

Міністерство освіти і науки України  
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М.Потебні  
Запорізького національного університету

О.В. Харченко

## **ТЕОРЕТИЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ**

### **Методичні вказівки**

до комп'ютерних практичних і лабораторних занять  
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра  
спеціальності 136 “Металургія”  
освітньо-професійної програми “Металургія чорних металів”

Затверджено  
Вченою радою ЗНУ  
Протокол № від “\_\_\_” \_\_\_\_ 2024 р.

Запоріжжя 2024

УДК 669.184

X227

Харченко О.В. Теоретична оцінка ефективності доменної плавки : методичні вказівки до комп'ютерних практичних і лабораторних занять для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 136 «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія чорних металів». Запоріжжя : ЗНУ, 2024. 54 с.

Методичні вказівки містять загальні відомості про навчально-дослідницький програмний комплекс (ПК) «Excalibur» та його інтерфейс користувача, а також практичні і лабораторні роботи з вивчення техніко-економічних показників доменної плавки шляхом моделювання й оптимізації процесів виробництва чавуну за допомогою ПК «Excalibur».

Для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 136 «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія чорних металів».

Рецензент

*О.Г. Кириченко*, к.т.н., доц. кафедри МТЕТБ

Відповідальний за випуск

*Ю.О. Белоконь*, д.т.н., проф., завідувач кафедри МТЕТБ

## ВСТУП

Методичні вказівки до практичних і лабораторних занять з дисципліни «Теоретична оцінка ефективності доменної плавки» призначені для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 136 «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія чорних металів».

Метою викладання дисципліни «Теоретична оцінка ефективності доменної плавки» є формування у майбутніх металургів знань теоретичних основ і навичок щодо практичного здійснення доменного процесу, необхідних для пошуку оптимальних технологічних схем, режимів та обладнання для отримання якісних чавунів з мінімальними показниками витрат шихтових матеріалів і паливно-енергетичних ресурсів.

Завданням дисципліни є теоретична та практична підготовка студентів для оволодіння основами закономірностей процесів виплавки чавуну, що впливають на їх техніко-економічні показники; оволодіння методами проведення теоретичних та технологічних розрахунків основних техніко-економічних показників доменної плавки, а також аналізу технологічних схем та вибору максимально ефективної технології виробництва чавуну; надання студентам навичок роботи зі спеціалізованим науково-дослідним та навчальним програмним комплексом «Excalibur».

Студент повинен знати фізико-хімічні процеси, що відбуваються при виробництві чавуну; основні техніко-економічні показники доменної плавки; а також вміти за допомогою ПК «Excalibur» розраховувати оптимальні кількості шихтових матеріалів для доменної плавки за умов одно- та двосторонніх обмежень, що накладаються на наявність матеріалів, температуру, масу і склад металу, шлаку і газу, тощо.

«Теоретична оцінка ефективності доменної плавки» є фаховою дисципліною, для вивчення якої необхідні знання з наступних дисциплін: «Теорія металургійних процесів», «Хімічна термодинаміка», «Теорія і технологія виробництва чавуну».

Методичні вказівки складаються з вступу, трьох розділів, переліку літературних джерел, містять розрахунки і таблиці, що забезпечують якісне сприйняття наведеного матеріалу.

# 1. НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС «EXCALIBUR»

## 1.1. Загальні відомості

Програмний комплекс (ПК) «Excalibur» [1-3] є наукомістким продуктом, в якому реалізовані найбільш передові досягнення теорії металургійних процесів останніх трьох десятиліть. Він служить потужним інструментом дослідника та технолога, що дозволяє розробляти нові технології, програвати різні варіанти ведення плавки, позапічної обробки, розкислення, легування, десульфурзації та дефосфорації сталі і чавуну. Зокрема, у програмному комплексі реалізовано пряму та зворотну задачі термодинамічного аналізу металургійних процесів на основі методу хімічних потенціалів Гіббса та диференціальних коефіцієнтів засвоєння.

ПК «Excalibur» може використовуватися також як навчальна програма для студентів металургійних спеціальностей.

За своїми можливостями ПК «Excalibur» значно перевершує раніше створені програми термодинамічного моделювання системи «метал-шлак-газ». Його основні переваги:

- виконання термодинамічного розрахунку рівноваги у багатокомпонентній гетерогенній системі «метал-шлак-газ» з урахуванням тепла хімічних реакцій;
- проведення інтегрованого термодинамічного розрахунку кінцевої температури системи на основі ентальпійного теплового балансу;
- можливість розрахунку парціальних тисків усіх атомарних та молекулярних складових газової фази;
- обчислення та відображення всіх інтегральних та парціальних термодинамічних функцій складових системи, включаючи всі фази та окремі хімічні елементи, на основі єдиного стандарту;
- точний облік теплоти енергоносіїв та теплових втрат, температури та агрегатного стану матеріалів;
- розрахунок та наочне відображення кінетики взаємодії фаз у сталеплавильному агрегаті на основі принципів нерівноважної термодинаміки та вирішення динамічної системи диференціальних рівнянь;
- повний розрахунок плавки в дуговій сталеплавильній печі (ДСП), у тому числі: динаміки плавлення брухту, мас та хімічного складу металу, шлаку та газу, температури по ходу плавки з урахуванням

кінетичного запізнення, скачування шлаку, теплових втрат та геометричних параметрів печі;

В рамках повного та точного вирішення зворотної задачі термодинамічного моделювання ПК «Excalibur» забезпечує:

- оптимізацію мас всіляких легуючих та шихтових матеріалів (у будь-якому агрегатному стані) та витрати енергоносіїв за критеріями їх сумарної мінімальної вартості або максимальної продуктивності сталеплавильного агрегату;
- завдання та гарантоване виконання комплексу односторонніх та двосторонніх оптимізаційних обмежень за хімічним складом та масами кінцевих металу, шлаку та газу, а також масою шихтових матеріалів, витратою енергоносіїв, кінцевою температурою системи;
- застосування матричної алгебри фазових операторів та швидкодійного алгоритму двоїстого симплекс-метода;
- розрахунок та облік перехресного впливу вмісту одних елементів на засвоєння та вміст інших у кожній із фаз;
- розрахунок консолідованої матриці впливу добавок матеріалів та енергоносіїв на масу та склад фаз, а також температуру системи;
- облік невизначеності вихідних та розрахункових даних шляхом завдання відповідних довірчих інтервалів «нижня межа – верхня межа»;
- практичну реалізацію принципу ситуаційного управління процесами на основі оперативного синтезу альтернативних варіантів легування, розкислення та позапічної обробки сталі за відсутності рішення зворотної задачі у первісному вигляді.

Програмний комплекс має інтуїтивний дружній інтерфейс, що дозволяє користувачам ефективно працювати з ним, спираючись на мінімальну теоретичну підготовку у галузі металургії чорних металів та економіки. Для роботи з текстовими файлами (матеріалів тощо) потрібні також мінімальні практичні навички з інформатики.

ПК «Excalibur» захищено свідоцтвом України про реєстрацію авторського права на твір №111007 від 12.01.2022р. [3].

## **1.2. Головна форма**

Типовий вид головної форми програмного комплексу представлено на рис. 1.1.

The screenshot shows the Excalibur software interface with a main table of materials and their properties. The table is divided into several sections, with numbers 1 through 5 highlighting specific areas:

- 1**: A list of materials including FeMn, SiMn, FeSi65, FeCr100B, FeCr800B, FeCrSi33, Al-87, Coke, Si Carbide, Lining, Lime, and E/e MWh.
- 2**: A table of chemical elements (Fe, C, Si, Mn, Al, S, P, Mg, Cr, O, Ca) with columns for mass percentage, slag, gas, and heat.
- 3**: A table of gases (CO, CO2, Mn, Mg, SiO, Ca, Cr, COS, SiS, PO, S) with columns for pressure and volume.
- 4**: A table of constraints for [Mn], [Cr], [C], and [Si] with columns for specified, expected, and actual values.
- 5**: A table of mass and cost for SiMn and Al-87.

The interface also includes a menu bar, a toolbar, and a status bar at the bottom.

