

Д. Ф. Чернега, В. Н. Рыбак

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

РАСЧЕТ ШИХТЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ MICROSOFT EXCEL 2010

Представлена методика расчета шихты металлургического процесса с использованием программы Microsoft Excel 2010. Методика позволяет автоматизировать процесс расчета шихты, а также обеспечить минимальную себестоимость металлургического процесса с учетом наложения дополнительных ограничений на использование шихтовых компонентов и содержание вредных примесей в конечном сплаве.

Ключевые слова: расчет шихты, Microsoft excel 2010, оптимизационный метод, линейное программирование, себестоимость плавки.

Представлено методику розрахунок шихти металургійного процесу з використанням програми Microsoft Excel 2010. Методика дозволяє автоматизувати процес розрахунок шихти, а також забезпечити мінімальну собівартість металургійного процесу з урахуванням накладення додаткових обмежень на використання шихтових компонентів та вміст шкідливих домішок в кінцевому сплаві.

Ключові слова: розрахунок шихти, Microsoft excel 2010, оптимізаційний метод, лінійне програмування, собівартість плавки.

A method of calculating the charge metallurgical process using the Microsoft Excel 2010. The technique allows to automate the process of calculating the charge and provide a minimum cost of metallurgical process considering imposing additional restrictions on the use of charging components and content of harmful impurities in the final alloy.

Keywords: calculation of charge, Microsoft excel 2010, method of optimization, linear programming, at cost of smelting.

Введение

Основная задача любого металлургического процесса – получение расплава заданного химического состава. Для выполнения данной задачи перед началом металлургического процесса необходимо определить тип и рассчитать количество шихтовых материалов, которые необходимо загрузить в печь с целью получения заданного количества конечного сплава с заданным химическим составом [1].

Различают следующие методы расчета шихты: аналитический, графический, графоаналитический, подбора, последовательного корректирования и оптимизационный. Во всех упомянутых методах расчета, кроме последнего, для определения количества шихтовых материалов, необходимых для загрузки в печь, находят средние значения по каждому химическому элементу, которые входят в состав конечного сплава, составляют систему линейных уравнений и решают ее при помощи известных математических алгоритмов. Данные методы расчета шихты имеют несколько существенных недостатков:

- Количество балансовых уравнений, химических элементов, по которым производится расчет, а также шихтовых компонентов, которые загружаются в печь, должны быть равными. Это, безусловно, накладывает некоторые ограничения в процесс расчета шихты. Например, если баланс составляется по 5 химическим элементам, то и шихтовых компонентов должно быть 5. Если шихтовых компонентов меньше 5, то и количество химических элементов, по которым составляется баланс, будет

Получение и обработка расплавов

меньше 5. Это приводит к тому, что некоторый химический элемент не будет учтен. Для предотвращения данной ошибки необходимо искать дополнительный шихтовый компонент, что не всегда возможно. С другой стороны, при количестве шихтовых компонентов, которые больше количества балансовых химических элементов, возникает вопрос в правильном выборе необходимых компонентов среди возможных. Выбрать необходимые компоненты можно только путем их подстановки в систему балансовых уравнений с последующим ее решением, что приводит к потере времени.

- Так как система балансовых уравнений построена на строгом равенстве левой и правой частей каждого уравнения, через неправильный выбор шихтовых компонентов часто невозможно найти решение системы. В этом случае необходимо заменить одни шихтовые компоненты на другие и вновь искать решение системы.

- Из-за того, что шихтовые компоненты имеют разную стоимость, желательно было бы найти такое решение системы, при котором обеспечивалась бы минимальная себестоимость металлургического процесса. Традиционный метод расчета шихты не позволяет учитывать себестоимость металлургического процесса, что делает его малоэффективным в современных условиях изготовления сплавов, когда необходимо уменьшать себестоимость продукции и экономить природные ресурсы.

В последнем методе, оптимизационном, балансовые уравнения могут быть заданы как в виде уравнений, так и неравенств. Оптимизационный метод расчета шихты является наиболее прогрессивным и обеспечивает более адекватный результат.

Оптимизационный способ расчета шихты имеет несколько существенных преимуществ по сравнению с традиционными:

- Количество балансовых неравенств, химических элементов, по которым производится расчет, а также шихтовых компонентов, которые загружаются в печь, может быть разным. Это, безусловно, снимает ограничения с процесса расчета. При этом в систему неравенств можно включать любое количество шихтовых компонентов, программа сама выберет из них наилучшие для заданных условий.

