

г.о. козлов

# МОДЕЛЮВАННЯ ВИПЛАВКИ СТАЛІ І ФЕРОСПЛАВІВ

## З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕГРОВАННОЇ СИСТЕМИ "ОРАКУЛ" ТА ТРЕНАЖЕРА «СТАЛЕВАР ДУГОВОЇ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ ЄМНІСТЮ 100 ТОНН»

Методичні вказівки для студентів денної й заочної форм навчання спеціальності: 5.090409 "Виробництво сталі в конверторах і мартенівських печах", спеціалізація «Електрометалургія сталі і феросплавів»

> ЗАТВЕРДЖЕНО на засіданні ПЦК металургійних дисциплін НТ НМетАУ

Нікополь, НТ НМетАУ

МОДЕЛЮВАННЯ ВИПЛАВКИ СТАЛІ І ФЕРОСПЛАВІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕГРОВАННОЇ СИСТЕМИ "ОРАКУЛ" ТА ТРЕНАЖЕРА «СТАЛЕВАР ДУГОВОЇ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ ЄМНІСТЮ 100 ТОНН»: Методичні вказівки / Козлов Г.О. - Нікополь: НТ НМетАУ, 2007. - 37 с.

Вказівки містить повну характеристику інтегрованої системи "ОРАКУЛ" та тренажера «Сталевар дугової сталеплавильної печі ємністю 100 тонн». Тут представлено на конкретних прикладах застосування їх для рішення прикладних завдань в галузі чорної металургії. Пояснюються стратегія й тактика підходу до таких завдань, тобто розглядається загальний план рішення з послідовним аналізом кожного етапу завдання.

Призначені для студентів спеціальності: 5.090409 "Виробництво сталі в конверторах і мартенівських печах", спеціалізація «Електрометалургія сталі і феросплавів».

Іл. 14 табл. 7

Укладач

Г.О. КОЗЛОВ

© НТ НМетАУ, 2007

## **3MICT**

1.	Вступ	6
1.1.	Для чого призначений «ОРАКУЛ»?	6
1.2.	Що таке система «ОРАКУЛ»?	7
1.3.	Що вам необхідно знати	9
1.4.	Структура керівництва	9
2.	Загальний опис інтегрованої системи «ОРАКУЛ»	9
2.1.	Головне меню	12
2.2.	Вікно «Оптимізуєма шихта»	13
2.3.	Вікно «Состав матеріалів»	14
2.4.	Вікно «Заелементні дані»	15
2.4.1.	Вікно №3 «Результати оптимізації»	16
2.4.2.	Вікно № 4 «Термодинамічні результати»	16
2.5.	Вікно «Загальні результати»	17
3.	Вивчення системи «ОРАКУЛ»	18
3.1.	Імітаційне моделювання плавки	20
3.2.	Моделювання плавки сталі марки ШХ 15	22
4.	Тренажер «Сталевар ДСП-100»	28
4.1.	Призначення клавіш для керування тренажером	28
4.2.	Етапи роботи на тренажері	29
4.2.1.	Початок роботи з тренажером	29
4.2.2.	Ознайомлення з плавкою сталі в дсп 100	30
4.2.3.	Контроль теоретичних знань	30
4.2.4.	Розрахунок шихти	31
4.2.5.	Період плавлення	32
4.2.6.	Окислювальний період	33
4.2.7.	Відновлювальний період	35
4.2.8.	Випуск сталі	36
4.2.9.	Керування процесом плавки вцілому	36
4.2.10	. Оцінювання проведеної роботи	37

## 1. ВСТУП

Це керівництво містить повний опис інтегрованої системи "ОРАКУЛ". Тут представлено на конкретних прикладах застосування її для рішення прикладних завдань в області чорної металургії. Пояснюються стратегія й тактика підходу до таких завдань, тобто розглядається загальний план рішення з послідовним розбиранням кожного етапу завдання. Якщо Ви витратите час на вивчення даного опису, Ви виявите, що це зручний, що зберігає час, і продуктивний інструмент.

## 1.1. Для чого призначений "ОРАКУЛ"?

Основні області застосування моделі "ОРАКУЛ":

- Верхній рівень АСУ повністю автоматизованих технологій.
- Робота в режимі порадника на агрегатах з ручним керуванням.
- Проектування технологій, розробка технологічних інструкцій.
- Перспективне планування потреб виробництва в основних матеріалах з мінімізацією витрат і раціональним використанням наявних ресурсів.
- Моделювання плавки в процесі наукових досліджень, робота в навчальних системах.

У керівництві докладно розглянуте моделювання плавки на всьому її протязі, що зводиться до варіювання алгоритму, заснованого на спільному рішенні завдань двох типів:

- Пряме завдання термодинамічний розрахунок состава всіх продуктів плавки й температури процесу по відомому составі завалки й кількості підведеної енергії.
- Зворотне завдання розрахунок оптимальної завалки й всіх добавок по ходу плавки на підставі заданого состава металу, наявних матеріалів, цін, додаткових умов замовника й т.д.

У прямому завданню визначаються також вигари елементів, необхідні при рішенні зворотного завдання, і рушійні сили процесів для розрахунку кінетичних зсувів.

"ОРАКУЛ" є потужним підручним інструментом технолога при проектуванні металургійних процесів, тому що ця програма "тримає в пам'яті" весь арсенал теоретичної металургії й дозволяє робити приватні розрахунки шихти, добавок, що легують, дозволяє імітувати весь процес плавки, програти будьякі варіанти технології, навіть свідомо нереалізовані на практиці.

### 1.2. Що таке система "ОРАКУЛ"?

У результаті багаторічних досліджень уперше створена повністю детермінована модель сталеплавильного процесу "ОРАКУЛ", орієнтована на використання в системах автоматичного проектування технології, а також ситуативного керування процесами плавки, позапічної обробки й ін.

Відомі системи комп'ютерного керування орієнтовані в основному на строге виконання режимів і умов, що задають технологами. Принципова відмінність системи "ОРАКУЛ" складається в генерації технологічних рішень на підставі аналізу поточних умов процесу, пов'язаних зі змінами режимів, якості сировини, стану агрегату, кон'юнктури, що виникли помилками й ін. Іншими словами, система "ОРАКУЛ" включає якісно нову функцію - проектування технології, дозволяє "програти" майбутню плавку, зробити техніко-економічні оцінки технології.

Система "ОРАКУЛ" з високою точністю й швидкодією імітує важливі явища сталеплавильного процесу, найбільш yce опираючись на фізико-хімічні закони й бази фундаментальних "ОРАКУЛ" самоузгоджена констант. \_ система строгого термодинамічного розрахунку, матеріального й енергетичного балансів, адаптаційного обліку кінетичних зрушень, економічного розрахунку.

Звичайні системи комп'ютерного керування засновані на ідеях кібернетики, що дозволяють виключити знання й практичний досвід, однак для таких складних систем як

металургійні технології це нереально. В основі системи "ОРАКУЛ" лежить змістовний опис процесу плавки на базі теоретичних знань і практичних прийомів.