Рисунок 1.1 – Загальний вид головної форми ПК «Excalibur»

Елементи головної форми на рис. 1.1 позначені цифрами, які відповідають нумерації нижченаведених пунктів з поясненнями.

### 1.2.1. Таблиця матеріалів


Таблиця матеріалів 1 (рис. 1.1) містить список доступних матеріалів, які зчитуються з файлу матеріалів (MAT). Матеріали, що заборонені для використання під час оптимізації, виділені сірим кольором. З таблицею матеріалів асоційовано контекстне меню (рис.), що спливає при натисканні правої кнопки миші, що дозволяє забороняти та дозволяти матеріали окремо та в сукупності, очищати маси всіх матеріалів тощо.

У колонці мас спочатку відображаються маси рекомендованих матеріалів (у тоннах), що зчитуються з поточного завдання на плавку.

Після виконання команди **Оптимізувати** в колонці мас відображається оптимальний набір матеріалів (у тоннах), який забезпечує виконання всіх заданих обмежень. У разі вибору будь-якого альтернативного рішення у цій колонці відображається набір матеріалів, що забезпечує часткове виконання заданих обмежень.

|  |
|--|
| Заборонити FeCrSi33                    |
| Зафіксувати FeCrSi33                   |
| Задати рекомендовану масу, т           |
| Задати мінімальну масу, т              |
| Задати максимальну масу, т             |
| Задати мінімальну частку, %            |
| Задати максимальну частку, %           |
| Дозволити все                          |
| Очистити все                           |
| Поточні > Рекомендовані                |
| <input checked="" type="radio"/> Тонни |
| <input type="radio"/> Кіломолі         |

Поля колонки мас є редагованими, що дозволяє встановити довільний набір матеріалів і проплавити його командою **Проплавити** шляхом натискання функціональної клавіші F9 або кнопки ▼ на панелі інструментів.

У колонку мас можна повернути (і проплавити) матеріали, що рекомендуються в поточному завданні, командою **Проплавити рекомендовані** шляхом натискання функціональної клавіші F8 або кнопки  на панелі інструментів.

### 1.2.2. Таблиця хімічних елементів

Таблиця хімічних елементів 2 (рис. 1.1) містить список активних елементів, що формується відповідно до хімічного складу доступних матеріалів. Хімічні елементи, які не представлені в жодному з матеріалів, до списку не включаються.

Колонки **Мет** і **мас%** містять нижню і верхню межі хімічного складу металу після проплавлення або оптимізації матеріалів. Для деяких елементів (наприклад, кисню) можливе перевищення нижньої межі вмісту над верхньою межею, що відображає взаємопов'язаність хімічного складу окремих елементів.

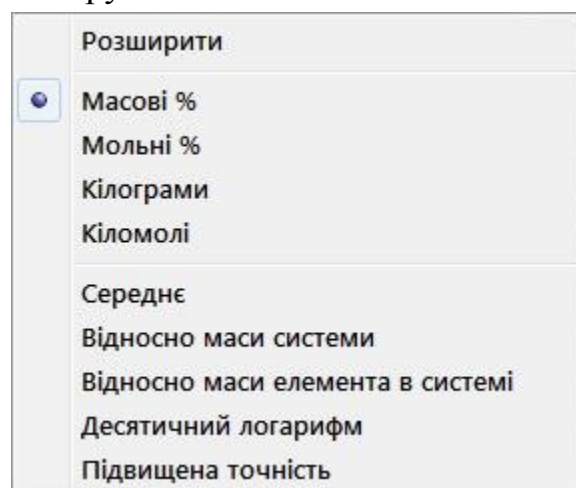
Колонки **Шлк** і **мас%** містять нижню і верхню межі хімічного складу шлаку після проплавлення або оптимізації матеріалів. За замовчуванням хімічний склад шлаку перераховується на масовий вміст оксидів елементів з позитивною валентністю. При виборі мольних відсотків, кілограмів або кіломолей (див. нижче), або за включеної опції «Елементний склад шлаку» хімічний склад шлаку в оксиди не перераховується.

Колонки **Газ** і **мас%** містять нижню і верхню межі хімічного складу газової фази після проплавлення або оптимізації матеріалів.

Хімічні склади всіх фаз за замовчуванням відображаються у вигляді відсотків за масою.

Якщо в результаті проплавлення матеріалів хімічний склад металу або шлаку не повністю відповідає заданим обмеженням, відповідні значення таблиці виділяються відтінками червоного кольору.

З таблицею елементів асоційовано спливаюче контекстне меню (рис.), активоване натисканням правої кнопки миші, що дозволяє представити хімічний склад фаз у вигляді масових відсотків (за замовчуванням), мольних відсотків, кілограмів і кіломолей. Крім того, це меню дозволяє усереднювати нижню та



верхню межі вмісту елементів у фазах і представляти відповідні величини у вигляді десяткового логарифму.

Команда контекстного меню **Розширити** дозволяє побачити в таблиці елементів додаткову інформацію про поточні термодинамічні властивості хімічних елементів у фазах, яка використовується для налаштування моделей та дослідницьких цілей. Ця інформація наведена у табл. 1.1.

**Таблиця 1.1** – Поточні термодинамічні властивості елементів у фазах

| Колонка     | Значення  |
|-------------|---|
| $\ln[K]$    | Логарифм константи рівноваги метал-шлак                             |
| $\ln[A]$    | Логарифм консолідованої константи рівноваги метал-шлак              |
| $\ln\{K\}$  | Логарифм константи рівноваги метал-газ                              |
| $\ln\{A\}$  | Логарифм консолідованої константи рівноваги метал-газ               |
| $[g_0]$     | Коефіцієнт активності в металі для нескінченно розбавленого розчину |
| $[g]$       | Коефіцієнт активності у металі                                      |
| $(g)$       | Коефіцієнт активності у шлаку                                       |
| $\{g\}$     | Коефіцієнт активності у газовій фазі                                |
| $\ln[a]$    | Логарифм активності у металі  |
| $\ln(a)$    | Логарифм активності у шлаку   |
| $\ln\{a\}$  | Логарифм активності у газовій фазі                                  |
| $[h]_{st}$  | Парціальна стандартна ентальпія в металі, кДж/моль                  |
| $[h]_{m}$   | Парціальна ентальпія змішування в металі, кДж/моль                  |
| $(h)_{m}$   | Парціальна ентальпія змішування в шлаку, кДж/моль                   |
| $\{h\}_{m}$ | Парціальна ентальпія змішування в газовій фазі, кДж/моль            |

### 1.2.3. Таблиця газів

Таблиця газів 3 (рис. 1.1) містить список активних компонентів газової фази, що формується відповідно до списку активних елементів та файлу газових термодинамічних даних (EXCALIBUR.GAS). З файлу даних зчитуються тільки гази, які містять активні елементи.

У колонках  $P \geq i$  і  $P \leq i$  зазначені нижня і верхня межі парціальних тисків компонентів газової фази в атмосферах.

На панелі опцій може бути встановлений поріг тиску відображення газів, що дозволяє не показувати в таблиці гази з нікчемним парціальним тиском.

Сума парціальних тисків газів відображається у нижній частині таблиці. Якщо немає виділення газової фази, то ця сума менша або дорівнює



зовнішньому тиску в системі. При виділенні газової фази сума парціальних тисків точно дорівнює зовнішньому тиску.

У нижній частині таблиці відображається також обсяг газу, що виділився, в кубічних метрах, приведений до нормальних умов.

#### 1.2.4. Список альтернативних рішень

При вирішенні зворотної задачі не завжди існує рішення, яке повністю відповідає всім заданим обмеженням по хімічному складу металу та шлаку, мас фаз, основності шлаку, наявності матеріалів і т.д. В такому випадку спрацьовує алгоритм пошуку альтернативних рішень шляхом послідовного зняття обмежень. Якщо в результаті зняття якого небудь обмеження знаходиться оптимальне рішення зворотної задачі, воно заноситься до списку альтернативних рішень 4 (рис. 1.1), розташованого в нижній частині головної форми.

У колонці **Зняти обмеження** відображається тип обмеження, що знімається, і вказується відповідна величина. У колонці **Задане** відображаються межі, в яких допускається зміна величини, що входить у дане обмеження. У колонці **Очікуване** відображаються очікувані нижня і верхня межі величини після зняття обмеження. У колонці **Вартість** наводиться вартість набору матеріалів даного альтернативного рішення.