- Так как система балансовых неравенств построена на неравенствах правых и левых частей, вероятность появления ошибки через неправильный выбор шихтовых компонентов намного меньше вероятности появления ошибки в традиционных методах.

- Использование методов линейного программирования позволяет учитывать в расчетах стоимость шихтовых компонентов и обеспечить минимальную себестоимость всего металлургического процесса [2].

В данной работе предложили способ реализации оптимизационного метода расчета шихты металлургических процессов с использованием программы Microsoft Excel 2010. Ознакомление широкого круга ученых и специалистов с приведенной методикой расчета шихты является актуальной задачей.

Постановка задачи

Задача данной работы состоит в рассмотрении этапов расчета шихты оптимизационным методом с использованием программы Microsoft Excel 2010 на примере получения сплава 40X15H7Г7Ф2МС (табл. 1) из некоторых шихтовых компонентов,

Таблица 1. Химический состав сплава 40X15H7Г7Ф2МС (ГОСТ 5632-72)

Химический элемент, %	C	Cr	Ni	Mn	V	Mo	Si	P*	S*	Fe
Минимальное содержание	0,38	14	6	6	1,5	0,65	0,9	≤ 0,035	≤ 0,02	основа
Максимальное содержание	0,47	16	8	8	1,9	0,95	1,4			

*примеси

Получение и обработка расплавов

которые имеются в распоряжении металлургического цеха (табл. 2) в индукционной тигельной печи ИСТ-2,5 с соответствующим угаром химических элементов (табл. 3).

Таблица 2. Химический состав и стоимость 1 кг шихтовых компонентов

Марка	C	Cr	Ni	Mn	V	Mo	Si	P	S	Цена, грн/кг
СЧ10	3,6	–	–	0,65	–	–	2,4	0,3	0,15	2,40
СЧ35	3,0	–	–	0,9	–	–	1,3	0,2	0,12	2,80
ФХ015А	0,15	65	–	–	–	–	1,5	0,03	0,02	33,00
ФХ100Б	1,00	65	–	–	–	–	2,0	0,05	0,04	23,00
Н4	0,15	1	97,6	–	–	–	0,002	–	0,004	327,00
ФМн0,5	0,5	–	–	90	–	–	2	0,3	0,03	14,00
ФМн78	7	–	–	80	–	–	2	0,35	0,03	13,50
ФМн78А	7	–	–	80	–	–	2	0,05	0,03	15,40
ФВд40У1	1	–	–	6	41	–	2	0,1	0,05	135,00
ФВд75У0,15	0,15	0,5	–	0,6	75	–	1	0,1	0,1	155,00
ФМо55А	0,08	–	–	–	–	55	1	0,08	0,12	165,00
ФМо60	0,05	–	–	–	–	60	0,8	0,05	0,1	178,00
ФС20	1	–	–	1	–	–	21,5	0,1	0,02	12,00
ФС75	–	0,4	–	0,4	–	–	77	0,05	0,02	16,50
МЖН0	0,01	0,3	1,9	–	–	–	–	0,008	0,008	18,50
Лом Б1	0,3	1,2	0,4	1	0,3	–	1,6	0,03	0,025	2,20
Лом Б3	1	1,3	0,3	0,5	–	–	0,4	0,025	0,03	2,30

Примечание: Fe – остальное

Таблица 3. Угар химических элементов в печи ИСТ-2,5

Химический элемент	C	Cr	Ni	Mn	V	Mo	Si	P	S	Fe
Угар, %	5	5	3	10	2	2	0	0	0	2

В задачу данной работы не входит обучение основам работы в программе Microsoft Excel 2010. Для получения первичных навыков работы с программой рекомендуется ознакомиться с соответствующей литературой, например [3, 4].

Методика проведения расчетов

Порядок расчета шихты оптимизационным методом состоит из следующих этапов:

– Расчет содержания основного химического элемента в шихтовых компонентах и конечном сплаве.