Кібернетичні моделі для адаптації програми до реального об'єкта вимагають збору величезної кількості експериментальної інформації, за допомогою якої одержують статистичні залежності, що описують процес. "ОРАКУЛ" істотно перевершує статистичні моделі по стійкості, надійності, часу адаптації до об'єкта, вимагає мінімальної підтримуючої інформації (у багатьох випадках досить однієї представницької плавки), що знімає з об'єкта, зберігає працездатність при тимчасовій її відсутності.

Із усього комплексу завдань, розв'язуваних за допомогою системи "ОРАКУЛ" сам складної й трудомісткої є розрахунок состава металу, шлаків і газу, що перебувають у рівновазі, тобто рішення прямого завдання. Пряме завдання засноване на рішенні системи рівнянь матеріального балансу й рівнянь закону діючих мас, складених для кожного елемента, що перебуває в даному наборі речовин (у шихтових матеріалах, що легують, флюсах і ін.).

Оптимізація шихтовки й легування або зворотне завдання служить для розрахунку оптимального за вартістю набору матеріалів для шихтовки або легування напівпродукту. Рішення відшукується за допомогою двоїстого лінійного симплекса-методу. Розрахункові кількості матеріалів мають мінімальну (у даних умовах) вартість, що, як правило, відповідає влученню нижню межу заданого состава або сталі на напівпродукту. При відсутності гарантованого рішення програма видає рекомендації у вигляді приватних рішень, кожне з яких є оптимальним за вартістю матеріалів, але відповідає виключенню із системи нерівностей одного із заданих користувачем обмежень.

## 1.3. Що Вам необхідно знати

Для роботи із програмою "ОРАКУЛ" необхідно мати навички обігу з персональним компьтером типу IBM AT.

Необхідно мати подання про закономірності й проблеми металургійного виробництва, уміти розчленувати цю проблему на окремі етапи, які можна математично описати за допомогою системи "ОРАКУЛ".

## 1.4. Структура керівництва

У керівництві представлений загальний схематичний опис інтегрованої системи "ОРАКУЛ" з роз'ясненням призначення й роботи всіх частин схеми й опис діалогу й сервісу з поданням користувальницького екрана в різних режимах роботи програми. Наведено приклади, у яких роз'ясняється послідовність дій користувача при рішенні конкретних завдань. Зокрема, докладно описані наступні завдання:

- Імітація плавки.
- Моделювання плавки стали марки ШХ15 з описом окремих періодів.
- Обробка стали синтетичними шлаками.
- Розрахунок оптимального состава легуючих матеріалів.
- Облік кінетичних зрушень (адаптація).

Опис маніпуляцій вводу-виводу даних, їхнього перегляду, коректування, вибір режиму роботи й т.п. наведені в Довіднику.

## 2. Загальний опис інтегрованої системи "ОРАКУЛ"

Система "ОРАКУЛ" являє собою сукупність різних по призначенню взаємозалежних частин, що забезпечують роботу програми в різних режимах, установлюваних на вибір користувача. Коротко охарактеризуємо програму в цілому.

Запуск програми на виконання здійснюється файлом "ORACUL.EXE". Робота її починається із читання файлів, що

містять дані для розрахунків, а саме: термодинамічні властивості елементів ("\*.CON"), виправлення на нерівновагу процесу в різних періодах плавки ("\*.COR"), конфігурація системи ("\*.PAR") параметри взаємодії ("\*.EPS"), состави шихтових і легуючих матеріалів ("\*.МАТ"). При завантаженні програма повідомляє про те, які саме файли з даними зчитуються - на тлі заставки з програми з'являються вікна-індикатори. ім'ям Як тільки закінчиться читання, заставка зникає, і встановлюється робочий вид екрана, при цьому з'являється картинка, що складається з рядка меню, розташованої зверху, панелі з декількома вікнами й статусним рядком, розташованої знизу (мал. 1). Докладний опис користувальницького екрана наведено нижче.

У першому рядку крім пунктів меню представлений обсяг вільної пам'яті в байтах, після двокрапки - безперервна вільна пам'ять, час доби (годинники:хвилини:секунди) і повідомлення про готовність до діалогу (READY). Вільна пам'ять зазначена для оцінки можливості завантаження додаткового списку матеріалів, що доповнює раніше завантажений список.

На екрані є 4 постійні вікна (підміню):

- "Оптимізуєма шихта" (№1 угорі ліворуч);
- "Состав матеріалів" (№2 угорі праворуч);
- "Заелементні дані" (№3-5 унизу ліворуч);
- "Загальні результати" (унизу праворуч).
- і 2 додаткових (тимчасово присутніх на екрані):
- "Засвоєння";
- "Адаптація констант".

Вікна 1-2 перебувають постійно у верхній частині екрана, а в нижній частині - залежно від режиму роботи програми або за користувача відкриваються вікна бажанням 3-5. Розміри кожного з вікон обчислюються автоматично. Перемикання між стовпцями усередині вікон і переміщення активного вікна здійснюється переміщення Швидке клавішами курсору. перемикання активного вікна виконується при натисканні клавіші "Alt" і цифри, що відповідає номеру вікна. Активне вікно відзначається яскравим кольором і подвійною рамкою (інші -

одинарної). Перегляд здійснюється скролінгом вікна за допомогою клавіш навігації, стрілка в нижній частині вікон показує напрямок прокручування. Призначення кожного вікна описано нижче.

₂. Nor	ton Comm	nander -	ORACU	L					ļ	- 🗆 ×
<b>Tr</b> 7	x 15 🕞				<b>A</b>					
்வற்	њ С	чет	Устано	вки Помс	)щь		12680	D:117712	12:40:32	READY
			Оптими	зируемая	Шихта			–– 1⊩	↓ • X02!	5
Ha	именова	ние	= Mac	са Налич	н. Доля	Min/Max	Усвоени	е Цена	Эл %MID	% +-
ΦX02	25		0	100.0	)0	0/100	100/100	300.00	tr O	0
ΦX00	)6		0	100.0	)0	0/100	100/100	350.00	Si 2.000	0
ΦΧ10	00E		0	100.0	)0	0/100	100/100	270.00	Mn 0	0
ΦX80	00 <b>E</b>		0	100.0	)0	0/100	100/100	245.00	C 0.200	0
ΦCX3	33		0	100.0	)0	0/100	100/100	313.00	P 0.030	0
Ni (	(H-2)		0	100.0	)0	0/100	100/100	900.00	s 0.020	0
Mn	(Mp-2)		0	100.0	)0	0/100	100/100	865.00	Ca O	0
ФМн7	78		0	100.0	0	0/100	100/100	529.00	2	
┖╣ュ╠								<u>_</u>		
0(5	55) Bcer	о шихты	( O		►0	10/ 50		0		
- Co	остав ме	талла -	— "3	5FC" —	— Шлак	— "Леги	ирование'	″ – 3 –		
N Эл.	требу	емый	расч	етный	Оксид	требуем	ий расч	четный		
Si	0.600	0.900		0	Si02		- 0	0		
Mn	0.800	1.200		0	Mn0		- 0	0		
С	0.300	0.370		0	С		- 0	0		
Р	0	0.040	0	0	P205		- 0	0		
S	0	0.045	0	0	S		- 0	0		
Ca			0	0	Ca0	50.00 60.	0 00	0		
Mg			0	0	MgO	8.00 15	0 00	0		
Macca	100.00/	140.00		/	Macca	1.00/ 5.	.00	/		
Alt	Fl-Пред	. Справк	a F9-	EGA стр	L-Язы	к Р-Печа	ать Х-Ві	аход		

