УДК 66.02.51/52.001.24

МЕТОД ПОСТЕПЕННЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РАСЧЁТЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

© А.А. Журавский[1]

Государственное предприятие «Украинский государственный научно-исследовательский углехимический институт (УХИН)» 61023, г. Харьков, ул. Веснина, 7. Украина

[1] Журавский Анатолий Александрович, ведущий научный сотрудник коксового отдела, канд. техн. наук, с.н.с., e-mail: azhuravskiy@mail.ua

Показано, что использование для расчета технологической аппаратуры традиционных методик осложняется тем, что в ряде случаев приходится задаваться определённым технологическим параметром, после чего выполнять проверочный расчёт. Если проверочный расчет показывает сходимость, то считается, что принятый параметр выбран правильно, если нет – приходится задаваться новым значением параметра и проводить новые расчёты. В данной статье предлагается метод постепенного приближения, который позволяет решать подобный класс задач в автоматическом режиме.

Ключевые слова: Расчёт, автоматический режим, алгоритм решения, коксовые печи, полуавтоматический режим проведения расчётов, теплообменная аппаратура, технологическая аппаратура, электронные таблицы, microsoft exel.

****

Автоматизированные расчёты избавляют от случайной ошибки в расчётах, от т.н. «человеческого фактора». Вполне очевидно, что программы для подобных расчетов технологической аппаратуры должны разрабатывать технологи в сотрудничестве с программистами.

При этом важным вопросом является выбор программной среды: она должна быть предельно простой и функциональной. С этой точки зрения очень удобными являются электронные таблицы Microsoft Excel.

Данный выбор объясняется многими причинами:

1. Электронные таблицы Microsoft Excel входят в пакет широко используемых прикладных программ Microsoft Office.

2. Работа электронных таблиц Microsoft Excel ранних версий совместима с более поздними их версиями, в отличие от некоторых языков программирования. Кроме того, у них не возникает проблем с запуском программ на компьютерах различной комплектации, что иногда создает трудности с программами, написанными на языках высокого уровня.

3. Изучение основ работы с электронными таблицами Microsoft Excel производится во всех учебных заведениях, начиная со средней школы и заканчивая ВУЗами. Поэтому пользователи (инженеры-технологи) в большинстве владеют хотя бы элементарными навыками работы с электронными таблицами Microsoft Excel.

4. Особенность электронных таблиц Microsoft Excel такова, что не составляет особого труда «состыковать» несколько программ, используя, например, выходные данные одной из них в качестве исходных данных для другой.

При этом, конечно, следует отдавать себе отчет в том, что компьютерные программы, написанные на базе электронных таблиц Microsoft Excel, будут несколько более громоздкими, и занимать, соответственно, больший объем оперативной памяти, чем программы, написанные на компьютерных языках высокого уровня. Это может отрицательно сказаться на работе системы. Однако негативный эффект компенсируется вышеперечисленными достоинствами электронных таблиц при рационально написанной программе. Также важно и то, что программы по расчёту какого-либо одного вида технологического оборудования будут занимать не слишком много места и, соответственно, указанные недостатки не смогут проявиться в полной мере.

При этом следует отметить, что работа с электронными таблицами Microsoft Excel позволяет вносить в программы справочные данные и автоматически выбирать из них необходимые значения в ходе проведения расчётов, во всяком случае, если имеются однозначные зависимости между технологическими и справочными данными. Если же такие данные не однозначны (например, значения трения в опорах – чаще всего в справочной литературе указывается диапазон их изменения), то на поля расчётов выносится уточняющий вопрос: какое именно значение следует принять при расчётах. Тогда внося различные значения указанного параметра можно получить расчёты технологической аппаратуры в различных условиях.

При расчёте технологической аппаратуры возникает ряд задач, в которых следует задаваться каким-либо параметром (например, температурой), а затем проводить расчёты, базируясь именно на этом параметре [1-3]. Далее составляется тепловой баланс аппаратуры и, если полученные значения прихода и расхода тепла совпадают, расчёт принимается, если же нет – приходится задавать новое значение температуры и опять проверять общий баланс тепла. Таким образом, из разряда автоматических расчётов задача переходит в разряд полуавтоматических, т.е. все равно остается такая стадия проведения расчёта, как ручной подбор параметра, например, все той же температуры. Единственный плюс в этой ситуации – быстрый перерасчёт технологической аппаратуры, но это не решает главную задачу внедрения вычислительной техники.

