетов, требующих поэлементного учета условий теплообмена, а также конструктивных параметров теплопередающих поверхностей. Так в [8] описан случай, требующий расчета аппарата, набранного из различных типов пластин.

3. Предотвращения попадания при расчете в зону нереальности работы аппарата (например, когда температура греющего теплоносителя оказывается ниже температуры нагреваемого).

4. Уход от введения эмпирических коэффициентов, возможность использования теоретических формул без поправок и ограничений.

Итак, **цель** создания уточненной методики: добиться учета специфики схемы тока сред, а также изменения условий теплообмена, при расчете ПТА чтобы повысить его точность.

Цель формирует **задачи**:

1. Разработать методику уточненного расчета теплопередачи в ПТА с учетом специфики схемы тока сред в них. Для этого потребуется адаптировать существующий метод фрактального расчета комплексов аппаратов для расчета отдельного аппарата как комплекса элементов, доработать необходимые, но отсутствующие компоненты.

2. Создать методику пригодной для реализации на ЭВМ – создать алгоритм, реализующий эту методику. Эта необходимость продиктована объемом вычислений при уточненном расчете, которые практически невозможно проводить вручную.

Итак, поставлена задача создания методики уточненного расчета ПТА с учетом специфики схемы тока сред в них, пригодной для компьютерного расчета.

Однозначно описать связи между элементами – значит задать **топологию схемы тока сред** в ПТА. Принцип формирования топологии теплооб-

менных комплексов описан в [6].

На рис. 1 приведен пример схемы тока сред в аппарате, в котором среда, отдающая тепло, (далее среда О) разбивается на 4 параллельных потока, а среда, воспринимающая тепло, (далее среда В) – на 3.

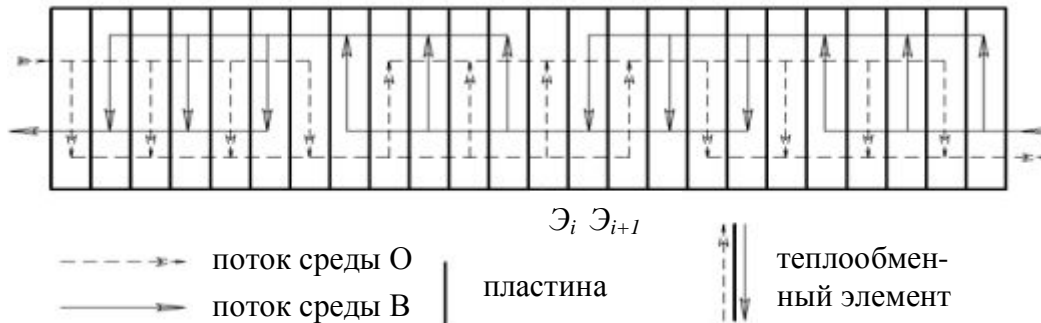


Рис. 1 – Пример схемы тока сред в ПТА, основные ее элементы

Теплообменный элемент (ТЭ) – это часть ТА, включающая пластину и части омывающих ее потоков сред О и В, причем они отделены таким образом, что через границы ТЭ передача тепла отсутствует.

Кроме того, для адаптации фрактального метода к уточненному расчету ПТА необходимо однозначное описание схемы тока сред в аппарате.

Схема тока сред (СТС) – взаимное направление движения сред в структурной единице (комплексе аппаратов, аппарате или его части).

К элементарным схемам тока сред относятся: параллельный ток (противоток и прямоток), перекрестный ток. Перечисленные схемы могут быть как общими схемами тока в аппарате, так и локальными схемами для элемента. Например, при общем противотоке в аппарате при уточненном рассмотрении схема может содержать несколько прямоточных и противоточных элементов, либо все ее элементы – перекрестный ток. Примеры приведены на рис. 2.



Рис. 2 – Примеры схем параллельного тока сред в ПТА

Исходя из определения топологии теплообменных комплексов, приведенного в [6], сформулируем следующее определение: **топология схемы тока сред в ПТА** – однозначное описание схемы тока сред в ПТА, определяющее порядок соединения ТЭ, их индекс противоточности и долю общего потока среды в элементе.

Топология будет зависеть не только от конструкции аппарата, но и от его температурного режима. Это связано с тем, что формирование ТЭ зависит от теплового потока – ось теплообмена будет иметь разное положение при различных температурных и гидравлических режимах аппарата той же конструкции.

Топология содержит информацию о:

а) соединении элементов в ПТА – порядке прохождения каждой из сред через элементы;

б) индексе противоточности каждого элемента;

в) *коэффициенте распределения сред* – доле от общего потока среды, проходящей через элемент.