– Составление системы линейных неравенств для каждого из химических элементов в соответствии с неравенством (1)

$$C_{\min i} \frac{m}{0,01 \cdot CУ_i} \leq \sum_{j=1}^N \%_{ij} \cdot x_j \leq C_{\max i} \frac{m}{0,01 \cdot CУ_i}, \quad (1)$$

где N – количество шихтовых компонентов; $C_{\min i}$ – минимальное содержание i -го химического элемента в конечном сплаве, %; m – масса сплава, который необходимо получить, кг; $CУ_i$ – степень усвоения i -го химического элемента, %; $C_{\max i}$ – максималь-

Получение и обработка расплавов

ное содержание i -го химического элемента в конечном сплаве, %; $\%_{ij}$ – содержание i -го химического элемента в j -м компоненте шихты, %; x_j – масса j -го компонента шихты, который необходимо загрузить в печь, кг.

При этом можно составлять неравенства не только для основных химических элементов, но и для примесей. Также можно использовать любое количество шихтовых компонентов.

– Составление целевой функции себестоимости плавки в соответствии с уравнением (2)

$$F = \sum_{j=1}^N \Pi_j \cdot x_j; \quad F \rightarrow \min, \quad (2)$$

где N – количество шихтовых компонентов; Π_j – цена j -го компонента шихты, грн/кг; x_j – масса j -го компонента шихты, который необходимо загрузить в печь, кг.

– Решение полученной системы методом линейного программирования [5].

Программу Microsoft Excel 2010 необходимо запустить перед проведением расчетов и проверить установку надстройки «Поиск решения», которая необходима для проведения оптимизационных расчетов.

В программе Microsoft Excel 2010 надстройка «Поиск решения» должна находиться в верхнем меню «Данные» на вкладке «Анализ». Если данная надстройка в указанном меню отсутствует, ее необходимо подключить, выбрав команды «Файл» → «Параметры» → «Надстройки» и нажать на кнопку «Перейти». В отрывшемся окне необходимо поставить галочку на надстройке «Поиск решения» и нажать на кнопку «ОК». Расчет шихты можно начинать после появления в меню «Данные» на вкладке «Анализ» надстройки «Поиск решения».

Порядок проведения расчетов

На первом этапе расчета необходимо на отдельном листе книги Microsoft Excel 2010 создать несколько таблиц с исходными данными, а также ввести соответствующие формулы (рис. 1). Сплошные стрелки указывают на ячейки, в которые необходимо ввести указанные формулы, пунктирными – ячейки, в которые необходимо скопировать введенные формулы.

В данной работе количество балансовых элементов равно 10 (8 – для основных и 2 – для примесей). Количество шихтовых компонентов может быть любым.

Оптимизационный метод предусматривает использование целевой функции, так как одной из основных задач расчета есть задача получения сплава наименьшей стоимости, в качестве целевой функции предлагается взять себестоимость плавки.

Для составления балансовых уравнений, расчета конечного химического состава и целевой функции необходимо создать еще 3 таблицы (рис. 2).

Далее необходимо запустить надстройку «Поиск решения». В открывшемся окне необходимо установить адрес целевой ячейки C54, поставить поиск решения на «Минимум», выбрать для изменяемых ячеек диапазон O10:O26, добавить 3 условия: C40:L40 <= C42:L42, C42:L42 <= C44:L44, M49 = 100 и поставить галочку на опции «Сделать переменные без ограничений неотрицательными» (рис. 3).

После нажатия на кнопку «Найти решение» в расчетных таблицах появятся результаты расчетов (рис. 4, 5).

В результате проведенных расчетов видно, что если в печь загрузить 546,8 кг ФХ015А; 137,8 кг Н4; 99 кг ФМн0,5; 6,3 кг ФМн78; 81,3 кг ФМн78А; 48,1 кг ФВд75Н0,15;