Альтернативні рішення сортуються за їх вартістю у висхідному порядку.

Після пошуку альтернативних рішень автоматично відпрацьовується перше за списком рішення, що має мінімальну вартість набору матеріалів.

Пошук альтернативних рішень може тривати кілька хвилин. Хід пошуку відображається прогрес-індикатором у нижній частині панелі параметрів

Зі списку альтернативних рішень користувач може вибрати будь-яке на власний розсуд шляхом наведення покажчика миші на відповідний рядок списку і наступним натисканням лівої кнопки. Вибране альтернативне рішення зліва відзначається символом ►.

Набір матеріалів, що відповідає обраному альтернативному рішенню, відображається в таблиці матеріалів. Цей набір автоматично проплавляється, а складу фаз, що утворюються, відображаються в таблицях елементів і газів.

#### 1.2.5. Панель параметрів

Панель параметрів 5 розташована у лівій частині головної форми (рис. 1.1). Нижче наведено елементи панелі параметрів та їх функціональне значення.

**Тиск, атм.** Зовнішній тиск у системі в атмосферах. Поле є редагованим і дозволяє встановити тиск на розсуд користувача в діапазоні  $3 \cdot 10^{-4}$  до  $10^6$  атм. За замовчуванням тиск приймається рівним 1 атм.

**Темп. поч., °С.** Початкова температура системи. Якщо в поточному завданні на плавку не вказано початкову температуру системи, вона за замовчуванням приймається рівною 1600 °С. У такому разі це поле стає редагованим і дозволяє задати цю величину на розсуд користувача, не відкриваючи редактор завдання.

**Темп. кінц., °С.** Кінцева температура системи у стані рівноваги. Якщо в опціях заданий розрахунок температури (точний або спрощений), то в цьому полі відображається кінцева температура системи, яка отримується в результаті розв'язання узагальненої прямої задачі. В іншому випадку температура, що відображається, буде співпадати з початковою температурою системи.

**Метал, т.** Нижня і верхня межі маси металу в стані рівноваги, т.

**Шлак, т.** Нижня і верхня межі маси шлаку в стані рівноваги, т.

**Основність ш.** Нижня і верхня межі основності шлаку в стані рівноваги. Основність розраховується як частка від поділу  $[(CaO)+(MgO)]/(SiO_2)$ .

**Газ, т.** Нижня і верхня межі маси газової фази в стані рівноваги, т.

**НВ, кг.** Нижня і верхня межі маси неметалевих включень, кг.


**Маса ШМ, т.** Маса набору завантажених шихтових матеріалів, т.











**Вартість ШМ.** Вартість набору завантажених шихтових матеріалів в одиницях цін, зазначених у файлі матеріалів.

### 1.2.6. Панель інструментів

Панель інструментів 6 (рис. 1.1) містить кнопки, за допомогою яких у програмі виконуються основні дії. Як правило, команди, які виконуються при натисканні кнопок панелі інструментів, доступні також у головному меню та за допомогою натискання певних сполучень «гарячих» клавіш. У наведеній нижче таблиці наведено команди, доступні в панелі інструментів.

**Таблиця 1.2** – Кнопки панелі інструментів, відповідні пункти меню та сполучення «гарячих» клавіш

| Кнопка  | Пункт меню          | Сполучення клавіш | Функціональне призначення |
|---|---------------------|-------------------|---------------------------|
|  | Файл → Новий проект | Ctrl-N            | Розпочати новий проект.   |

|   |   |        |  |
|---|---|--------|--|
|    | Файл → Відкрити проект                      | Ctrl-O | Відкрити файл проекту (FWP).   |
|    | Файл → Зберегти проект                      | Ctrl-S | Зберегти файл проекту (FWP).   |
|    | Файл → Друкувати проект                     | Ctrl-P | Надрукувати головну форму проекту.   |
|    | Матеріали → Проплавити рекомендовані        | F8     | Проплавити рекомендовані матеріали із поточного завдання.  |
|    | Матеріали → Проплавити                      | F9     | Проплавити матеріали, задані у таблиці матеріалів.   |
|    | Оптимізація → Почати                        | F10    | Оптимізувати та проплавити матеріали відповідно до обмежень, заданих у поточному завданні на плавку. |
|    | Оптимізація → Зупинити                      |        | Зупинити процес оптимізації  |
|    | Графіки → Кінетика релаксації               | Ctrl-K | Включити модуль кінетики руху до рівноважного стану.   |
|  | Графіки → Моделювання електродугової плавки | F4     | Включити модуль моделювання електродугової плавки.   |
|  |   |        | Помістити головну форму зверху всіх вікон.   |

### 1.2.7. Головне меню

Головне меню 7 (рис. 1.1) містить комплекс команд, які виконуються за допомогою вибору користувачем пунктів головного меню. У таблиці нижче наведено структуру меню та функціональне призначення відповідних команд.

**Таблиця 1.3 – Структура та команди головного меню**

| Верхній рівень | Перший рівень   | Другий рівень / сполучення клавіш | Функціональне призначення                          |  |
|----------------|-----------------|-----------------------------------|--|--|
| Файл           | Новий проект    | Ctrl-N                            | Розпочати новий проект.                            |  |
|                | Відкрити проект | Ctrl-O                            | Відкрити файл проекту (FWP).                       |  |
|                | Відкрити файл   | Константи                         |  | Відкрити файл констант (CON).          |
|                |                 | Матеріали                         |  | Відкрити файл матеріалів (MAT).        |
|                |                 | Завдання                          |  | Відкрити файл завдань на плавку (TSK). |
|                | Шаблон плавки   |                                   | Відкрити файл шаблону електродугової плавки (HEA). |  |

|             |                                   |        |  |
|-------------|-----------------------------------|--------|--|
|             | Зберегти проєкт                   | Ctrl-S | Зберегти проєкт у вигляді файлу (FWP).   |
|             | Зберегти проєкт як                |        | Зберегти проєкт як файл (FWP) з ім'ям, відмінним від імені поточного проєкту.                        |
|             | Друкувати проєкт                  | Ctrl-P | Друкувати головну форму проєкту.   |
|             | Вихід                             |        | Завершити роботу програми.   |
| Матеріали   | Відкрити файл матеріалів          |        | Відкрити файл матеріалів (MAT).  |
|             | Проплавити рекомендовані          | F8     | Проплавити рекомендовані матеріали із поточного завдання.  |
|             | Проплавити поточні                | F9     | Проплавити матеріали, задані у таблиці матеріалів.   |
|             | Властивості                       |        | Відкрити форму властивостей використуваних матеріалів.   |
| Завдання    | Редактор завдання                 | F5     | Відкрити редактор завдання на плавку.  |
|             | Відкрити файл завдань             |        | Відкрити файл завдань на плавку (TSK).   |
|             | Виключити завдання із проєкту     |        | Виключити поточний файл завдань із проєкту.  |
| Оптимізація | Оптимізувати матеріали            | F10    | Оптимізувати та проплавити матеріали відповідно до обмежень, заданих у поточному завданні на плавку. |
|             | Зупинити                          |        | Зупинити процес оптимізації матеріалів.  |
| Графіки     | Крива електронейтральності        | F7     | Вивести графік (Заряд шлаку) vs (Рівень Фермі електронів).   |
|             | Кінетика релаксації               | Ctrl-K | Включити модуль кінетики руху до рівноважного стану.   |
|             | Моделювання електродугової плавки | F4     | Включити модуль моделювання електродугової плавки.   |
| Опції       |                                   |        | Відкрити діалогове вікно опцій.  |
| Довідка     | Інструкція користувача            | F1     | Відкрити інструкцію користувача.   |
|             | Реєстрація...                     |        | Реєстрація програми.   |
|             | Про програму                      |        | Відкрити панель з короткими відомостями про програму.  |

### 1.2.8. Статусний рядок

Статусний рядок 8 розташований у нижньому краї головної форми (рис. 1.1). Він має кілька розділів із текстовою інформацією про режими

роботи програми. У таблиці нижче наведено список розділів статус-рядка та їх зміст.