Разберем классический пример – определение температуры горения коксового газа при расчёте коксовых батарей [1]. Алгоритм решения достаточно прост: производится баланс прихода и расхода тепла. При расходе тепла имеется неизвестный параметр – температура отходящих газов. При этом следует отметить, что теплоёмкость отходящих газов так же зависит от их температуры. Поэтому подобный класс задач решается следующим образом: задается температура отходящих газов, по ней определяется их теплоёмкость, рассчитывается количество отходящего тепла и сравнивается с количеством приходящего тепла. Если приход и расход тепла равны (или отличаются на приемлемую величину), то задача решена, если нет – надо задаваться новым значением температуры и начинать все расчёты сначала. К сожалению, в электронных таблицах Microsoft Excel отсутствует оператор цикла «FOR – NEXT», что существенно затрудняет решение подобного класса задач.

Решить подобную задачу в электронных таблицах Microsoft Excel на ЭВМ можно методом постепенных приближений. Суть этого метода состоит в следующем: задается с определенным шагом диапазон изменения температур, рассчитывается количество отходящего тепла по всему диапазону изменения температур, сравнивается с количеством приходящего тепла, определяется минимальная разница между приходом и расходом тепла и определяется температура, при которой получается этот минимум. Полученная температура оптимума принимается за базу новой серии расчётов, причём диапазон изменения температур выбирается, как правило, по принципу «новая база плюс/минус старый шаг изменения температур» с новым, более мелким шагом. После этого процесс расчёта повторяется снова.

Применительно к нашей задаче подпрограмма строится следующим образом: в первой колонке (рис. 1) задается диапазон, в котором может меняться (с определенным шагом, например 100° С) искомая темпера-

тура. Так, например, на рис. 1 в первой колонке дано изменение температуры отходящих продуктов горения в диапазоне от 2600 до 1000 °С.

Во второй колонке рассчитывается количество тепла, которое соответствует каждому значению выбранной температуры. В третьей колонке приводится значение подводимого тепла. Разница между количеством приходящего и уходящего тепла должна стремиться к нулю (затемненная колонка на рис. 1). Внизу этой колонки определяется минимальное зафиксированное значение искомой разницы.

2600	30066,8	27936,6	2130	0	2600	30067	27936,6	2130,2	0	2460	28014,6	27936,6	77,96	0	
2500	28595,2	27936,6	658,6	2500	2590	29918	27936,6	1981,7	0	2459	28000,1	27936,6	63,5	0	
2400	27152,2	27936,6	784,4	0	2580	29770	27936,6	1833,5	0	2458	27985,6	27936,6	49,05	0	
2300	25737,4	27936,6	2199	0	2570	29622	27936,6	1685,6	0	2457	27971,2	27936,6	34,6	0	
2200	24350,4	27936,6	3586	0	2560	29475	27936,6	1538,1	0	2456	27956,7	27936,6	20,15	0	
2100	22990,8	27936,6	4946	0	2550	29327	27936,6	1390,8	0	2455	27942,3	27936,6	5,704	2455	
2000	21658	27936,6	6279	0	2540	29180	27936,6	1243,7	0	2454	27927,9	27936,6	8,739	0	
1900	20351,8	27936,6	7585	0	2530	29034	27936,6	1097	0	2453	27913,4	27936,6	23,18	0	
1800	19071,6	27936,6	8865	0	2520	28887	27936,6	950,57	0	2452	27899	27936,6	37,61	0	
1700	17817,1	27936,6	10119	0	2510	28741	27936,6	804,42	0	2451	27884,6	27936,6	52,05	0	
1600	16587,8	27936,6	11349	0	2500	28595	27936,6	658,56	0	2450	27870,1	27936,6	66,48	0	
1500	15383,3	27936,6	12553	0	2490	28450	27936,6	512,98	0	2449	27855,7	27936,6	80,91	0	
1400	14203,1	27936,6	13733	0	2480	28304	27936,6	367,69	0	2448	27841,3	27936,6	95,33	0	
1300	13046,9	27936,6	14890	0	2470	28159	27936,6	222,68	0	2447	27826,8	27936,6	109,8	0	
1200	11914,2	27936,6	16022	0	2460	28015	27936,6	77,958	0	2446	27812,4	27936,6	124,2	0	
1100	10804,5	27936,6	17132	0	2450	27870	27936,6	66,479	2450	2445	27798	27936,6	138,6	0	
1000	9717,56	27936,6	18219	0	2440	27726	27936,6	210,63	0	2444	27783,6	27936,6	153	0	
			658,6	2500				66,479	2450				5,704	2455	