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1															
2		1. Химический состав сплава, который необходимо получить													
3		Химический элемент													
4		C	Cr	Ni	Mn	V	Mo	Si	P*	S*	Fe				
5		Минимальное содержание, %	0,38	14	6	6	1,5	0,65	0,9	0	0	63,23			
6		Максимальное содержание, %	0,47	16	8	8	1,9	0,95	1,4	0,04	0,02	70,57			
7		* примеси													
8		2. Шихтовые компоненты													
9		Марка													
10		C	Cr	Ni	Mn	V	Mo	Si	P*	S*	Fe	Цена, грн/кг	Индекс	Масса, кг	
11		СЧ10	3,6	-	0,65	-	-	2,4	0,3	0,15	92,9	2,4	x1		
12		СЧ35	3,0	-	0,9	-	-	1,3	0,2	0,12	94,48	2,8	x2		
13		ФХ015А	0,15	65	-	-	-	1,5	0,03	0,02	33,3	33	x3		
14		ФХ100Б	1,0	65	-	-	-	2,0	0,05	0,04	31,91	23	x4		
15		Н4	0,15	1,0	97,6	-	-	0	-	0	1,244	327	x5		
16		ФМн0,5	0,5	-	90	-	-	2,0	0,3	0,03	7,17	14	x6		
17		ФМн78	7,0	-	80	-	-	2,0	0,35	0,03	10,62	13,5	x7		
18		ФМн78А	7,0	-	80	-	-	2,0	0,05	0,03	10,92	15,4	x8		
19		ФВд40У1	1,0	-	6	41	-	2,0	0,1	0,05	49,85	135	x9		
20		ФВд75У0,15	0,15	0,5	-	0,6	75	-	1,0	0,1	22,55	155	x10		
21		ФМб55А	0,08	-	-	-	-	55	1,0	0,08	0,12	43,72	165	x11	
22		ФМб60	0,05	-	-	-	-	60	0,8	0,05	0,1	39	178	x12	
23		ФС20	1,0	-	1,0	-	-	21,5	0,1	0,02	76,38	12	x13		
24		ФС75	-	0,4	-	0,4	-	77,0	0,05	0,02	22,13	16,5	x14		
25		МЖНО	0,01	0,3	1,9	-	-	-	0,01	0,01	97,77	18,5	x15		
26		Лом Б1	0,3	1,2	0,4	1,0	0,3	-	1,6	0,03	0,03	95,15	2,2	x16	
27		Лом Б3	1,0	1,3	0,3	0,5	-	0,4	0,03	0,03	96,45	2,3	x17		
28															
29															
30		3. Угар и степень усвоения химических элементов													
31		Химический элемент													
32		Угар, %	С	Cr	Ni	Mn	V	Mo	Si	P*	S*	Fe			
33		Степень усвоения, %	95	95	97	90	98	98	100	100	100	98			
34															
35		4. Масса расплава в печи													
36		Масса расплава, кг												2500	

Рис. 1. Таблицы с исходными данными

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
35														
36		4. Масса расплава в печи												
37		Масса расплава, кг	2500											
38														
39		5. Балансовые неравенства												
40		Левая часть	1000	36842	15464	16667	3827	1658	2250	0	0	2E+05		
41		Условие	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤		
42		Середина	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
43		Условие	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤		
44		Правая часть	1237	42105	20619	22222	4847	2423	3500	87,5	50	2E+05		
45														
46														
47		6. Химический состав конечного сплава												
48		Химический элемент	C	Cr	Ni	Mn	V	Mo	Si	P*	S*	Fe	Всего, %	
49		Содержание, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
50		Попадание в пределы ГОСТа	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Да	Нет	Нет	
51		*примеси												
52														
53		7. Целевая функция												
54		Себестоимость плавки, грн	0											
55														

$=C4*\$C\$36/(0,01*C32)$
 $=СУММПРОИЗВ(C10:C26; \$O\$10; \$O\$26)$
 $=C5*\$C\$36/(0,01*C32)$
 $=СУММПРОИЗВ(C10:C26; \$O\$10; \$O\$26)*C32/(\$C\$36*100)$
 $=ЕСЛИ(И(C49>=C4; C49<=C5); "Да"; "Нет")$
 $=СУММПРОИЗВ(M10:M26; O10:O26)$
 $=СУММ(C49:L49)$