**Таблиця 1.4 – Розділи статусного рядка та їх зміст**

| Розділ          | Зміст  |
|-----------------|--|
| Ітерацій        | Кількість зовнішніх ітерацій, витрачених на пошук оптимального набору матеріалів, або внутрішніх ітерацій витрачених на розрахунок прямої задачі.  |
| Час розрахунку  | Час розрахунку (с) проплавлення або оптимізації матеріалів.  |
| $\mu/RT$        | Нижня та верхня межі рівноважного значення рівня Фермі електронів у шлаку в одиницях $RT$ .  |
| Склад фаз       | Одиниці вимірювання складів фаз: масові %, мольні %, кілограми або кіломолі.   |
| *.MAT           | Поточний файл матеріалів.  |
| Тепл. ефект     | Тепловий ефект хімічних реакцій у МДж – нижній та верхній межі. При спрощеному розрахунку та за відсутності розрахунку температури тепловий ефект обчислюється при початковій температурі системи. |
| Ньютон / Ланцюг | Метод вирішення системи рівнянь прямої задачі – Ньютона або ланцюжковий (прості ітерації).   |

### 1.2.9. Випадаючий список вибору файлу завдань

Випадаючий список 9 (рис. 1.1) служить для швидкого вибору файлу завдань (TSK) на плавку у рамках поточного проєкту. У результаті вибору відкривається завдання, запам'ятоване в результаті останнього збереження проєкту під час роботи з даним файлом завдань. Рекомендовані матеріали відкритого завдання автоматично проплавляються.

Вибір файлу завдань у такий спосіб еквівалентний відкриттю файлу завдань з головного меню одним із двох способів, зазначених у табл. 1.3.

### 1.2.10. Випадаючий список вибору завдання на плавку

Випадаючий список 10 (рис. 1.1) служить для швидкого вибору завдання на плавку в рамках поточного файлу завдань і поточного проєкту. За допомогою цього елемента головної форми користувач може перейти до іншого завдання на плавку зі списку завдань поточного файлу TSK, не відкриваючи редактор завдань. Рекомендовані матеріали відкритого таким чином завдання автоматично проплавляються.

## 1.3. Редактор завдання на плавку

Вид форми редактора завдання на плавку наведено на рис. 1.2.

Файл завдань - FCPORM.TSK

12MnSi4-3 | 18Mn2 | 8Mn2 | 14MnCrSi4-3-2 | 30MnSi4-3 | 9MnSi6-3 | 9MnSi6-3-E | 14MnCrSi4-3-2i

| N | Матеріал   | Реком | Фікс | Мін т | Макс т | Мін % | Макс% |
|---|------------|-------|------|-------|--------|-------|-------|
| 1 | FeMn       |       |      |       | 1,5    |       |       |
| 2 | SiMn       | 2,5   |      |       |        |       |       |
| 3 | Lining     |       | 0,1  |       |        |       |       |
| 4 | Si Carbide |       |      |       |        |       | 3     |
| 5 | Coke       | 0,1   |      |       | 0,1    |       |       |
| 6 | FeSi65     | 1     |      |       |        |       |       |
| 7 | E/e MWh    |       |      |       | 1      |       |       |

| N  | Ел | Мет>= | Мет<= | Проба | Шлк>= | Шлк<= | Проба |
|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | Fe |       |       |       |       |       | 25    |
| 2  | C  | 0,11  | 0,16  | 0,08  |       |       |       |
| 3  | Si | 0,4   | 0,7   | 0,01  |       |       | 20    |
| 4  | Mn | 0,9   | 1,3   | 0,05  |       |       | 5     |
| 5  | Cr | 0,5   | 0,8   | 0,05  |       |       |       |
| 6  | S  |       | 0,035 | 0,03  |       |       | 0,1   |
| 7  | P  |       | 0,035 | 0,015 |       |       | 0,4   |
| 8  | Ca |       |       |       |       |       | 45    |
| 9  | Mg |       |       |       |       |       | 3     |
| 10 | Al | 0,02  |       |       |       |       | 1,5   |
| 11 | O  |       |       | 0,055 |       |       |       |
| 12 |    |       |       |       |       |       |       |

Мін / Макс М мет.    Відома поч. М мет.  
     147 - 151

Мін / Макс М шл.    Відома поч. М шлаку  
     1,25 - 2,5

Мін / Макс осн-ть    Т-ра н.серед    Заряд  
     30   

Мін / Макс М газу    Поч. т-ра, °C    Р, атм  
     1620    1,5

Мін / Макс т-ра, °C    Q+, МДж    Q-, МДж  
 1600       

Відміна    Довідка    Прийняти

Рисунок 1.2 – Форма редактора завдання на плавку

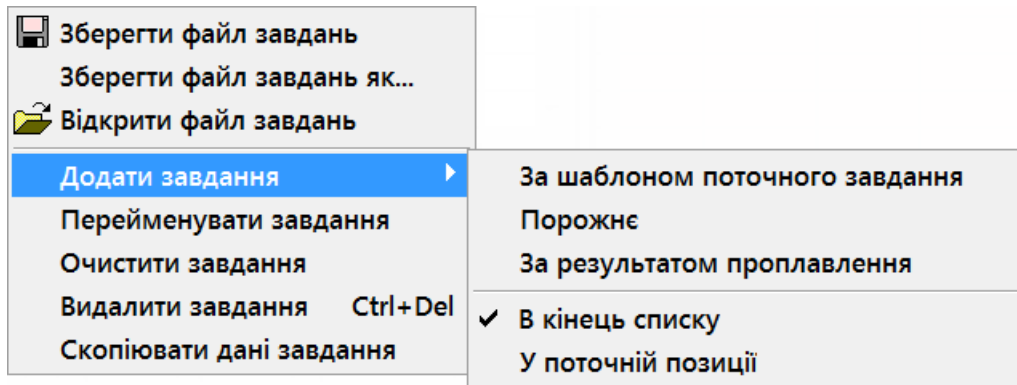
Елементи форми редактора завдання на рис. 1.2 позначені цифрами, які відповідають нумерації нижченаведених пунктів з поясненнями.

Редактор завдання на плавку викликається вибором меню **Завдання** → **Редактор завдання** або натисканням функціональної клавіші F5. Поля форми редактора завдання автоматично заповнюються даними із поточного завдання на плавку.

Всі поля форми редактора завдання редагуються і можуть використовуватися для завдання всіляких обмежень до зворотної задачі та вихідних даних до прямої задачі. Активний елемент форми підсвічується білим кольором, тоді як решта має сірий відтінок.

Внесені зміни або приймаються натисканням кнопки **Прийняти** з наступним проплавленням рекомендованих матеріалів, або скасовуються натисканням кнопки **Скасувати**.

Форма редактора завдання має спливаюче контекстне меню (рис. 1.3), що активується натисканням правої кнопки миші. З його допомогою виконуються різноманітні дії над завданнями.



**Рисунок 1.3** – Контекстне спливаюче меню форми редактора завдання

У табл. 1.5 наведено структуру контекстного меню та функціональне призначення відповідних команд.

**Таблиця 1.5** – Структура та команди контекстного меню редактора завдання

| Перший рівень          | Другий рівень / сполучення клавіш | Функціональне призначення   |
|------------------------|-----------------------------------|---|
| Зберегти завдання      |                                   | Зберегти всі завдання на плавку у поточному файлі завдань (TSK).  |
| Зберегти завдання як   |                                   | Зберегти всі завдання на плавку у файлі завдань (TSK) з ім'ям, відмінним від імені поточного файлу завдань.                                 |
| Відкрити завдання      |                                   | Відкрити файл завдань на плавку (TSK).  |
| Додати завдання        | За шаблоном поточного завдання    | Додати нове завдання на плавку, копіюючи всі дані поточного завдання.   |
|                        | Порожнє                           | Додати нове порожнє завдання на плавку.   |
|                        | За результатом проплавлення       | Додати нове завдання на плавку з параметрами вихідних металу та шлаку, отриманими внаслідок проплавлення чи оптимізації поточного завдання. |
|                        | В кінець списку                   | Завдання, що додається, поміщати в кінець списку завдань.   |
|                        | У поточній позиції                | Завдання, що додається, поміщати в поточну позицію списку завдань.  |
| Перейменувати завдання |                                   | Перейменувати поточне завдання на плавку.   |
| Очистити завдання      |                                   | Очистити поточне завдання на плавку.  |
| Видалити завдання      | <b>Ctrl-Del</b>                   | Видалити поточне завдання на плавку зі списку завдань.  |

|                         |  |  |
|-------------------------|--|--|
| Копіювати дані завдання |  | Скопіювати дані з поточного завдання до всіх наступних завдань: вихідну масу і пробу шлаку, обмеження по масі газу, список всіх матеріалів, список контрольованих елементів. |
|-------------------------|--|--|

### 1.3.1. Таблиця обмежень складу металу

У колонках **Мет >=** та **Мет <=** таблиці 1 (рис. 1.2) задаються нижнє та верхнє обмеження вмісту елементів у металі в масових відсотках. Якщо обмеження відсутнє, відповідний осередок має бути порожнім. Як правило, немає необхідності задавати обмеження щодо вмісту заліза.