Первые два элемента топологии однозначно задаются конструкцией аппарата. Сложность определения третьего элемента топологии состоит в том, что поток среды в элементе определяется путем итераций, включающих элементы как конструктивного, так и теплового расчетов. Т.к. невозможно изначально определить температуры сред в каждом элементе, то невозможно узнать и количество передаваемого в нем тепла. Ось теплообмена, являющаяся границей ТЭ, таким образом, в ходе итераций не имеет конкретного положения.

Методика теплового расчета с применением иерархического метода разработана и приведена в [6]. В разработке нуждаются только принципы формирования элементов топологии, а также принцип уточнения коэффициентов распределения сред.

Определим, в каких случаях имеет место упрощение СТС:

1. ПТА одноходовый по обеим средам: в этом случае схема соединения элементов упрощена – все они являются соединенными параллельно, а индекс противоточности каждого элемента одинаков с индексом противоточности аппарата. Коэффициенты распределения сред в каждом элементе равны 0,5. В таком случае уточненный расчет аппарата не имеет смысла и не проводится.

2. Перекрестный ток в элементах: в этом случае такая схема тока будет присутствовать в каждом элементе ПТА, однако при этом общая схема движения сред в ПТА может быть прямоточной или противоточной при ходовости аппарата больше 1.

3. Расчет проводится по принципу неизменности условий теплообмена в элементах ПТА. В этом случае коэффициент распределения сред

каждого элемента по каждой среде будет равен 0,5.

Описание топологии схемы тока сред обычно принято делать в виде *распределительных матриц смежности* для каждой из сред (О и В). Матрицы заполняются значениями коэффициентов распределения сред и отражают соединение элементов средами. Индексы противочности следует формировать отдельно.

Обозначим используемое далее понятие.

Число параллельных каналов по i -й среде – количество потоков, на которые дробится среда в ПТА.

Далее для обозначения СТС будем указывать 2 числа: количество каналов по среде О и В соответственно.

Принцип их заполнения приведен в [6].

Матрица является квадратной. В элементы матрицы (на пересечении столбцов и строк) матрицы записываются численные значения коэффициента распределения среды. Определение элемента матрицы $[a, b]$: a (горизонтальная строка) – номер ТЭ, в который входит среда; b (вертикальный столбец) – номер ТЭ, из которого выходит среда. В каждый элемент записывается значение коэффициента распределения сред для ТЭ, в который входит среда (по значению a). Если среда в аппарат не входит, элемент матрицы остается нулевым. Кроме номеров элементов в матрице существуют столбец и строка под номером 0. Они отражают вход в аппарат и выход из него. Для горизонтальной строки этот элемент является последним (выход из аппарата), для столбца – первым (вход в аппарат).

Особенности построения матриц:

1. Элементы, соединенные средой параллельно, (группы элементов) в распределительной матрице смежности находятся в одном горизонтальном ряду (сумма их коэффициентов распределения сред равна 1) и одном вертикальном столбце.

2. В построении групп участвуют только ненулевые элементы.

3. Горизонтальные строки в группе элементов будут одинаковые.

4. Порядок заполнения матриц зависит от общей схемы тока в аппарате (характер движения среды: от первого элемента к последнему или наоборот – от последнего к первому) и не зависит от характера ввода сред на первую пластину.

Подобные матрицы наглядно описывают топологию, применимы при ручном расчете комплексов с небольшим числом элементов.

В случае уточненного расчета ПТА они имеют ряд недостатков. В первую очередь это громоздкость.

При расчете ПТА количество элементов в нем, равное числу пластин в аппарате, может достигать 860 шт. Столько же элементов будет содержать матрица и в горизонтальном, и в вертикальном ряду. Причем значения в горизонтальных рядах фактически дублируются. Они отражают только, из каких элементов среда выходит. При компьютерном расчете матрицу придется хранить в оперативной памяти, что займет значительный ее объем, кроме того при формировании матрицы и при дальнейшем считывании данных будет производится огромное число запросов.

Следовательно, оптимально было бы перейти к другой форме записи топологии СТС, более компактной, однако отражающей те же данные, и полностью и однозначно описывающей топологию.

Предлагаем все данные, отражающие топологию СТС, вносить в единую сводную матрицу. Первая строка матрицы заполняется значениями индекса противоточности элементов. Заполняется один раз и в последующих итерациях не уточняется. Далее необходимо задать порядок прохождения сред через элементы.

Введем новое понятие.

Группа элементов – набор теплообменных элементов, при прохождении через которые поток среды в ТА разбивается на параллельные потоки.