Рис. 2. Расчетные таблицы

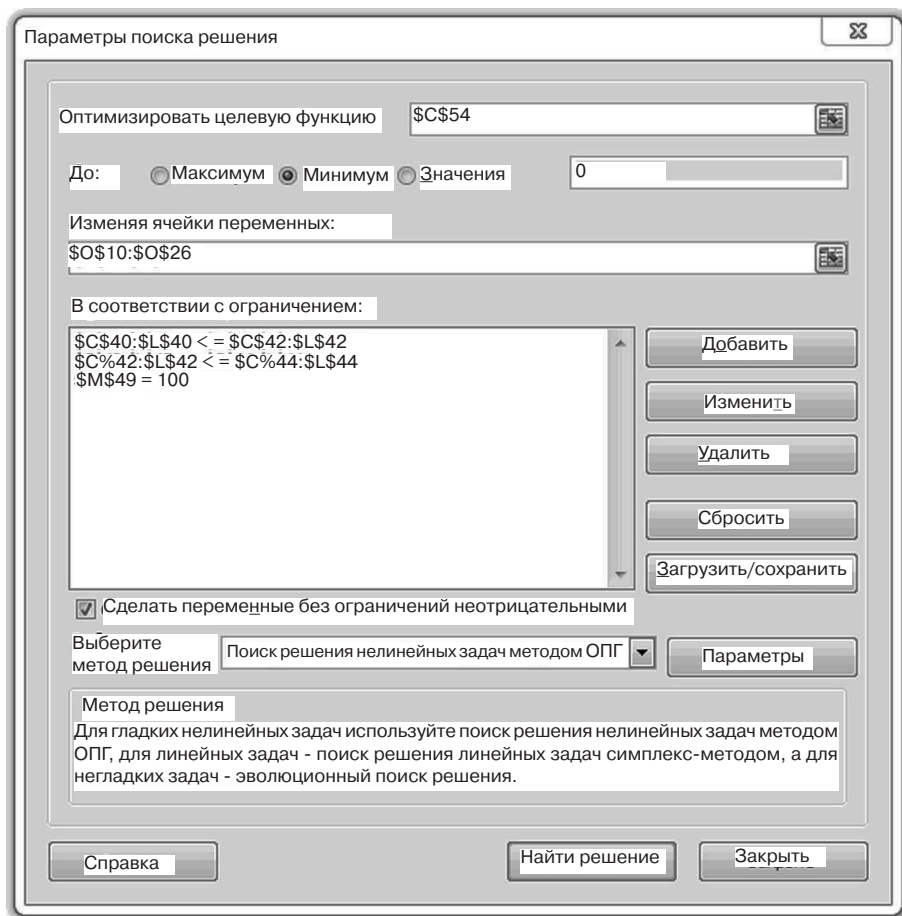


Рис. 3. Меню параметров поиска решения

27,6 кг ФМо60; 907 кг МЖНО и 723,4 кг Б1, все 10 балансовых элементов, по которым проводился расчет, будут находиться в пределах ГОСТа. При этом будет обеспечена минимальная стоимость плавки, равная 96583 грн (для сравнения – максимально возможная стоимость плавки при данных условиях составляет 133509 грн). Расчеты другими методами показали, что стоимость плавки составляет от 96583 до 133509 грн, но только оптимизационный метод позволяет определить состав шихты для обеспечения минимальной стоимости плавки.

Кроме этого, оптимизационный метод является очень гибким инструментом и позволяет управлять процессом в динамических условиях. Пусть, например, в некоторый момент времени на складе закончился шихтовый компонент ФВд75Н0,15 и пришло распоряжение в каждую плавку добавлять не менее 50 кг лома Б3.

Все, что нужно сделать для расчета шихты в новых условиях – это запустить поиск решения и добавить два дополнительных ограничения: $O19 = 0$ и $O26 \geq 50$ (рис. 6).

После нажатия на кнопку «Найти решение» в расчетных таблицах появятся результаты расчетов (рис. 7).

Расчет шихты с дополнительными условиями также удовлетворяет условиям задачи, обеспечивая попадание всех 10 химических элементов в границы ГОСТа. Себестоимость плавки при этом возрастает с 96583 до 100152 грн (в целях экономии места строки 28-45 скрыты).