У колонці **Проба** задається хімічний аналіз проби вихідного металу в масових відсотках. Якщо в пробі металу немає значення окисленості [O] і в опціях встановлено прапорець «Автоматично оцінювати [O] на випуску», то в наступних розрахунках це значення розраховується автоматично за рівновагою в підсистемі «метал-газ». Відсутність даних про вміст інших елементів, крім заліза, інтерпретується як вміст даного елемента в металі лише на рівні слідів. Вміст заліза у пробі металу ігнорується.

### 1.3.2. Таблиця обмежень складу шлаку

У колонках **Шлк >=** і **Шлк <=** таблиці 2 (рис. 1.2) задаються нижнє і верхнє обмеження вмісту елементів у шлаку в масових відсотках. Якщо обмеження відсутнє, відповідний осередок має бути порожнім. Як правило, немає необхідності задавати обмеження щодо вмісту кисню.

У колонці **Проба** задається хімічний аналіз проби вихідного шлаку в масових відсотках. Відсутність даних про вміст елемента в пробі шлаку, крім кисню, інтерпретується як вміст елемента в шлаку на рівні слідів. Вміст кисню у пробі шлаку ігнорується.

За замовчуванням хімічний склад шлаку в таблиці визначається у вигляді масових відсотків оксидів для елементів з позитивною валентністю і масових відсотків інших елементів. При включеній опції «Елементний склад шлаку» хімічний склад шлаку визначається масовими відсотками для усіх елементів.

### 1.3.3. Таблиця обмежень за матеріалами

Таблиця 3 (рис. 1.2) у колонці **Матеріал** містить перелік контрольованих матеріалів, тобто матеріалів, на які накладено будь-які обмеження. Усі маси задаються у тоннах.

У колонці **Реком** задаються рекомендовані маси матеріалів, які автоматично проплавляються при відкритті завдання на плавку будь-яким способом. Ці маси не впливають на результат оптимізації матеріалів, але



водночас використовуються як перше наближення, якщо вимкнено опцію «Автоматичний пошук поч. наближення у зворотній задачі». Користувач може використовувати це поле, наприклад, для завдання фактичної віддачі матеріалів у цій плавці.

У колонці **Фікс** задаються обов'язкові матеріали, тобто матеріали із фіксованою масою. При оптимізації маси цих матеріалів залишаються незмінними. Фіксована маса матеріалів, заборонених для використання при оптимізації, дорівнює нулю.

У колонках **Мін т** і **Макс т** задаються відповідно мінімальна та максимальна маса матеріалів. Наприклад, залишок даного матеріалу на складі або в бункері може бути вказаний у полі **Макс т**.

У колонках **Мін %** і **Макс %** задаються відповідно мінімально та максимально допустимий відсоток даного матеріалу в загальній масі матеріалів, що завантажуються. Наприклад, при розрахунку завалки можна задати відсоток вмісту легковагової стружки у певному інтервалі.

#### 1.3.4. Панель інших обмежень та вихідних даних

Панель 4 (рис. 1.2) містить кілька редагованих полів, що використовуються у прямій та зворотній задачах. Значення цих полів вказані у табл. 1.6.

**Таблиця 1.6** – Редаговані поля завдання на плавку

| Поле              | Значення  |
|-------------------|---|
| Від. поч. М мет.  | Відома початкова маса металу – нижня і верхня межі, тонн. Задається обов'язково при легуванні.  |
| Від. поч. М шл.   | Відома початкова маса шлаку – нижня і верхня межі, тонн. Задається обов'язково при легуванні.   |
| Мін / макс М мет. | Мінімально та максимально допустима маса металу, тонн. Задається обов'язково при розрахунку завалки.  |
| Мін / макс М шл.  | Мінімально та максимально допустима маса шлаку, тонн.   |
| Мін / макс осн-ть | Мінімально та максимально допустима основність шлаку.   |
| Мін / макс М газу | Мінімально та максимально допустима маса газу, тонн. Задається при розкисленні киплячої та напівспокійної сталі.  |
| Мін / макс т-ра   | Мінімально та максимально допустима температура, °С.  |
| Т-ра докілья      | Температура докілья, °С. За замовчуванням приймається 20 °С. Має істотне значення для кінцевої температури системи, якщо маси матеріалів, що завантажуються, великі, наприклад, при розрахунку завалки. |
| Відома поч. т-ра  | Відома початкова температура металу та шлаку, °С. Якщо температура не вказана, вона за замовчуванням дорівнює 1600 °С. Ця величина копіюється у полі <b>Темп. поч.</b> , на головній формі              |

|           |   |
|-----------|---|
|           | програми.                                       |
| Qe, МДж   | Прихід енергії до системи з енергоносіями, МДж. |
| Qвтр, МДж | Теплові втрати, МДж.                            |

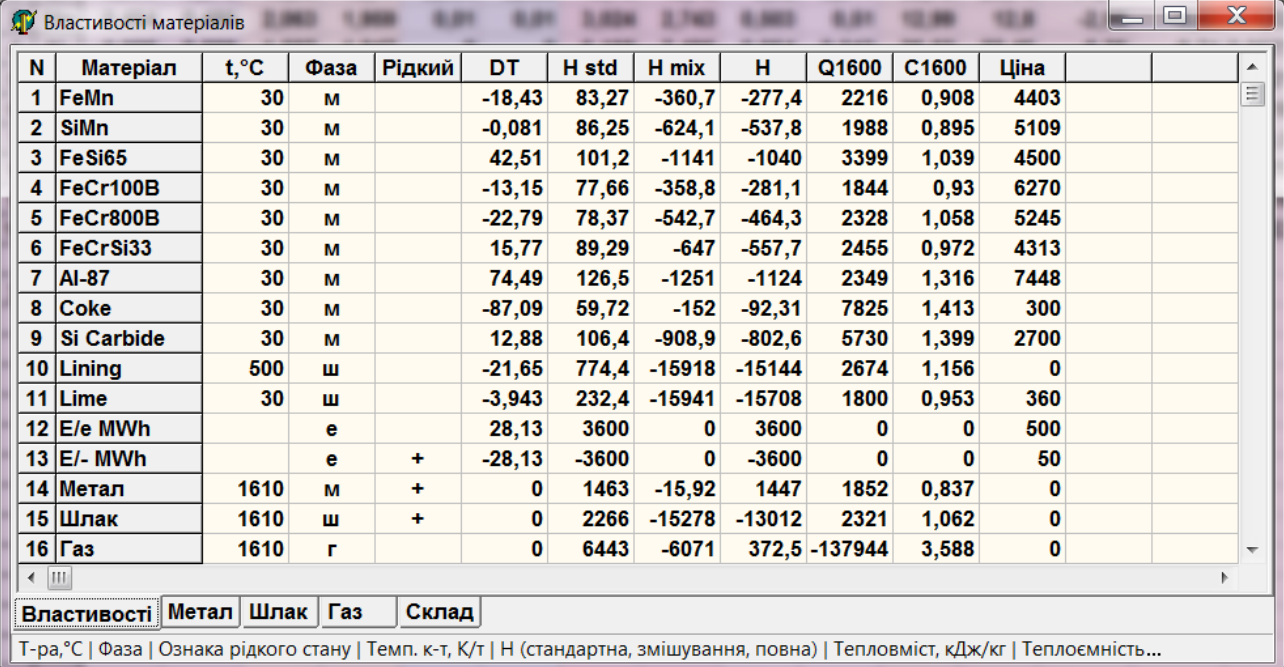
### 1.3.5. Елемент управління вкладками

У верхній частині форми редактора завдання на плавку знаходиться елемент керування вкладками 5 (рис. 1.2), за допомогою якого користувач може швидко перейти до іншого завдання на плавку. Кожна вкладка відповідає своїм завданням. Перехід до іншого завдання синхронізований зі списком вибору завдання на плавку, розташованим на головній формі.