Вся подальша робота відбувається в діалоговому режимі. Це означає що всі дії, а саме: розрахунки по наявних режимах,

#### Малюнок 1. Вигляд користувальницького екрана після запуску програми "ОРАКУЛ"

операції з диском, перегляд вікон скролінга й ін., програма робить за вказівкою користувача. Діалог забезпечується головним меню, підказками в статусному рядку, запитами підтвердження (вимагають відповіді Yes / No або Enter / Esc відповідно), підміню альтернативного вибору й ін. Докладно діалог роз'ясняється в Довіднику. Вихід із програми - за бажанням користувача, він можливий у будь-який момент діалогу, коли програма чекає вказівок від користувача. При виході більшість параметрів записується в конфігураційний файл "ORACUL.PAR" (якщо встановлено відповідний пункт меню "Установки / Оточення / Автозбереження конфігурації "), до них відносяться: імена файлів з даними для розрахунків, значення більшості чисельних величин і установок. При наступному запуску автоматично встановлюється конфігурація, збережена в попередньому сеансі роботи.

Під час розрахунків діалог переривається, і в правому верхньому куті екрана з'являється миготливий напис "ЧЕКАЙ", по закінченні розрахунків виводиться на екран вікно з результатами, і система знову готова до діалогу.

У будь-який момент часу розрахунок може бути перерваний по натисканню клавіші "Esc" (можлива невелика затримка), при цьому видається відповідне повідомлення.

І нарешті, унизу екрана перебуває статусний рядок, що у короткому виді підказує користувачеві, до яких дій приведе натискання функціональних клавіш. При натисканні клавіш "Alt" або "Ctrl" статусний рядок змінює вигляд на альтернативний.

#### 2.1. Головне меню

У головному меню є чотири підпункти, що містять меню, що випадають, призначені для керування програмою. Підпункт "Файл" дозволяє користувачеві працювати дисковими файлами: переглядати, редагувати за допомогою убудованого в програму текстового редактора, запам'ятовувати результати розрахунку, завантажувати на згадку дані по ходу роботи програми. За допомогою підміню "Режим" можна вибрати, по якому шляху роботу обчислення програми направити для вихідних параметрів, при цьому вхідні параметри задаються за допомогою вікон вводу-виводу. Підміню "Установки" служить для вибору умов розрахунку (методів, точності розрахунку, деяких чисельних величин і ін.) і виду навколишнього

середовища програми (масштаб екрана, мова повідомлень і ін.). Підпункт "Допомога" містить короткий опис програми. Докладне пояснення сервісу, надаваного програмою "ОРАКУЛ" наведено в Довіднику.

## 2.2. Вікно "Оптимізуєма шихта"

Призначено для уведення й редагування додаткових обмежень, наявності й мас шихтових матеріалів, а також мас металу й шлаків, отриманих у попередньому розрахунку. Верхня частина (за винятком останнього рядка) містить у кожному рядку інформацію про кожний матеріал, при цьому в рядку виводяться:

- найменування;
- ознака постійного (фіксованого, неоптімизуємого) матеріалу;
- маса;
- наявність;
- додаткова ознака;
- розрахункова частка в шихті;
- задані min і max обмеження на процентний вміст матеріалу в шихті;
- min i max межі "фізичного" засвоєння матеріалу;
- ціна.
- У нижньому рядку вікна виводяться:
- число матеріалів з ненульовою масою й загальна кількість матеріалів у вікні;
- загальна маса шихти;
- сумарна частка матеріалів з додатковою ознакою;
- задані min і max межі по змісту матеріалів з додатковою ознакою в шихті;
- сумарна вартість шихти (включаючи вартість вихідних металу й шлаків, якщо є).

Кількість шихтових матеріалів у вікні не обмежено. Клавішами вертикального переміщення здійснюється переміщення за списком матеріалів, а горизонтального - по величині, що редагується, і/або між сусідніми вікнами меню (залежно від стану режиму редагування чисел). Діапазон величин, що вводять: 0...10<sup>30</sup> ("Наявність"), -10<sup>30</sup>...+10<sup>30</sup> ("Маса"), 0...100 ("обмеження на зміст ШМ"). Поточний состав матеріалу відбивається у вікні "Состав матеріалів". Крім того, спрацьовуються натискання наступних клавіш:

- "Ins" перемістити матеріал зі списку оптимізуємих у список неоптимізуємих або навпаки.
- "+/-"(на цифровій клавіатурі-"сірі")-взяти/видалити всі матеріали, тобто те ж, що "Ins", але переміщаються всі матеріали одночасно;
- "\*" установка/скасування додаткової ознаки (ДП).

Номера матеріалів у кожному вікні встановлюються відповідно до їх послідовності у файлах у наступному порядку:

- 1. неоптимізуємі з ненульовою масою;
- 2. оптимізуємі з ненульовою масою;
- 3. оптимізуємі з нульовою масою;
- 4. неоптимізуємі з нульовою масою.

При ініціалізації (перший вхід в ОРАКУЛ) у список оптимізуємих матеріалів включаються всі металеві з ненульовою наявністю й нульовою масою. При будь-яких переміщеннях матеріалів між списками, всі зміни негайно відображаються на екрані.

## 2.3. Вікно "Состав матеріалів"

Призначено для уведення й редагування составів шихтових матеріалів, а також составів металу й шлаків, отриманих у попередньому розрахунку. Клавішами вертикального переміщення здійснюється переміщення за списком елементів, а горизонтального - по величині, що редагується, таблиці меж составів і/або між сусідніми вікнами меню (залежно від стану режиму редагування чисел, див. розділ "Керування курсором"). Діапазон величин, що вводять, 0...100. Список елементів у вікні збігається зі списком елементів для розрахунку, відповідно до стану вікна "Заелементні дані".

При виході з вікна "Состав матеріалів" (у тому числі при запуску будь-якого розрахунку) виконується перевірка суми процентних вмістів елементів у що редагує ШМ (окремо для нижніх і верхніх меж), і при її відмінності від 100% виконується пропорційна зміна (перерахування) змістів всіх елементів для досягнення зазначеної величини суми, а обчислені в результаті ці коефіцієнти нормування переносяться в "фізичні" коефіцієнти засвоєння матеріалу (у нижню й верхню межу відповідно).

Аналогічне перетворення виконується автоматично для кожного матеріалу при зчитуванні вихідних даних по составах матеріалів з дискового файлу, тому сума процентних вмістів елементів у всіх матеріалах завжди дорівнює 100% (як для нижніх, так і для верхніх меж).