Подобным образом можно учитывать изменение цен на шихтовые материалы,

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1														
2	1. Химический состав сплава, который необходимо получить													
3	Химический элемент	C	Cr	Ni	Mn	V	Mo	Si	P*	S*	Fe			
4	Минимальное содержание, %	0,38	14	6	6	1,5	0,65	0,9	0	0	63,23			
5	Максимальное содержание, %	0,47	16	8	8	1,9	0,95	1,4	0,04	0,02	70,57			
6	*примеси													
7														
8	2. Шихтовые компоненты													
9	Марка	C	Cr	Ni	Mn	V	Mo	Si	P*	S*	Fe	Цена, грн/кг	Индекс	Масса, кг
10	СЧ10	3,6			0,65			2,4	0,3	0,15	92,9	2,4	x1	0
11	СЧ35	3,0	-	-	0,9	-	-	1,3	0,2	0,12	94,48	2,8	x2	0
12	ФХ015А	0,15	65	-	-	-	-	1,5	0,03	0,02	33,3	33	x3	546,7704
13	ФХ100Б	1,0	65	-	-	-	-	2,0	0,05	0,04	31,91	23	x4	0
14	Н4	0,15	1,0	97,6	-	-	-	0	-	0	1,244	327	x5	137,8208
15	ФМn0,5	0,5	-	-	90	-	-	2,0	0,3	0,03	7,17	14	x6	98,96727
16	ФМn78	7,0	-	-	80	-	-	2,0	0,35	0,03	10,62	13,5	x7	6,251639
17	ФМn78А	7,0	-	-	80	-	-	2,0	0,05	0,03	10,92	15,4	x8	81,34034
18	ФВд40У1	1,0	-	-	6	41	-	2,0	0,1	0,05	49,85	135	x9	0
19	ФВд75У0,15	0,15	0,5	-	0,6	75	-	1,0	0,1	0,1	22,55	155	x10	48,1269
20	ФМо55А	0,08	-	-	-	-	55	1,0	0,08	0,12	43,72	165	x11	0
21	ФМо60	0,05	-	-	-	-	60	0,8	0,05	0,10	39	178	x12	27,63605
22	ФС20	1,0	-	-	1,0	-	-	21,5	0,1	0,02	76,38	12	x13	0
23	ФС75	-	0,4	-	0,4	-	-	77	0,05	0,02	22,13	16,5	x14	0
24	МЖНО	0,01	0,3	1,9	-	-	-	-	0,01	0,01	97,77	18,5	x15	906,9751
25	Лом Б1	0,3	1,2	0,4	1,0	0,3	-	1,6	0,03	0,03	95,15	2,2	x16	723,3774
26	Лом Б3	1,0	1,3	0,3	0,5	-	-	0,4	0,03	0,03	96,45	2,3	x17	0
27														
28														
29	3. Угар и степень усвоения химических элементов													
30	Химический элемент	C	Cr	Ni	Mn	V	Mo	Si	P*	S*	Fe			
31	Угар, %	5	5	3	10	2	2	0	0	0	2			
32	Степень усвоения, %	95	95	97	90	98	98	100	100	100	98			
33														
34														
35	4. Масса расплава в печи													
36	Масса расплава, кг	2500												

Рис. 4. Результаты расчета массы шихтовых компонентов

▲	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
35	4. Масса расплава в печи												
36	Масса расплава, кг	2500											
37													
38													
39	5. Балансовые неравенства												
40	Левая часть	1000	36842	15464	16667	3827	1658	2250	0	0	2E+05		
41	Условие	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	
42	Середина	1000	36842	15464	16667	3827	1658	2421	87,5	50	2E+05		
43	Условие	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	
44	Правая часть	1236,8	42105	20619	22222	4847	2423	3500	87,5	50	2E+05		
45													
46													
47	6. Химический состав конечного сплава												
48	Химический элемент	C	Cr	Ni	Mn	V	Mo	Si	P*	S*	Fe	Всего, %	
49	Содержание, %	0,38	14	6	6	1,5	0,65	0,97	0,04	0,02	70,45	100	
50	Попадание в пределы ГОСТа	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
51	* примеси												
52													
53	7. Целевая функция												
54	Себестоимость плавки, грн	96583											