Усі зміни, внесені користувачем у будь-якому завданні, зберігаються, якщо не було натиснуто кнопку **Скасувати**. Таким чином можна редагувати ряд завдань, не закриваючи форму редактора завдання.

## 1.4. Ефективність матеріалів

На формі ефективності матеріалів (рис. 1.4, а-д) відображаються основні теплофізичні властивості матеріалів, а також зміна маси і хімічного складу фаз (у кілограмах або масових відсотках) при додаванні в систему одиниці маси матеріалу. Ця форма доступна за допомогою меню **Матеріали** → **Властивості**. Перемикання між металом, шлаком та газом здійснюється за допомогою контекстного меню або натисканням на вкладки.



| N  | Матеріал   | t, °C | Фаза | Рідкий | DT     | H std | H mix  | H      | Q1600   | C1600 | Ціна |
|----|------------|-------|------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|-------|------|
| 1  | FeMn       | 30    | м    |        | -18,43 | 83,27 | -360,7 | -277,4 | 2216    | 0,908 | 4403 |
| 2  | SiMn       | 30    | м    |        | -0,081 | 86,25 | -624,1 | -537,8 | 1988    | 0,895 | 5109 |
| 3  | FeSi65     | 30    | м    |        | 42,51  | 101,2 | -1141  | -1040  | 3399    | 1,039 | 4500 |
| 4  | FeCr100B   | 30    | м    |        | -13,15 | 77,66 | -358,8 | -281,1 | 1844    | 0,93  | 6270 |
| 5  | FeCr800B   | 30    | м    |        | -22,79 | 78,37 | -542,7 | -464,3 | 2328    | 1,058 | 5245 |
| 6  | FeCrSi33   | 30    | м    |        | 15,77  | 89,29 | -647   | -557,7 | 2455    | 0,972 | 4313 |
| 7  | Al-87      | 30    | м    |        | 74,49  | 126,5 | -1251  | -1124  | 2349    | 1,316 | 7448 |
| 8  | Coke       | 30    | м    |        | -87,09 | 59,72 | -152   | -92,31 | 7825    | 1,413 | 300  |
| 9  | Si Carbide | 30    | м    |        | 12,88  | 106,4 | -908,9 | -802,6 | 5730    | 1,399 | 2700 |
| 10 | Lining     | 500   | ш    |        | -21,65 | 774,4 | -15918 | -15144 | 2674    | 1,156 | 0    |
| 11 | Lime       | 30    | ш    |        | -3,943 | 232,4 | -15941 | -15708 | 1800    | 0,953 | 360  |
| 12 | E/e MWh    |       | e    |        | 28,13  | 3600  | 0      | 3600   | 0       | 0     | 500  |
| 13 | E/- MWh    |       | e    | +      | -28,13 | -3600 | 0      | -3600  | 0       | 0     | 50   |
| 14 | Метал      | 1610  | м    | +      | 0      | 1463  | -15,92 | 1447   | 1852    | 0,837 | 0    |
| 15 | Шлак       | 1610  | ш    | +      | 0      | 2266  | -15278 | -13012 | 2321    | 1,062 | 0    |
| 16 | Газ        | 1610  | г    |        | 0      | 6443  | -6071  | 372,5  | -137944 | 3,588 | 0    |

Властивості: **Метал** Шлак Газ Склад

T-ра, °C | Фаза | Ознака рідкого стану | Темп. к-т, К/т | H (стандартна, змішування, повна) | Тепловміст, кДж/кг | Теплоємність...

а)

Дія матеріалів на поточний метал

| N  | Матеріал   | Маса   | [Fe]   | [C]    | [Si]   | [Mn]   | [Al]   | [S]    | [P]    | [Mg]   | [Cr]  | [O]    | [Ca]    |
|----|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|---------|
| 1  | FeMn       | 813,6  | 120,1  | 46,57  | 3,182  | 644,8  | -0,449 | 0,208  | 6,295  | -0,008 | 0     | -7,218 | 0       |
| 2  | SiMn       | 824,3  | 193,2  | 44,25  | 93,61  | 493,5  | 0,795  | -0,208 | 5,766  | 0,004  | 0     | -6,575 | 0       |
| 3  | FeSi65     | 885,6  | 341,1  | 99,72  | 410,6  | 42,97  | 5,535  | -1,55  | 1,586  | 0,043  | 0     | -14,41 | 0,0001  |
| 4  | FeCr100B   | 930,6  | 293,7  | 16,49  | -9,441 | -3,213 | -0,522 | 0,291  | 0,215  | -0,009 | 635,5 | -2,301 | 0       |
| 5  | FeCr800B   | 916,5  | 235    | 48,3   | 2,217  | 2,728  | -0,297 | 0,277  | 0,303  | -0,009 | 635,5 | -7,441 | 0       |
| 6  | FeCrSi33   | 908,3  | 226,5  | 58,68  | 205,9  | 20,17  | 2,77   | -0,807 | 0,458  | 0,018  | 403,1 | -8,377 | 0       |
| 7  | Al-87      | 516,3  | 24,76  | 132,9  | 216,5  | 43,62  | 119,1  | -2,66  | 0,783  | 0,074  | 0     | -18,74 | 0,0001  |
| 8  | Coke       | 500,1  | 52,13  | 305,2  | 121,7  | 59,81  | 2,615  | 6,09   | 0,89   | 0,004  | 0     | -48,37 | -0,0001 |
| 9  | Si Carbide | 835,9  | 43,84  | 241    | 510,6  | 70,66  | 7,675  | -2,093 | 1,117  | 0,054  | 0     | -36,98 | 0,0001  |
| 10 | Lining     | -35,01 | -9,216 | -4,5   | 20,25  | -40,03 | -0,577 | -0,775 | -0,326 | 0,028  | 0     | 0,135  | -0,0001 |
| 11 | Lime       | -86,28 | -22,59 | 36,94  | -53,37 | -40    | -1,217 | -0,599 | 0,32   | 0,003  | 0     | -5,77  | 0       |
| 12 | E/e MWh    | 36,85  | 2,299  | -22,64 | 39,44  | 11,59  | 2,077  | -0,158 | 0,075  | 0,022  | 0     | 4,134  | 0       |
| 13 | E/- MWh    | -36,85 | -2,299 | 22,64  | -39,44 | -11,59 | -2,077 | 0,158  | -0,075 | -0,022 | 0     | -4,134 | 0       |
| 14 | Метал      | 1000   | 991,7  | 1,528  | 1,212  | 4,657  | 0,037  | 0,404  | 0,205  | 0,0003 | 0     | 0,245  | 0       |
| 15 | Шлак       | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      | 0       |
| 16 | Газ        | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0     | 0      | 0       |

Властивості  Метал  Шлак  Газ  Склад

Зміна маси фази (кг) та її складу (кг) при додаванні 1т матеріалу

б)