Номера групп элементов – целые числа. Число групп элементов меньше или равно числу пластин в аппарате, участвующих в теплообмене (без крайних пластин).

Таким образом, мы фактически имеем те же данные, что и в распределительных матрицах смежности. Группы элементов нумеруются строго по порядку. Поэтому, если элемент находится, например, в группе 3, то поток среды пришел в него из элементов группы 2 и уйдет после него в элементы группы 4. Таким образом, порядок прохождения сред через элементы задается однозначно. Группы элементов формируются единоразово и в последующем не уточняются.

Последние строки матрицы – коэффициенты распределения сред О и В. Они зависят от условий теплообмена в элементе, поэтому их уточнение проводится итерационно с полным тепловым расчетом аппарата. Следовательно, последние 2 строки матрицы переформируются каждую итерацию.

Пример описанной матрицы топологии СТС приведен в таблице.

Таблица – Форма матрицы топологии СТС в ПТА

Наименование величины		Номер элемента				
		1	2	...	$i-1$	i
Эффективность элемента, $p \in [0; 1]$						
Группа элементов	по среде О, $N_{O_i} = 1, 2 \dots$					
	по среде В, $N_{B_i} = 1, 2 \dots$					
Коэффициент распределения	среды О, $\varphi_{O_i} \in [0; 1]$					
	среды В, $\varphi_{B_i} \in [0; 1]$					

В общем виде порядок поверочного расчета будет следующий:

1. Формирование индекса противоточности каждого ТЭ (строка 1 матрицы топологии СТС).

2. Формирование последовательности групп элементов, через которые проходят среды – задание порядка прохождения сред через элементы (строки 2 и 3 матрицы).

3. Формирование предварительных коэффициентов распределения сред: изначально принимаем равномерное распределение потоков сред между элементами (строки 4 и 5 матрицы).

4. Поэлементный тепловой расчет с применением иерархического метода. Уточнение реальных температур сред в элементах.

5. Уточнение коэффициентов распределения сред. Перезаполнение строк 4 и 5 матрицы.

6. Проверка сходимости коэффициентов распределения сред: при значении общей погрешности ниже заданной расчет считаем законченным, в противном случае производится повторный расчет для элементов, погрешность в которых превышает допустимую поэлементную погрешность (расчет повторяется с п.4).

Проектный расчет в свою структуру включает как элемент поверочный расчет.

Выводы.

Разработанный метод уточненного теплового расчета позволяет повысить точность вычисления, что повлечет за собой улучшение результатов оптимизации.

Список литературы: 1. Барановский Н.В. Пластинчатые и спиральные теплообменники / Н.В. Барановский, Л.М. Коваленко, А.Р. Ястребенецкий. – М.: «Машиностроение», 1973. – 288 с.
2. Пластинчатые теплообменные аппараты: каталог УкрНИИхиммаш // [сост. Л.М. Коваленко,

С.Л. Рудь]. – М.: Цинтихимнефтемаш, 1983. – 51 с. **3.** Теплообменники пластинчатые. Методы тепловых и гидромеханических расчетов: РД 26-01-107-86 / [состав. Л.М. Коваленко, С.И. Шуляк, К.М. Шаранова]. – Х.: УкрНИИХиммаш, 1987. – 106 с. – (Руководящий нормативный документ) **4.** Herwig H. Wärmeübertragung. Physikalische Grundlagen. Illustrierende Beispiele. Übungsaufgaben mit Musterlösungen / H. Herwig, A. Moschallski. – Berlin: Studium Technik, 2006. – 247 s. **5.** Каневец Г.Е. Обобщённые методы расчета теплообменников / Г.Е. Каневец. – К.: Наукова думка, 1979. – 352 с. **6.** Каневец Г.Е. Теплообменники и теплообменные системы / Г.Е. Каневец. – К.: Наукова думка, 1981. – 272 с. **7.** Каневец Г.Е. Введение в автоматизированное проектирование теплообменного оборудования / Г.Е. Каневец, И.Д. Зайцев, И.И. Головач. – К.: Наукова думка, 1985. – 232 с. **8.** Арсеньева О.П. Математическое моделирование и оптимизация разборных пластинчатых теплообменников / [О.П. Арсеньева, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко та ін.] // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2009. – № 2. – С. 17 – 25.