Рис. 5. Результаты расчета конечного химического состава и себестоимости

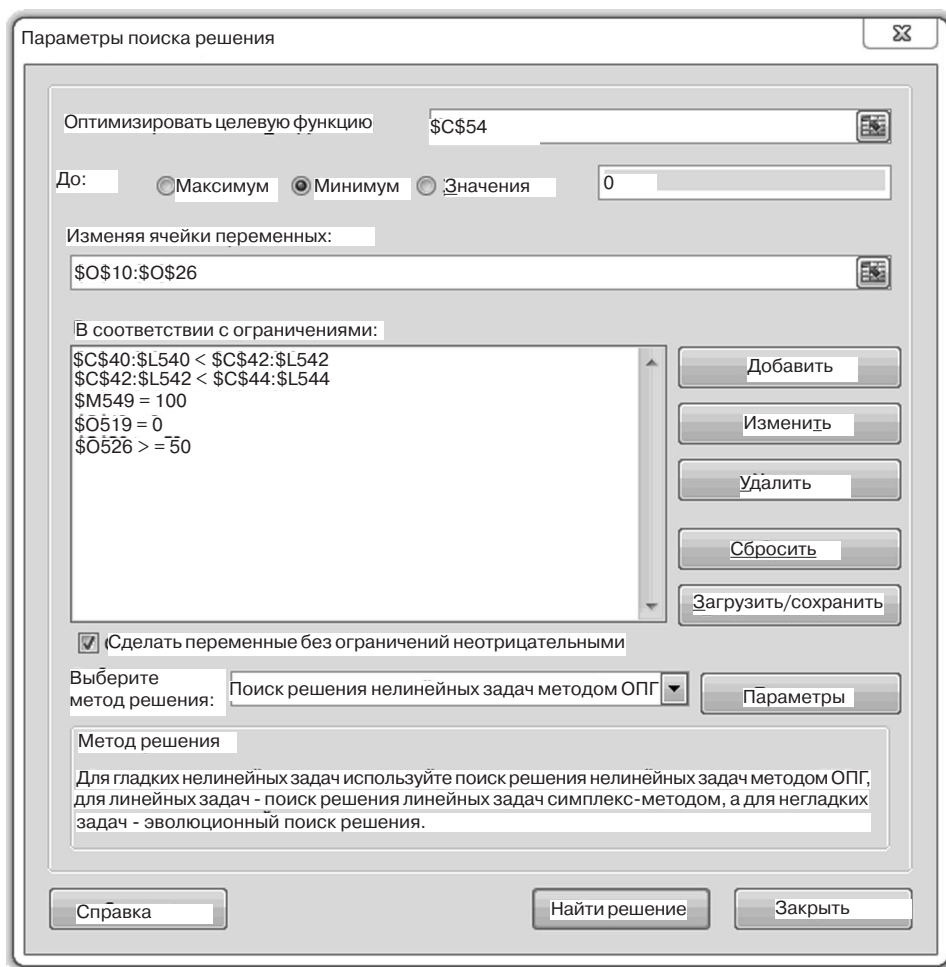


Рис. 6. Меню параметров поиска решения с дополнительными условиями

параметров угара и т. д. В случае необходимости можно добавлять новые шихтовые компоненты. При этом нет необходимости изменять расчетные формулы – они будут автоматически учтены. Единственное, что нужно будет сделать – еще раз запустить надстройку «Поиск решения».

Выводы

На примере одной марки стали были рассмотрены этапы расчета шихты оптимизационным методом с помощью программы Microsoft Excel 2010. Установлено, что расчет данным методом в Microsoft Excel 2010 имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с другими известными методами:

- Расчет оптимизационным методом позволяет из всех возможных шихтовых компонентов автоматически выбрать наилучшие, учитывая их цену и содержание вредных примесей. В других методах расчета эту функцию выполняет человек, что приводит к большим тратам времени. Кроме того, выбор человека не всегда является оптимальным.

- В оптимизационном методе количество шихтовых компонентов не ограничено.
- Оптимизационный метод позволяет рассчитать шихту с наименьшей возможной при данных условиях себестоимостью, что не позволяют сделать другие методы.