Дія матеріалів на поточний шлак

| N  | Матеріал   | Маса   | (FeO)  | (C) | (SiO2) | (MnO)  | (Al2O3) | (S)    | (P2O5) | (MgO)  | (Cr2O3) | (O)    | (CaO)   |
|----|------------|--------|--------|-----|--------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| 1  | FeMn       | 89,3   | -5,595 | 0   | 5,711  | 88,28  | 0,848   | 0,062  | 0,012  | 0,02   | 0       | 22,03  | 0,0001  |
| 2  | SiMn       | 179,5  | -6,167 | 0   | 127    | 60,08  | -1,502  | 0,478  | -0,221 | 0,015  | 0       | 78,72  | 0,0001  |
| 3  | FeSi65     | 361,6  | -22,65 | 0   | 442,6  | -47,39 | -10,46  | 1,836  | -1,457 | -0,037 | 0       | 213,1  | 0       |
| 4  | FeCr100B   | 51,66  | 0,472  | 0   | 40,53  | 5,4    | 3,679   | -0,053 | 0,052  | 0,03   | 1,523   | 25,19  | 0,0001  |
| 5  | FeCr800B   | 11,28  | -6,632 | 0   | 15,58  | -2,297 | 3,254   | -0,039 | -0,149 | 0,018  | 1,523   | 8,194  | 0,0001  |
| 6  | FeCrSi33   | 205,6  | -11,26 | 0   | 240,4  | -21,68 | -2,54   | 0,902  | -0,723 | -0,006 | 0,954   | 118,8  | 0,0001  |
| 7  | Al-87      | 621,6  | -21,79 | 0   | -403,2 | -56,17 | 1090    | 2,662  | -1,794 | 13,18  | 0       | 283,6  | -0,0001 |
| 8  | Coke       | -412,7 | -67,97 | 0   | -260,4 | -77,48 | -4,941  | 0,283  | -1,943 | -0,134 | 0       | -175,6 | -0,0005 |
| 9  | Si Carbide | 174,2  | -57,1  | 0   | 338,7  | -91,23 | -14,5   | 2,093  | -2,558 | -0,118 | 0       | 137,2  | -0,0003 |
| 10 | Lining     | 1023   | 37,32  | 0   | 606,7  | 71,7   | 56,09   | 0,775  | 0,747  | 99,94  | 0       | 456,8  | 150     |
| 11 | Lime       | 1187   | 29,44  | 0   | 144,2  | 51,71  | 24,3    | 1,099  | 0,413  | 46,02  | 0       | 378,6  | 890     |
| 12 | E/e MWh    | -106,5 | -3,014 | 0   | -84,4  | -15,02 | -3,925  | 0,157  | -0,173 | -0,069 | 0       | -51,09 | -0,0003 |
| 13 | E/- MWh    | 106,5  | 3,014  | 0   | 84,4   | 15,02  | 3,925   | -0,157 | 0,173  | 0,069  | 0       | 51,09  | 0,0003  |
| 14 | Метал      | 0      | 0      | 0   | 0      | 0      | 0       | 0      | 0      | 0      | 0       | 0      | 0       |
| 15 | Шлак       | 1000   | 31,21  | 0   | 332,2  | 58,14  | 35,9    | 0,936  | 0,515  | 39,49  | 0       | 372,9  | 502,1   |
| 16 | Газ        | 0      | 0      | 0   | 0      | 0      | 0       | 0      | 0      | 0      | 0       | 0      | 0       |

Властивості  Метал  Шлак  Газ  Склад

Зміна маси фази (кг) та її складу (кг) при додаванні 1т матеріалу

в)

Дія матеріалів на поточний газ

| N  | Матеріал   | Маса   | {Fe}   | {C}    | {Si}   | {Mn}   | {Al} | {S}     | {P}     | {Mg}   | {Cr}   | {O}    | {Ca}    |
|----|------------|--------|--------|--------|--------|--------|------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|
| 1  | FeMn       | -2,856 | -0,004 | 11,93  | -0,001 | 0,042  | 0    | 0       | 0       | -0,004 | 0      | -14,82 | -0,0001 |
| 2  | SiMn       | -103,8 | -0,013 | -31,65 | -0,003 | -0,002 | 0    | -0,0004 | 0       | -0,013 | 0      | -72,14 | -0,0001 |
| 3  | FeSi65     | -297,1 | -0,029 | -98,29 | 0,005  | -0,095 | 0    | -0,001  | -0,0002 | -0,021 | 0      | -198,7 | -0,0001 |
| 4  | FeCr100B   | -32,3  | -0,007 | -9,368 | -0,005 | -0,019 | 0    | -0,0002 | 0       | -0,009 | 0,0002 | -22,89 | -0,0001 |
| 5  | FeCr800B   | 22,19  | -0,002 | 22,95  | 0,0007 | 0,0005 | 0    | 0       | 0       | -0,002 | 0,0002 | -0,752 | 0       |
| 6  | FeCrSi33   | -163,9 | -0,018 | -53,46 | 0,0005 | -0,056 | 0    | -0,0006 | -0,0001 | -0,015 | 0,0001 | -110,4 | -0,0001 |
| 7  | Al-87      | -397,9 | -0,034 | -132,9 | -0,015 | -0,121 | 0    | -0,001  | -0,0002 | -0,022 | 0      | -264,8 | -0,0001 |
| 8  | Coke       | 540,3  | 0,055  | 316    | 0,055  | 0,195  | 0    | 0,002   | 0,0003  | 0,077  | 0      | 223,9  | 0,0004  |
| 9  | Si Carbide | -55,08 | -0,002 | 45,05  | 0,033  | -0,003 | 0    | -0,0001 | 0       | 0,017  | 0      | -100,2 | 0,0001  |
| 10 | Lining     | 12,16  | -0,003 | 4,5    | 0,001  | -0,007 | 0    | 0       | 0       | 0,011  | 0      | 7,654  | -0,0001 |
| 11 | Lime       | -111,4 | -0,015 | -36,94 | -0,014 | -0,049 | 0    | -0,0004 | -0,0001 | -0,015 | 0      | -74,33 | -0,0001 |
| 12 | E/e MWh    | 69,67  | 0,015  | 22,64  | 0,011  | 0,04   | 0    | 0,0003  | 0,0001  | 0,02   | 0      | 46,95  | 0,0002  |
| 13 | E/- MWh    | -69,67 | -0,015 | -22,64 | -0,011 | -0,04  | 0    | -0,0003 | -0,0001 | -0,02  | 0      | -46,95 | -0,0002 |
| 14 | Метал      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0    | 0       | 0       | 0      | 0      | 0      | 0       |
| 15 | Шлак       | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0    | 0       | 0       | 0      | 0      | 0      | 0       |
| 16 | Газ        | 1000   | 0,131  | 424,6  | 0,093  | 0,403  | 0    | 0,004   | 0,0006  | 0,144  | 0      | 574,7  | 0,001   |

Властивості | Метал | Шлак | Газ | Склад

Зміна маси фази (кг) та її складу (кг) при додаванні 1т матеріалу

з)

Хімічний склад матеріалів

| N  | Матеріал   | Ф/засв | Fe    | C     | Si    | Mn    | Al    | S      | P      | Mg    | Cr   | O     | Ca     |
|----|------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|------|-------|--------|
| 1  | FeMn       | 0,9    | 12,87 | 6,5   | 0,65  | 79,25 | 0     | 0,03   | 0,7    | 0     | 0    | 0     | 0      |
| 2  | SiMn       | 0,9    | 20,94 | 1,4   | 17    | 60    | 0     | 0,03   | 0,63   | 0     | 0    | 0     | 0      |
| 3  | FeSi65     | 0,95   | 34,07 | 0,15  | 65    | 0,65  | 0     | 0,03   | 0,1    | 0     | 0    | 0     | 0      |
| 4  | FeCr100B   | 0,95   | 30,95 | 0,75  | 1     | 0,1   | 0,15  | 0,025  | 0,025  | 0     | 67   | 0     | 0      |
| 5  | FeCr800B   | 0,95   | 24,2  | 7,5   | 1     | 0,1   | 0,15  | 0,025  | 0,025  | 0     | 67   | 0     | 0      |
| 6  | FeCrSi33   | 0,95   | 22,93 | 0,55  | 33,5  | 0,35  | 0,15  | 0,01   | 0,015  | 0     | 42,5 | 0     | 0      |
| 7  | Al-87      | 0,8    | 1     | 0     | 3,5   | 0     | 87    | 0      | 0      | 1     | 0    | 0     | 0      |
| 8  | Coke       | 0,8    | 0     | 77,5  | 0     | 0     | 0     | 0,75   | 0,005  | 0     | 0    | 0     | 0      |
| 9  | Si Carbide | 1      | 0     | 28,61 | 66,89 | 0     | 0     | 0      | 0      | 0     | 0    | 0     | 0      |
| 10 | Lining     | 1      | 1,943 | 0     | 30,38 | 1,549 | 2,911 | 0      | 0      | 6,03  | 0    | 46,46 | 10,72  |
| 11 | Lime       | 1      | 0     | 0     | 1,402 | 0     | 1,164 | 0,05   | 0,05   | 2,774 | 0    | 29,85 | 63,61  |
| 12 | E/e MWh    | 1      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0      | 0     | 0    | 0     | 0      |
| 13 | E/- MWh    | 1      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0      | 0     | 0    | 0     | 0      |
| 14 | Метал      | 1      | 99,17 | 0,153 | 0,121 | 0,466 | 0,004 | 0,04   | 0,02   | 0     | 0    | 0,024 | 0      |
| 15 | Шлак       | 1      | 2,396 | 0     | 15,53 | 4,503 | 1,9   | 0,094  | 0,022  | 2,381 | 0    | 37,29 | 35,88  |
| 16 | Газ        | 1      | 0,013 | 42,46 | 0,009 | 0,04  | 0     | 0,0004 | 0,0001 | 0,014 | 0    | 57,47 | 0,0001 |