## 2.4. Вікно "Заелементні дані"

У цьому вікні можливий вивід результатів розрахунку у вигляді 3 альтернативних вікон, перемикання яких виконується циклічно по клавішах "Tab" і "Shift-Tab":

- вікно №3: вихідні дані й результати оптимізації шихти;
- вікно №4: маси елементів у системі метал-шлак-газ, і состави металу й шлаків у відсотках по масі й активності компонентів цих фаз;
- вікно №5: результати розрахунку теплового балансу. Можливість увійти в це вікно з'являється тільки при наявності таких результатів, тобто після першого термодинамічного розрахунку.

Клавішами вертикального переміщення здійснюється переміщення за списком елементів, а горизонтального - по величині, що редагується, і/або між сусідніми стовпцями вікна (залежно від стану режиму редагування чисел).

## 2.4.1. Вікно №З "Результати оптимізації"

У вікні №3 у рядку состава металу виводяться: порядковий номер і позначення елемента, необхідні нижня й верхня межі состава готового металу й розрахункові нижня й верхня межі очікуваного состава металу, і те ж для шлаків. Необхідні межі встановлюються відповідно до обраного в пунктах "Установки\Оптимум\Состав металу" і "Состав шлаків". Межі уведення змісту елементів ("необхідний" состав металу й шлаків) - 0...100. Розрахунковий очікуваний состав стали не редагується. Крім того, у меню спрацьовується натискання наступних клавіш:

- "Ins" Відзначити (взяти/видалити) елемент, на якому коштує курсор, у список елементів, що розраховують. Не можна взяти для розрахунку елемент=Fe;
- "+/-"(на цифровій клавіатурі -"сірі") Відзначити/скасувати всі елементи (крім Fe);
- "Tab", "Shift-Tab" перемикання в інші альтернативні вікна.

Номера елементів установлюються відповідно до їх послідовності у файлах. При ініціалізації (перший вхід в ORACUL) вибираються для розрахунку елементи з Min<Max в "Кінцевому" составі (крім Fe). Якщо змінюється використання в розрахунку елемента, то вікно передруковується.

#### 2.4.2. Вікно № 4 " термодинамічні результати "

При виводі составів металу й шлаків у вікні N 4 також розраховуються й відображаються в таблиці на екрані логарифми активності компонентів у цих фазах. Крім того, для металу виводяться стандартні стани, при яких розраховані зазначені активності : символ "R" у правій частині відповідної таблиці визначає стандарт по Раулю (активність дорівнює одиниці в чистому рідкому елементі) ; символ "H" - по Генрі (активність дорівнює процентному змісту елемента по масі в чистому залізі при нескінченному розведенні). Активності в металі виводяться при ненульовому змісті елемента в металі.

компонентів Активності шлаків розраховуються при стандарті по Раулю, тобто активність дорівнює одиниці в чистому рідкому з'єднанні, зазначеному в лівій частині відповідної таблиці (оксиди або CaF<sub>2</sub>), причому активність саме для з'єднання в такому вигляді, як воно записано (напр., для P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, а не РО5/2). Активності в шлаку розраховуються й виводяться при ненульовому змісті компонента шлаків (тобто при ненульових масах шлаку відповідного розрахункових V елемента Періодичної системи й кисню, або Са і F для Ca F<sub>2</sub>).

У вікні виводяться також відсоток вилучення елемента (відношення маси елемента в металі до загальної маси елемента в системі, помножене на 100) і коефіцієнт розподілу елемента між шлаками й металом (відношення масових процентних вмістів елемента в шлаку й у металі).

В останньому рядку виводяться необхідні й розрахункові маси металу, шлаків, їхня загальна маса й кратність шлаків.

#### 2.5. Вікно «Загальні результати»

У правій нижній частині екрана вказуються значення установок, які були зроблені перед розрахунком: температура, методи розрахунку активності і рішення системи балансових рівнянь, а також результати розрахунків: оцінка стабільності (якщо стабільність не порушена, то у фазі даного состава немає розшарування - вона гомогенна), маси металу й шлаків і загальна, вартість завалки (без вартості енергоносіїв, накладних витрат та ін.), чи досягнуті задана точність і за скільки ітерацій, значення рівня Ферми, що є мірою окисленості системи (це параметр моделі колективізованих електронів МКЕ), состав газової фази й задане в установках тиск в атмосфері печі, обсяг виділилися, згоряння вуглецю продуктів, що й маса надлишкового вуглецю у вигляді графіту, що не розчинився в металі.

Величини Vgas, Pco, Pco2, Ратм друкуються в тому випадку, якщо в розрахунку були присутні вуглець і кисень, причому Vgas друкується, якщо тільки була спроба розрахунку газової фази ("Розрахунок газової фази"="Так"). Обсяг газової фази Vgas виводиться в перерахуванні на нормальні умови (20°С, 1 атм).

Маса графіту (M<c>) друкується, якщо в розрахунку був присутній вуглець і була спроба розрахунку графіту ("Перевірка наявності графіту"="Так").

Як у цьому меню, так і при виводі результатів на пристрій по клавіші "Alt-P", відображаються результати попереднього (останнього) розрахунку, при цьому на зазначений вивід не впливає зміна пунктів меню "Установки/Рівновага" аж до початку наступного розрахунку (нові установки запам'ятовуються й виводяться на екран лише при початку нового розрахунку). При запам'ятовуванні отриманих металу й шлаків у якості вихідних (у відповідних рядках вікна "Оптимізуєма шихта"), зберігаються отримані результаті термодинамічного в розрахунку состави й кількості металу й шлаків, а також сумарна вартість використаних матеріалів, що повністю переноситься на метал (при цьому встановлюється ціна металу, рівна відношенню сумарної вартості шихти до маси отриманого металу); вартість (ціна) шлаків уважається рівної нулю.

На мал. 2 представлений альтернативний вигляд екрана, де у вікні 4 перебувають результати розрахунку рівноважних составів металу, шлаків і газової фази.

## 3. Вивчення системи "ОРАКУЛ"

Роботу програми "ОРАКУЛ" розглянемо в додатку до рішення приватних завдань по моделюванню плавки. При цьому докладно будуть пояснені дії користувача з роздруківкою результатів, до яких ці дії приводять. Розрахункові дані будуть зіставлятися з фактичними (виробничими або лабораторними).

Кількості матеріалів, що вводять у комп'ютер для розрахунку составів металу й шлаків, можна виражати в будь-

яких одиницях, тому що в результаті одержуємо концентрації елементів і з'єднань. У більшості випадків використаються тонни.