References: **1.** Baranovsky N.V. Plate and spiral heat exchangers / N.V. Baranowski, L.M. Kovalenko, A.R. Yastrebenetsky. – Moscow: Mashinostroenie, 1973. – 288 p. **2.** Plate heat exchangers: UkrNIHimMash directory // [comp. L.M. Kovalenko, S.L. Rud']. – M: Tsintihimneftemash, 1983. – 51 p. **3.** Plate heat exchangers. Methods of thermal and hydro-mechanical calculations: RD 26-01-107-86 / [comp. L.M. Kovalenko, S.I. Shuljak, K.M. Sharapova]. – Kharkov: UkrNIHimMash, 1987. – 106 p. – (Guiding normative document) **4.** Herwig H. Heat exchangers. Physical basis. Illustrated examples. Exercises with solutions samples / H. Herwig, A. Moschallski. – Berlin: Studium Technik, 2006. – 247 p. **5.** Kanevets G.E. Generalized methods of calculation of heat exchangers / G.E. Kanevets. – Kiev: Naukova Dumka, 1979. – 352 p. **6.** Kanevets G.E. Heat exchangers and heat exchanger systems / G.E. Kanevets. – K.: Naukova Dumka, 1981. – 272 p. **7.** Kanevets G.E. Introduction to computer-aided design of heat transfer equipment / G.E. Kanevets, I.D. Zaitsev, I.I. Holovatch. – K.: Naukova Dumka, 1985. – 232 p. **8.** Arsenyeva O.P. Mathematical modeling and optimization of gasketed plate heat exchangers / [O.P. Arsenyeva, L.L. Tovazhnyansky, P.A. Kapustenko et al] // Integrated technologies and energy saving. – 2009. – № 2. – P. 17 – 25.

Поступила в редакцію (Received by the editorial board) 22.05.14

УДК 621.565.94

Принципы формирования топологий схем тока сред в пластинчатых теплообменных аппаратах химических и других производств / О.В. АЛТУХОВА // Вісник НТУ «ХП». – 2014. – № 28 (1071). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 3 – 11. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2079-0821.

У статті представлено принципово новий метод розрахунку пластинчастого теплообмінного апарату з урахуванням специфіки схеми току середовищ всередині апарату. Описано основні принципи формування топологій схем току середовищ як структурної основи при створенні змінних модулів уточнених розрахунків пластинчастих теплообмінників для синтезаторів засобів розрахунку і оптимізації теплообмінного обладнання різноманітного призначення та конструкцій.

Ключові слова: топологія, схема току середовищ, пластинчасті теплообмінні апарати, оптимізація, алгоритм.

The principles of forming topologies of schemes of the current of the mediums in chemical plate heat exchangers and other industries / O.V. ALTUKHOVA // Visnyk NTU «KhPI». – 2014. – № 28 (1071). – (Series: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya). – P. 3 – 11. – Bibliogr.: 3 names. – ISSN 2079-0821.

This article presents the fundamentally new method of the calculation of the plate heat exchanger taking into account the specifics of schemes of the current of the mediums inside the apparatus. The main principles of forming topologies of schemes of the current of the mediums as a structural basis in creating replaceable modules of the refined calculations of the plate heat exchangers for synthesizers the means of calculation and optimization of heat transfer equipment for different appointments and designs are described.

Keywords: topology, scheme of the current of the mediums, plate heat exchangers, optimization, algorithm.

УДК 541.136

Р. Д. АПОСТОЛОВА, ст. научн. сотр. ГВУЗ УГХТУ, Днепропетровск,
Р. П. ПЕСКОВ, асп. ГВУЗ УГХТУ, Днепропетровск,
Е. М. ШЕМБЕЛЬ, д-р хим. наук, проф., ХИТ ГВУЗ УГХТУ,
Днепропетровск

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КОМПОЗИЦИЙ ШПИНЕЛИ LiMn_2O_4 С УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ В МОДЕЛЬНОМ ЛИТИЕВОМ АККУМУЛЯТОРЕ

В статье проведен анализ снижения разрядных характеристик литиевого аккумулятора на основе перспективного электродного материала LiMn_2O_4 в композиции с многостенными углеродными нанотрубками при пониженной температуре. Выявлена роль сопротивления переноса зарядов через поверхность раздела композит/электролит, сопротивления переноса электронов в твердофазной составляющей композита и сопротивления миграции ионов лития в поверхностной пленке на композите в деградации зарядно-разрядных характеристик при температуре 259 и 271 К.

Ключевые слова: шпинель LiMn_2O_4 , углеродные нанотрубки, температурная зависимость, литиевый аккумулятор.

Вступление. Литий-ионные батареи (ЛИБ) широко используют в портативных электронных устройствах. Для масштабного применения их в более мощных и энергоемких устройствах таких, как электромобили, требуется

© Р.Д. Апостолова, Р.П. Песков, Е.М. Шембель, 2014