Рис. 1 Подпрограмма «Метод последовательных приближений»

Поскольку разница между приходом и расходом тепла может быть как положительной, так и отрицательной, то для определения минимума используются абсолютные значения этой разницы. Зная минимальную величину разницы, определяется величина температуры, при которой имеет место эта разница. Далее определяется новый диапазон изменения температуры. За максимальную температуру принимается температура предыдущего минимума плюс предыдущий интервал температур. Соответственно, нижний интервал температур будет равен температуре минимальной разницы между приходом и расходом тепла («база» температуры) плюс/минус предыдущий интервал температур.

Например, в первой колонке задано изменение температуры с шагом в 100 °С, а температура, при которой зафиксирован минимум разницы между приходом и расходом тепла, составила 2500 °С. Тогда выбирается (причём автоматически) новый диапазон изменения температуры 2600-2400 °С (т.е. на один шаг вверх и на один шаг вниз относительно полученного минимума), а также новый шаг изменения температуры (допустим, 10 °С), и вся процедура повторяется вновь. Повторяя эту процедуру множество раз, можно получить искомую температуру с заданной точностью. При этом следует отметить, что новые подпрограммы получаются путем копирования первого блока расчётов и вставкой его на место нового блока расчётов.

На рис. 1 видно, как последовательно уточняется разница между приходом и расходом тепла (658,6; 66,5 и 5,7 кДж) и, соответственно, более точно определяется температура отходящих продуктов горения – 2500; 2450 и 2455 °С. Увеличивая количество блоков можно повышать точность определения температуры с любой заданной точностью. Так, например, добавив еще один блок к показанным на рис. 1, можно получить температуру с точностью до 0,1 °С. Добавив еще один блок – получим температуру с точностью 0,01 °С и т.д. Фактически это является вариантом графического решения поставленной задачи (рис. 2).

Однако при таком алгоритме расчёта возможен сбой в решении задачи, если первоначальный диапазон изменения температуры будет выбран ошибочно (оптимальное значение температур будет или выше верхнего, или ниже нижнего значения выбранного диапазона).

Для борьбы с этим явлением применяется следующий приём: если оптимальная температура, полученная на первом этапе, равна верхнему или нижнему значению выбранного значения диапазона, на полях появится соответствующее сообщение (рис. 3).

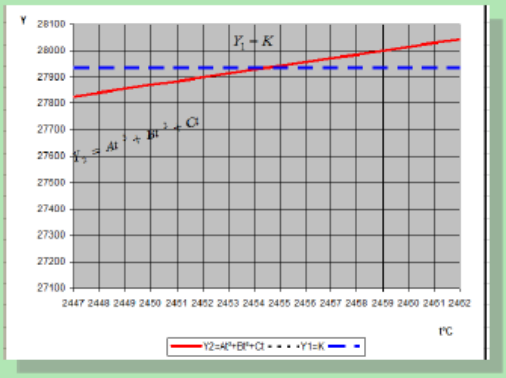

Рис. 2 Графический метод нахождения искомой температуры

На рис. 3 видно, что верхняя граница изменения температур (2500 °С) совпадает с оптимальным значением температуры первого приближения. В результате на полях страницы появляется соответствующее сообщение. При этом следует увеличить верхнюю границу диапазона. Если же с оптимальным значением совпадет нижняя граница, значит, следует уменьшить нижний предел выбранного диапазона. В принципе, не составляет особого труда задать автоматический выбор диапазона изменения температур. Такая мини-подпрограмма может быть встроена непосредственно в расчёты (при этом, чтобы не усложнять распечатку результатов расчётов, она может быть скрыта) или вынесена на отдельную страницу электронных таблиц, возвращая непосредственно в расчёты только полученный результат.

Таким образом, метод последовательного приближения переводит расчеты аппаратуры из полуавтоматического (постоянно вводимого нового значения задаваемого технологического параметра) в автоматический (искомый параметр определяется автоматически и однозначно).