Основне призначення системи "ОРАКУЛ", як уже говорилося у введенні, - імітація плавки сталі або феросплаву. Це означає, що по заданих кількостях вихідних матеріалів і їхньому хімічному складу комп'ютер розраховує рівноважні состави металу й шлаків і, якщо потрібно, газової фази при температурі, заданої користувачем або розрахованої по тепловому балансі. Оскільки в реальності протягом плавки міняються багато

•	Nor	ton Comm	nander -	ORACUL						l.	. 🗆 🛛
12	r 7	x 15 🝷				<b>A</b>					
Г	Файл	пы С	чет	Установ	ки Помо	шр		127048	8:117712	12:51:19	READY
				Оптимиз	зируемая	и Шихта		1	1 ⊢_	Лом_В	3
	Ha	зименова	ние	= Maco	а Налич	<ol> <li>Доля</li> </ol>	Min/Max	Усвоение	е Цена 🛛	Эл %MID	\$ +-
	Лом	B3		100.0	10 1000.	0 91.	0/100	98/99	50.00	tr O	0
	Изве	есть		4.00	0 100.0	00 3.7	0/100	96/96	50.00	Si 0.400	0.100
	∭amo	т		1.00	0 100.0	0.9	0/100	100/100	10.00	Mn 0.350	0.050
	Футе	еровка		0.50	0 100.0	0.5	0/100	100/100	10.00	C 0.800	0.100
	Кисл	юрод		2.00	0 100.0	00 1.8	0/100	100/100	50.00	P 0.020	0.010
	Kore	2		2.00	0 10000	). 1.8	0/100	99/99	100.00	S 0.023	0.013
	ΦХ02	25		0	100.0	0 0	0/100	100/100	300.00	Ca O	0
	ФХ0(	06		0	100.0	0 0	0/100	100/100	350.00	2	1
	╣ュ╠									Точный р	асчет
	6(	55) Bcer	о шихти	a 109.5	50	▶0	10/ 50	d 8	5515.00	📖 Фактиче	ски
	— Co	остав ме	талла -	"35	5ГС″ —	— Шлак	— ″Лег	ирование'	' - 3Hi	Расплав.	БМЗ
Ν	І Эл.	. требу	емый	расче	тный	Оксид	требуем	шй расч	иетный	🏽 T= 1600.	00 C 🗒
	Si	0.600	0.900			Si02		- 17.63	3 17.63	М=Субрегул	ярный
	Mn	0.800	1.200			MnO		- 0.10	0.10	Ш=МКЭ – ГБ	C [*]
	С	0.300	0.370		1.121	С		- 1.E-6	5 1.E-6	метод Ньют	она
	Р	0	0.040	0.020	0.020	P205		- 3.E-5	5 3.E-5	.043<.100%	6<50
	S	0	0.045	0.009	0.009	S		- 0.79	9 0.79	Ур.Ферми=5	.098RT
	Ca			4.E-12	4.E-12	CaO	50.00 60	.00 67.59	9 67.59	P= 0.9990+	0.0010
	Mg			0.001	0.001	MgO	8.00 15	.00 5.73	5.75	P= 1.0000<	1.0000
									1	Vco+Vco2=	2648.4
Мε	acca	100.00/	140.00	98.74/	98.74	Macca	1.00/ 5	.00 5.73	5/ 5.75		
Тε	abOrg	p F41100	т/Корр	F5Bcer	o F60r	ттим F	7Факт Б	'9Угар Іл	пзОтмет	+/-Bce *	дп

Малюнок 2. Вигляд користувальницького екрана після розрахунку рівноваги системи метал-шлак-газ

параметрів, причому в дуже широкому діапазоні, то для розрахунку необхідна розбивка її на періоди, під час яких умови більш-менш стабільні, і проводити розрахунки для таких умовних періодів. І хоча звичайно плавка й складається з розплавлювання, стос, рафінування й обробки в ковші, що обраховують періодів може бути більше або менше. Так наприклад, під час відбудовного періоду у ванну додають розкислювачі й легуючі, при розрахунку можна до металу додати всі матеріали відразу, а можна прорахувати й простежити зміну состава металу при добавці кожного матеріалу окремо. Таким чином, повна імітація плавки буде складатися з окремих розрахункових фрагментів.

## 3.1. Імітаційне моделювання плавки

Спочатку розглянемо абстрактне найпростіше завдання: розрахувати состав металу й шлаків по закінченню розплавлювання шихти наступного состава (т): металевий лом Б2 100.0, вапно 4.0, шамот 1.0, футеровка 0.5, кисень 2.0, кокс 2.0. Задати температуру 1600°С, тиск 1 атм.

Ваші дії при рішенні завдання:

- 1. У вікні 1 знаходимо перераховані матеріали й у колонку "Маса" указуємо їхні маси.
- 2. У меню "Установки / Рівновагу " установлюємо температуру, тиск і період плавки.
- 3. У меню "Режим" вибираємо "Розрахунок составів металу й шлаків" або натискаємо одночасно клавіші "Ctrl" і "F7".
- 4. У статусному рядку з'являється миготливий напис "Чекай", і після деякої паузи (по закінченні розрахунку) з'являється вікно З (або 4) з результатами. Якщо кількість елементів більше, ніж число наявних рядків у вікні, то для перегляду натискаємо клавіші "Alt-3" ("Alt-4") і за допомогою клавіш навігації переглядаємо весь список. Результати розрахунку наведені на мал. 2 і 3.
- 5. Якщо надалі ви хочете використати отримані результати для аналізу або для включення у звіт, їх можна запам'ятати на диску - клавіші "Alt-P". З'являється запит імені файлу (\*.RES), ви вводите будь-яке припустиме сполучення символів (див. Довідник), після чого результати запам'ятовуються. Не виходячи із програми ви можете переглянути (а також внести

корективи, зауваження, перезаписати й т.д.) уміст цього файлу за допомогою убудованого редактора, користуючись пунктом меню "Файли" (а також будь-якого іншого файлу, установивши у вікні запиту маску "\*.\*").

6. У деяких випадках може виникнути необхідність використати метал, що вийшов, і шлаки в подальших розрахунках, наприклад, увести в нього добавки (розкислювачі, що легують), скачати шлаки частково або повністю, навести нові шлаки або додати флюс, для цього необхідно нажати клавіші "Ctrl-D" і отримані состави металу й шлаків будуть перенесені у вікно 1 у вигляді вихідних матеріалів під іменами "\*\*метал\*\*" і "\*\*шлаки\*\*", з якими можна звертатися як зі звичайними матеріалами: змінювати їхню масу, состав і інші характеристики. Так, наприклад, часткове скачування шлаків