- В оптимизационном методе расчета шихты в любой момент времени можно вводить дополнительные ограничения, добавлять новые компоненты, менять их стоимость и т. д., что позволяет оперативно управлять технологическим процессом.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
7														
8														
9	2. Шихтовые компоненты													
10	Марка	C	Cr	Ni	Mn	V	Mo	Si	P*	S*	Fe	Цена, грн/кг	Индекс	Масса, кг
11	СЧ10	3,6	-	0,65	-	-	-	2,4	0,3	0,15	92,9	2,4	x1	0
12	СЧ35	3,0	-	0,9	-	-	-	1,3	0,2	0,12	94,48	2,8	x2	0
13	ФХ015А	0,15	65	-	-	-	-	1,5	0,03	0,02	33,3	33	x3	546,7222
14	ФХ100Б	1,0	65	-	-	-	-	2,0	0,05	0,04	31,91	23	x4	0
15	Н4	0,15	1,0	97,6	-	-	-	0	-	0	1,244	327	x5	139,1121
16	ФМН0,5	0,5	-	90	-	-	-	2,0	0,3	0,03	7,17	14	x6	90,58514
17	ФМН78	7,0	-	80	-	-	-	2,0	0,35	0,03	10,62	13,5	x7	0
18	ФМН78А	7,0	-	80	-	-	-	2,0	0,05	0,03	10,92	15,4	x8	90,64443
19	ФВД40У1	1,0	-	6	41	-	-	2,0	0,1	0,05	49,85	135	x9	88,1453
20	ФВД75У0,15	0,15	0,5	0,6	75	-	-	1,0	0,1	0,1	22,55	155	x10	0
21	ФМо55А	0,08	-	-	-	-	55	1,0	0,08	0,12	43,72	165	x11	0
22	ФМо60	0,05	-	-	-	-	60	0,8	0,05	0,1	39,0	178	x12	27,63605
23	ФС20	1,0	-	1,0	-	-	-	21,5	0,1	0,02	76,38	12	x13	0
24	ФС75	-	0,4	0,4	-	-	-	77	0,05	0,02	22,13	16,5	x14	0
25	МЖНО	0,01	0,3	1,9	-	-	-	-	0,01	0,01	97,77	18,5	x15	835,8636
26	Лом Б1	0,3	1,2	0,4	1,0	0,3	-	1,6	0,03	0,03	95,15	2,2	x16	708,5776
27	Лом Б3	1,0	1,3	0,3	0,5	-	-	0,4	0,03	0,03	96,45	2,3	x17	50
46														
47	6. Химический состав конечного сплава													
48	Химический элемент	C	Cr	Ni	Mn	V	Mo	Si	P*	S*	Fe	Всего, %		
49	Содержание, %	0,4344	14	6	6	1,5	0,65	1,01	0,03	0,02	70,35	100		
50	Попадание в пределы ГОСТа	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да		
51														
52														
53	7. Целевая функция													
54	Себестоимость плавки, грн	100152												

* примеси

Рис. 7. Результаты расчетов с дополнительными условиями



Список литературы

1. Цветное литье: Справочник / Н. М. Галдин, Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук и др. / Под ред. Н. М. Галдина. – М.: Машиностроение, 1989. – 528 с.
2. Производство стальных отливок: Учебник для вузов / Л. Я. Козлов, В. М. Колокольцев, К. Н. Вдовин и др. / Под ред. Л. Я. Козлова. – М.: МИСИС, 2003. – 352 с.
3. Волков В. Б. Понятный самоучитель Excel 2010. – СПб.: Питер, 2010. – 256 с.
4. Microsoft Excel 2010 для квалифицированного пользователя: Учебное пособие. – М.: Академия Айти, 2011. – 244 с.
5. Данилин Г. А., Куризна В. М., Курзин П. А. Математическое программирование с Excel: Учебное пособие для всех специальностей МГУЛа. – М.: МГУЛ, 2005. – 113 с.

Поступила 21.11.2012

УДК 669.18

В. Б. Охотский

Государственная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

ПАРОФАЗНАЯ ДЕСУЛЬФУРАЦИЯ МЕТАЛЛА. ГИДРОДИНАМИКА

Рассмотрены гидродинамические процессы в зоне взаимодействия газопорошковых струй магния и кальция с металлом.

Ключевые слова: магний, кальций, десульфурация, металл.

Розглянуто гідродинамічні процеси в зоні взаємодії газопорошкових струменів магнію та кальцію з металом.

Ключові слова: магній, кальцій, десульфурация, метал.

Hydrodynamical processes in the zone of magnesium and calcium gas-powder jets interaction with metal.

Keywords: magnesium, calcium, desulphuration, metal.

1. История и состояние вопроса

Появление технологий производства стали в жидком состоянии и ее разлива сопровождалось ликвацией и сегрегацией элементов в стальном слитке, снижающих качество проката. Наиболее отрицательно влияние серы, что заставило еще в 1890-х годах исследовать возможности десульфурации чугуна и стали оксидами, карбонатами, карбидами, цианидами и хлоридами щелочных и щелочноземельных