Аналогичным методом решаются и другие подобные задачи – расчёт теплообменников, некоторые виды аппаратуры улавливания химических продуктов коксования [2, 3] и т.п.

										Внимание! Неправильно выбрано верхнее значение диапазона изменения температур!																							
2500	28595,2	27937	658,6	2500	2600	30067	27937	2130	0	2460	27936,6	78	0	2455																			
2400	27152,2	27937	784,4	0	2590	29918	27937	1982	0	2459	27936,6	64	0	2463		1																	
2300	25737,4	27937	2199	0	2580	29770	27937	1834	0	2458	27936,6	49	0	2447		16																	
2200	24350,4	27937	3586	0	2570	29622	27937	1686	0	2457	27936,6	35	0	2447																			
2100	22990,8	27937	4946	0	2560	29475	27937	1538	0	2456	27936,6	20	0	K=		0																	
2000	21658	27937	6279	0	2550	29327	27937	1391	0	2455	27936,6	5,7	2455	B=		2447																	
1900	20351,8	27937	7585	0	2540	29180	27937	1244	0	2454	27936,6	8,7	0			2447																	
1800	19071,6	27937	8865	0	2530	29034	27937	1097	0	2453	27936,6	23	0																				
1700	17817,1	27937	10119	0	2520	28887	27937	951	0	2452	27936,6	38	0																				
1600	16587,8	27937	11349	0	2510	28741	27937	804	0	2451	27936,6	52	0																				
1500	15383,3	27937	12553	0	2500	28595	27937	659	0	2450	27936,6	66	0																				
1400	14203,1	27937	13733	0	2490	28450	27937	513	0	2449	27936,6	81	0																				
1300	13046,9	27937	14890	0	2480	28304	27937	368	0	2448	27936,6	95	0																				
1200	11914,2	27937	16022	0	2470	28159	27937	223	0	2447	27936,6	110	0																				
1100	10804,5	27937	17132	0	2460	28015	27937	78	0	2446	27936,6	124	0																				
1000	9717,56	27937	18219	0	2450	27870	27937	66,5	2450	2445	27936,6	139	0																				
900	8652,81	27937	19284	0	2440	27726	27937	211	0	2444	27936,6	153	0																				
			658,6	2500				66,5	2450			5,7	2455																				

Рис. 3 Вывод сообщения о неправильном выборе верхней границы диапазона изменения температур

Таким образом, при использовании подобных программ технологу достаточно ввести исходные данные и сразу получить итоговые значения параметров аппаратуры. Единственно, что потребуется дополнительно, это подбор тех параметров, которые не являются однозначными: например, вид теплоизоляции, тип выбранных насосов, вентиляторов и т.п. Еще больший эффект от использования подобных программ дало бы их сопряжение с графическими программами по подготовке чертежей технологического оборудования.

В настоящее время в ГП «УХИН» уже разработан целый ряд подобных программ, таких как расчёт коксовых печей, установки сухого тушения кокса, сушилок

для углей и некоторых установок по улавливанию химических продуктов коксования.

Библиографический список

1. ***Гребенюк А.Ф.*** *Расчёт процессов коксового производства. Пособие по проектированию /* ***А.Ф. Гребенюк, А.И. Збыковский****. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 332 с.*

2. ***Коробчанский И.Е.*** *Расчёты аппаратуры для улавливания химических продуктов коксования /* ***И.Е. Коробчанский, М.Д. Кузнецов****. – М.: Металлургия, 1972. – 295 с.*

3. ***Шульга И.В.*** *Расчёт и проектирование оборудования цехов улавливания. Учебное пособие /* ***И.В. Шульга****. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2014. – 336 с.*

Рукопись поступила в редакцию 12.01.2016

AUTOMATIC CALCULATION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

© Zhuravsky A.A., PhD in technical scjences (SE "UKHIN")

It has been shown, that the use of the traditional methods for the calculation of technological equipment is complicated by the fact that it is necessary to specify a certain process parameter, and then to execute the verification calculation. If such test shows the convergence of results, it is considered that the received option is selected properly, if not – it is necessary to specify the new parameter value and to carry out new calculations. In this paper a method has been proposed of gradual approach, which allows to solve problems of a similar class in the automatic mode.

Keywords: automatically calculation, algorithm, coke oven, semi-automatic mode calculations, heat exchange equipment, spreadsheets, microsoft excel.