<u>≥</u> . N	Norton Commander - ORACUL										- 🗆 ×	
Ť	7 x 15 🕞			<b>₽</b>	66	A						
∲ai	йлы	Счет	Устан	DBRJ	и Помощя	,			12680	0:117712	2 12:55:35	READY
			- Оптим	изид	уемая l	Бихта					Лом В	33
1	Наименов	вание	= Mac	cca	Налич.	Доля	Min	/Max	Усвоени	е Цена	Эл %MID	\$ +-
Лог	м_ВЗ		100.	.00	1000.0	91.	0	/100	98/ 99	50.00	tr 0	0
Из:	весть		4.0	000	100.00	3.7	0	/100	96/96	50.00	Si 0.400	0.100
1 Mar	MOT		1.0	000	100.00	0.9	0	/100	100/100	10.00	Mn 0.350	0.050
Φy	теровка		0.3	500	100.00	0.5	0	/100	100/100	10.00	C 0.800	0.100
Ки	слород		2.0	000	100.00	1.8	0	/100	100/100	50.00	P 0.020	0.010
Koi	RC		2.0	000	10000.	1.8	0	/100	99/99	100.00	S 0.023	0.013
ΦX	025		0		100.00	0	0	/100	100/100	300.00	Ca O	0
ΦX	006		0		100.00	0	0	/100	100/100	350.00	2	
										1	Точный	расчет
6	(55) Bce	его ших:	rы 109.	. 50		▶0	10	/ 50		5515.00	Фактич	ески
	Всего —				— Мета	ыл <i>—</i>			Шлак —	4⊩_	Расплав.	. БМЗ
эл.	macca	∜извл.	L(m/m)	эл.	. macc. <sup>s</sup>	igA 🗧	СТ	комп.	Macc.%	lgA cт	🎬 T= 1600.	.oo c 🗒
Si	0.7292	35.028	31.863	Si	0.2587	7 -4.9	95R	Si02	17.631	636R	М=Субрегул	іярный
Mn	0.3525	98.725	0.222	Mn	0.3524	4 -2.	40R	MnC	0.101	-2.49R	Ш=МКЭ – ГТ	3C [*]
С	2.5266	43.794	1.0E-6	С	1.1206	5 0.20	88H	0	1.1E-6	-7.52H	метод Нью:	гона
P	0.0199	99.996	0.001	P	0.0202	2 -1.	56H	P205	5 2.9E-5	-7.48H	.043<.100	k 6<50
ន	0.0542	15.665	92.482	S	0.0086	5 -1.9	95H	2	0.795	-3.15H	Ур.Ферми=	5.098RT
Ca	2.7769	1.E-10	1.3E13	Ca	3.8E-12	2 -10	.7R	CaC	67.592	136R	P= 0.9990-	⊦0.0010
Mg	0.2002	0.493	3469.4	Mg	0.0010	) -2.8	84R	MgC	5.747	-1.03R	P= 1.0000∘	:1.0000
<b>  </b>  1	┣────										Vco+Vco2=	2648.4
Bce	ro 104.4	49 Метал	ил <u>9</u> 8.74	43 1	lnar 3	5.748	з Кр	атн.	5.8214	\$		
Alt	F1-Hpe	ед.Спрал	ska F9-	-EGi	А стр 1	-Язы	ĸ P	-Печа	ать Х-В	ыход		

# Малюнок 3. Вигляд користувальницького екрана після розрахунку рівноваги системи метал-шлак-газ

моделюється зменшенням його маси (пропорційно відсотку скачування), а повне видалення шлаків - обнулінням його маси.

Перераховані тут дії є необхідним мінімумом для роботи в режимі рішення прямого завдання. Розрахунок наступних періодів складається з аналогічних дій. При цьому помітимо, що металотермічного процеси одержання феросплавів одностадійними, і тому для їхньої імітації досить одного розрахунку. Однак у всіх випадках моделювання плавки за допомогою системи "ОРАКУЛ", достатній ступінь адекватності процесам досягається адаптацією моделі реальним до конкретних умов, для чого в програмі є відповідний режим. Вивчення наведених далі прикладів і самостійне їхнє повторення дозволить вам нагромадити досвід для вільного оволодіння системою "ОРАКУЛ".

#### 3.2. Моделювання плавки сталі марки ШХ15

Для демонстрації роботи системи "ОРАКУЛ" буде описана плавка сталі марки ШХ15. У таблиці 3.1 наведена плавильна карта з описом операцій при виробництві цієї сталі в дуговій електричній печі в ЕСПЦ-2 Челябінські металургійні комбінати.

Відповідно до технологічної інструкції, що діє на ЧМК, у завалку разом з ломом даються чавун і (або) кокс у такій кількості, щоб сумарний зміст вуглецю був не менш 1.35%. Для даного варіанта плавки (див. табл. 3.1), при якому проводиться переплав відходів підшипникових хромистих сталей, i рекомендовано давати 2т кокси. Обов'язково даються в завалку 4т перевелися, 0.5т шамоту й 2т агломерати ЧМК. Для очікуваних металу розрахунку составів й шлаків по розплавлюванню задамо маси цих матеріалів і металевого лома 2А и БЗ, використовуючи вікно 1, у меню "Установки/Рівновагу" установлюємо температуру 1540°С за даними плавильної карти й період плавки "Розплавлювання". Для розрахунку натискаємо клавіші "^F7", і у вікні 4 одержуємо состави металу й шлаків,

(табл. 3.2). Результати розрахунку розподілу елементів між металом і шлаками, які добре погодяться із пробій N1. Крім згаданих у карті плавки матеріалів у табл. 3.2 зазначено, що задали ще 1.15т кисню, тому що атмосфера печі є окисної, пекти негерметична, і при розплавлюванні проводиться підрізування шихти газоподібним киснем, витрата якого невідомий (в ЭСПЦ-2 ЧМК витратоміри не встановлені). При цьому кількість кисню підбираємо таким, щоб його вистачило на окислювання вуглецю до заданого змісту його в металі (див. проба N1 у табл. 3.1). Однак, коли витрата кисню відома й зафіксований у документах, необхідно задати його масу по наступній формулі:

Mo = Vo \* 0.00143,

де Мо — маса кисню, поданого в піч, т;

Vo — його витрата, н. м<sup>3</sup>;

0.00143 — щільність кисню, т/м<sup>3</sup>.

Отриманий состав металу й шлаків запам'ятовуємо натисканням "Ctrl-D" і додаємо 1т перевелися й 2т руди, як в плавильній карті, а також 0.4т кисню для зазначено окислювання вуглецю до концентрації, близької до концентрації в пробі №2, і при тій же температурі знову проводимо розрахунок. Результати представлені в табл. 3.2, відповідність пробі №2 задовільне. Запам'ятовуємо состави металу й шлаків і згідно даним плавильної карти знову додаємо 1т перевелися й 2т руди, установлюємо температуру рівної 1570°С, отримані в розрахунку результати зіставляємо із пробій №3. Продувка триває, температура підвищується до 1620°С, тому додаємо 0.15т кисню, розрахункове значення змісту вуглецю в металі збігається із пробій №4.На цьому окисний період закінчується, шлаки скачувають начисто й приступають до відновлювального періоду. Скачування шлаків імітуємо обнулінням його маси у вікні 1, потім додаємо 0.6т перевелися, 1.8т ферохрому марки ФХ800, 0.6т шамоту й 0.25т феросиліцію марки ФС75. 1640°C температуру Установлюємо період и плавки "відбудовний". Результати розрахунку Nº2 порівнюємо зi

змістами елементів у пробі №5.Після цього роблять випуск. Шлаки відтинається, для чого обнуляємо його масу у вікні 1, а в ківш задають 1т вапна, 0.4 т плавикового шпату, 0.25т феросиліцію марки ФС75 і 0.13т алюмінію. Встановлюємо температуру 1569°С и період плавки "обробка в ковші". Результати розрахунку №6 порівнюємо із составом готового металу, наведеним на початку плавильної карти.

#### Таблиця 1. - Опис плавки 100432 ЧМК (Фрагменти плавильної карти)

Дата	Плавка N	Марка	ТУ або ДЕРЖСТАНДАРТ		
22.01.89	100432	ШX15	Г-801-78 ШМ		

#### Маркірування хімічного аналізу

С	Mn	Si	S	Р	Cr	Ni	Ti	Al	Cu
0.99	0.21	0.42	0.019	0. 020	1.52	0.14	0.01	0.01	0.1

Найменування	У завалку,кг	У доведення,кг	Разом,кг
ФХ800		1950	1950
Ф <b>С</b> 75		500	500
Алюміній шмат. II		130	130
Лом 2А	95000		95000
Лом БЗ	10000		10000
Разом	105000	2580	107580

Періоди	Початок	Кінець	Тривалість
Заправлення	2-05	2-40	0-35
Завалка	2-25	2-30	0-05
Розплавлення	2-40	5-00	2-20
КІП	5-00	6-00	1-00
Рафінування	6-00	7-00	1-00
Випуск плавки	7-00		
Загальна тривалість			3-55

Час	Операція
2-40	вмикання.
4-20	t=1540°С Проба N1: 3 1.71 S 0.040 P 0.020 Si 0.12 Cr 0.25
	Дано: Вапно 1000 Руда 2000 Продувка.
4-50	Проба N2: 3 1.28 S 0.036 P 0.015 Si 0.11 Cr 0.21 Mn 0.29 Ni
	0.11 Cu 0.08 Mo 0.02 W 0.01
5-00	t=1602°С. Дано: Вапно 1000 Руда 2000 Продувка.
5-40	Проба N3: 3 1.16 P 0.016 Si 0.04 Cr 0.21 Mn 0.27 Ni 0.12
	Продувка
5-50	t=1620°С. Проба N4: 3 0.86 Скачали шлаки начисто Дано:
	Вапно 600 ФХ800 1800 Шамот 600 Фс75 250
6-25	t=1640°С. Проба N5: 3 0.92 Р 0.017 Si 0.15 Cr 1.32 Mn 0.25 S
	0.031
6-50	Скачали шлаки
7-00	Випуск. У ківш: Вапно 1000 Шпат 400 Фс75 250 Алюміній 130
7-15	t=1569°С. Обробка на аргоній установці

## Таблиця 2 - Результати розрахунку составів металу й шлаків

№ розрахунку	1	2	3	4	5	6
Час відбору проби	Розплавлювання	початок окисного періоду	середина окисного періоду	кінець окисного періоду	кінець відбудовного періоду	після обробки в ковші
Температура,°С	1540	1570	1600	1620	1640	1569
Період плавки	Розплавлювання	Окисний	Окисний	окисний	відбудовний	обробка в ковші
	Ľ	Цихтові м	атеріали			
**Метал**		103.603	103.830	104.345	104. 250	106. 261
**Шлаки**		6. 191	8.062	9.806		
Лом_2А	95.000					
Лом_БЗ	10.000					
Вапно	4.000	1.000	1.000		0. 600	1.000
Агломерат ЧМК	2.000					
Шамот	0. 500				0. 600	
Залізна руда		2.000	2.000			
Кисень	1. 150	0. 300		0. 150		
Кокс	2.000					
ФХ-800					1.800	
ФС75					0. 250	0. 250
Пл. шпат						0.400
AL (I)						0. 130
		Состав л	металу	-		-
0	0. 00090	0.00129	0.00176	0.00217	0. 00209	0.00002
Al	0.00009	0.00004	0.00004	0.00009	0. 00126	0.06442
Si	0.01621	0.01345	0.01850	0. 03345	0. 27140	0. 48573
Mn	0. 28036	0.22400	0. 20427	0. 22808	0. 21370	0. 21357
Р	0.01605	0.01410	0.01355	0.01450	0. 01476	0.01483
S	0. 04233	0.04361	0.04241	0.04050	0. 03914	0. 02329
С	1. 71766	1. 25795	0. 98775	0. 85997	0. 97252	0. 96965
Cr	0. 28644	0. 27509	0. 26373	0. 26291	1. 38189	1. 37780
Ni	0. 21010	0. 20484	0. 20383	0. 20784	0. 20342	0. 20276
Ті	0.00218	0.00203	0.00198	0.00209	0. 00204	0.00204
Cu	0. 21874	0. 21818	0. 21703	0. 21721	0. 21309	0. 21243
		Состав ц	лаків			
Fe	5. 2623	7.4481	8. 4229	8. 4292	3. 5454	0.0868
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4. 5234	3. 6471	3. 1397	3. 1634	21. 1599	7.7338
Si2	18. 3589	19. 6801	20. 5887	20. 4076	23. 2334	0.3629

№ розрахунку	1	2	3	4	5	6
Mn	2. 4133	2.9021	2. 7418	2. 4362	1. 2418	0. 0397
Са	67.3701	64. 2076	63. 0357	63. 5291	49.0059	69. 6763
Mg	1.3440	1. 2311	1. 1757	1. 1849	0. 3603	0. 5088
$P_2O_5$	0. 2079	0. 2268	0. 2071	0. 1856	0.0200	0.0001
S	0. 1672	0. 1167	0. 1112	0. 1329	0. 1298	1. 1805
С	0.0077	0.0060	0.0047	0.0041	0.0025	0.0003
Cr	0. 2369	0. 3624	0. 4372	0. 4552	1. 3095	0.0306
Ca <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	20. 9659
CO+CO <sub>2</sub> , m <sup>3</sup>	1307	948	552	269	0	0

## 4. Тренажер «Сталевар ДСП-100»

*Мета:* Закріпити теоретичні знання за темою, отримати навички самостійного проведення окремих періодів плавки сталі в електропечі

#### Завдання:

Виконайте тестовий контроль знань за обраним рівнем складності.

#### Самостійно проведіть:

- завантаження печі,
- заправку печі,
- розрахуйте шихтовку плавки;
- випуск металу із печі;
- повний цикл виплавки сталі в режимі тренажера;

#### 4.1. Призначення клавіш для керування тренажером Встановлення параметрів плавки:



#### 4.2. ЕТАПИ РОБОТИ НА ТРЕНАЖЕРІ 4.2.1. ПОЧАТОК РОБОТИ З ТРЕНАЖЕРОМ

В каталозі «TRENO» для запуску тренажера обираємо файл «ДСП100.exe». Керуючись підказками на екрані розпочинаєте роботу з навчально-тренуючою системою по електросталеплавильному процесу.



Крок 3 – Обираємо свою групу





Крок 5 – Із головного меню обираємо бажаний варіант роботи в програмі

#### 4.2.2. ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ПЛАВКОЮ СТАЛІ В ДСП 100

Обравши в меню пункт «Демонстрація етапів плавки» Ви маєте можливість проглянути ведення всіх технологічних операцій та періодів виплавки сталі. Керування процесом здійснюється любою клавішею.



Рисунок 6 – Вигляд користувальницького екрану під час демонстрації етапів плавки

#### 4.2.3. КОНТРОЛЬ ТЕОРЕТИЧНИХ ЗНАНЬ



Оберіть бажаний рівень складності питань відповідно до рівня Вашої теоретичної підготовки.

Рисунок 7 – Вигляд користувальницького екрану під час контролю знань. Вибір рівня складності.

Після чого приступайте до відповідей на питання. Для вибору номерів відповідей використовуйте верхній ряд клавіш на клавіатурі.



Рисунок 8 – Вигляд користувальницького екрану під час контролю знань.

Вірних відповідей на питання може бути декілька, тому необхідно обрати всі вірні відповіді, підсвічування відповіді означає його вибір. Після вибору натисніть клавішу Enter .

#### 4.2.4. РОЗРАХУНОК ШИХТИ

Шихтовка вважається виконаною, якщо ви одержали оцінку "5". У випадку одержання вами інших оцінок ("2", "3" чи "4") продовжуйте роботу. Розшифруйте задану програмою марку сталі та охарактеризуйте її властивості, призначення.

компонент	марка	С	Si	Mn	S	Р
	П	4.5	0.7	0.75	0.02	0.1
ЧАВУН	П2	4.5	0.3	1.0	0.02	0.1
БРУХТ	0.25	0.25	0.5	0.02	0.02	

Таблиця 3 - ПРИБЛИЗНИЙ ХІМІЧНИЙ СКЛАД ШИХТИ, %

Розрахунок шихти виконуєты частини завалки, виходячи	приклад шихтовки Сталь 50Х	
1. БРУХТ:		
в) великий		
(блюмінгова обрізь)	- до 40 %	40т
б) середній	- 30% і вище	62 т
в) дрібний	- до 10%	10т
2. ЧАВУН ЧУШКОВИЙ	- до 20%	От
3. КОКС (з розрахунку)	- до 2.5%	900 кг
4. ВАПНО	- 3 - 5%	4000 кг



Рисунок 9 – Вигляд користувальницького екрану під час шихтування плавки

#### 4.2.5. ПЕРІОД ПЛАВЛЕННЯ

Задача періоду: - розплавлювання твердої шихти до рідкого стану. Тривалість періоду - 1.5 - 2.0 години.

Підвантаження шихти - після осадження шихти до рівня укосів печі Газовий пальник вмикається за 10-15 хв. після увімкнення печі і працює до моменту осадження шихти до рівня укосів. У момент відвантаження пальник виключається.

Ступені напруги	C	трум, кА	Тривалість, хв.		Присадки, кг	
14		40 - 50	5			
19		50 - 60 20 - 30				
Підвантаження шихти			5 - 10			
14		40 - 50	5			
19	50 - 40		20 - 40			
14		40 - 50	20 - 40			
Сталь	Сталь Витрата ел пері		іектроенергії за од, кВт / т р		Температура по озплавлюванню, <sup>о</sup> С	
високовуглецева	1	38000 - 42000			1500 - 1530	
середньовуглецева 3500		0 - 40000		1520 - 1560		
низьковуглецева 3500		)0 - 40000 1520 -		1520 - 1560		
Інтенсивність подачі кисню на продувку			100	0-1500 м <sup>3</sup> /година		

#### Таблиця 4 - Режими, що рекомендуються



Рисунок 10 — Вигляд користувальницького екрану під час періоду плавлення

## 4.2.6. ОКИСЛЮВАЛЬНИЙ ПЕРІОД

Задачі періоду:

- Окислювання домішок;
- Дефосфорація металу;
- Дегазація металу;

Нагрів металу до заданої температури.
 Тривалість періоду - 30-60 хв.

Окислювання вуглецю здійснюється газоподібним киснем і присадками руди.

Кількість і склад шлаку коректують присадками шлакоутворюючих і твердих окислювачів. За період повинне окислитися вуглецю: високовуглецеві не менш 0.15%, середньота низьковуглецеві сталі не менш 0.2%

Ступені напруги	струм. КА	Тривалість, хв	Присадки, кг
12	40 - 50	10 - 20	Вапно 1000 -1500
9	35 - 40	10 - 20	Руда 100-500
7	30 - 35	10 - 20	
Fe шлаку	12 - 20%	Основність шлаку	2.0 - 3.0
Витрата електроенергії за період, кВт/ година			8000 -15000
Інтенсивність подачі кисню на продувку, м <sup>3</sup> /година			2000 - 3000

#### Таблиця 5 - Режими, що рекомендуються



Рисунок 11 — Вигляд користувальницького екрану під час окислювального періоду

#### 4.2.7. ВІДНОВЛЮВАЛЬНИЙ ПЕРІОД

Задачі періоду:

- розкислення металу;
- глибока десульфурація;
- коректування хімічного складу сталі;
- доведення до заданої температури сталі.

Тривалість періоду -15-30 хв.

Період починають присадкою розкислювачів з урахуванням забезпечення нижньої межі *Mn* у готовій сталі і введення 0.15 - 0.20% *Si* 

Таблиця 6 – Режими, що рекомендуються

Ступені напруги	струм, кА	Тривалість, хв	Присадки	кг	
12	40-50	5-7	Вапно	2000 – 2500	
7	30-35	5-7	Штат	400 – 500	
5	25-35	до випуску	Коксик	100 - 150	
			Феросиліцій	50-100	
			Феромарганець	100 -200	
			Ферохром	100-200	
			Алюміній	100	
Fe шлаку	< 0.64	Основність шлаку	2.5 - 3.0		
Витрата електроенергії за період, кВт /годину			3000 - 8000		



Рисунок 12 — Вигляд користувальницького екрану під час відновлювального періоду

Проведіть випуск металу із печі, дотримуючись всіх вимог.



Рисунок 13 — Вигляд користувальницького екрану під час випуску металу

#### 4.2.9. КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПЛАВКИ ВЦІЛОМУ

В головному меню обираємо пункт «Тренажер оператора електросталеплавильного процесу». Дотримуючись вимог поетапно проводимо плавку заданої марки сталі.



Рисунок 13 — Вигляд користувальницького екрану під час роботи на тренажері

#### 4.2.10. ОЦІНЮВАННЯ ПРОВЕДЕНОЇ РОБОТИ

Після закінчення роботи в кожному етапі програма автоматично оцінює рівень Вашої підготовки та заносить отримані результати до бази даних.

DOSBox 0.61, Cpu Cycles: 250, Frameskip 0						
	восстановительный период					
	онын оцепкн - эдоолетоогителопо					
ЗНАЧЕНИЯ	МЕТАЛЛ			ШЛАК		
ПАРАМЕТРОВ	Т,град.	рад. [C],% [S],% Осн		Основность	FeO	
ФАКТИЧЕСКИЕ	1597	0.405	0.045	0.86	0.21	
ЗАДАННЫЕ	1580-1600	0.360-0.440	0.005-0.035	2.50-3.50	0.00-0.60	
HAXMUTE ANESHI KAABUUS						

Рисунок 14 — Вигляд користувальницького екрану Оцінювання рівня знань та навичок.

Всі результати викладачем після заняття переносяться до навчального журналу групи.