Властивості | Метал | Шлак | Газ | Склад

Фізичне засвоєння та хімічний склад матеріалів, мас.%

д)

**Рисунок 1.4** – Основні теплофізичні властивості матеріалів (а); дія матеріалів на масу та склад: металу (б), шлаку (в) та газової фази (з); хімічний склад матеріалів (д)

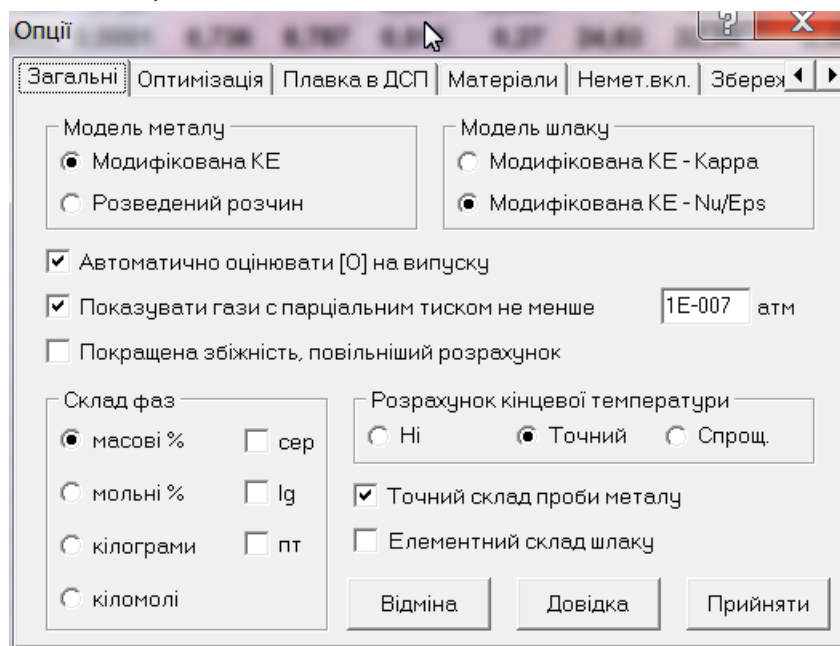
Величини, які наведені в таблицях, розраховані за допомогою фазових операторів і фазових концентраційних операторів у поточному рівноважному стані системи. Вони дозволяють класифікувати та ранжувати матеріали щодо їх дії на масу та хімічний склад фаз. Будь-яка зміна умов розкислення, легування тощо призводить до зміни *всіх* величин ефективності матеріалів.

Наприклад, видалення сірки відбувається інтенсивніше при глибшому розкисленні металу.

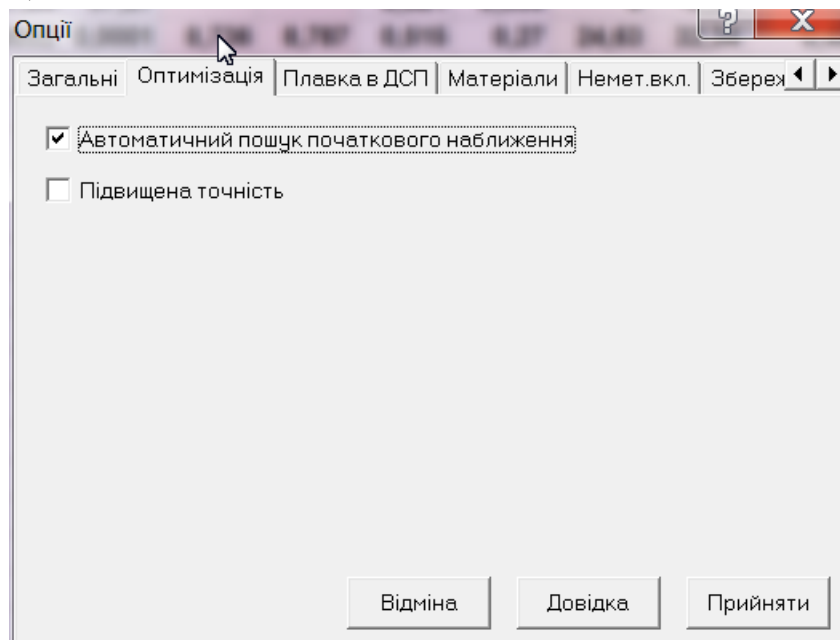
## 1.5. Опції

Панель опцій викликається вибором головного меню **Опції**.

Панель опцій розділена на шість вкладок. На рис. 1.5, *a-e* показані діалогові вікна, що відповідають кожній із вкладок.



a)



б)

Опції

Загальні | Оптимізація | Плавка в ДСП | **Матеріали** | Немет.вкл. | Збереж

Алгоритм розрахунку

- Зміщення lgK [Fe]
- Частка рівноваги
- Реакційна зона

Болото

Т-ра, °C

Метал, т

Шлак, т

Магnezит

Т-ра, °C

Маса, кг

Витрати

- Порційні
- Накопичені

Питома витрата електродів, кг/кВтг

Віддача тепла газу в систему, МДж/м3

К-т використання тепла ел/енергії

Т-ра плав. брухту, °C

Логарифм (В) константи [Fe]

Об'єм р/п печі, м3

Допускається кристалізація металу

Відміна Довідка Прийняти

в)

Опції

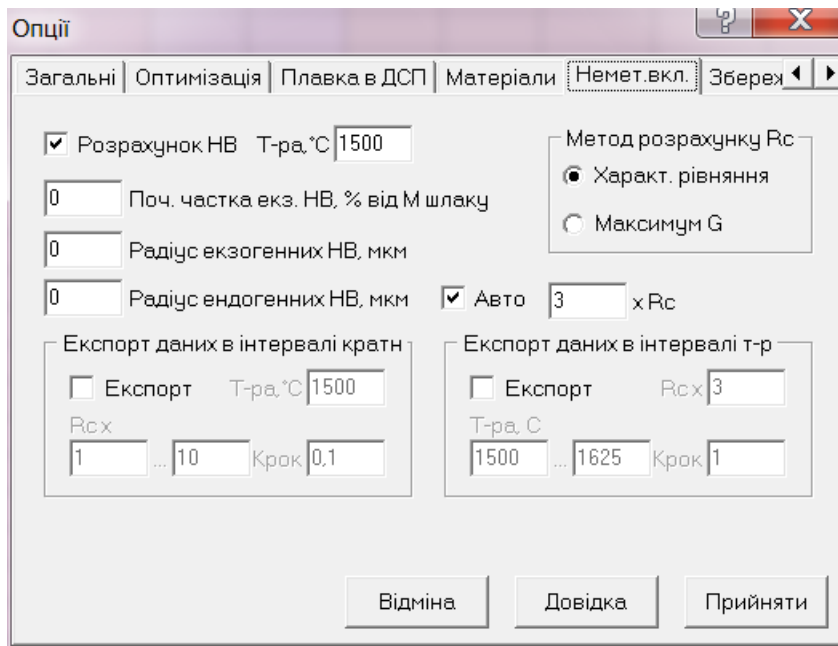
Загальні | Оптимізація | Плавка в ДСП | **Матеріали** | Немет.вкл. | Збереж

Розширення точкового складу феросплавів за нормативами

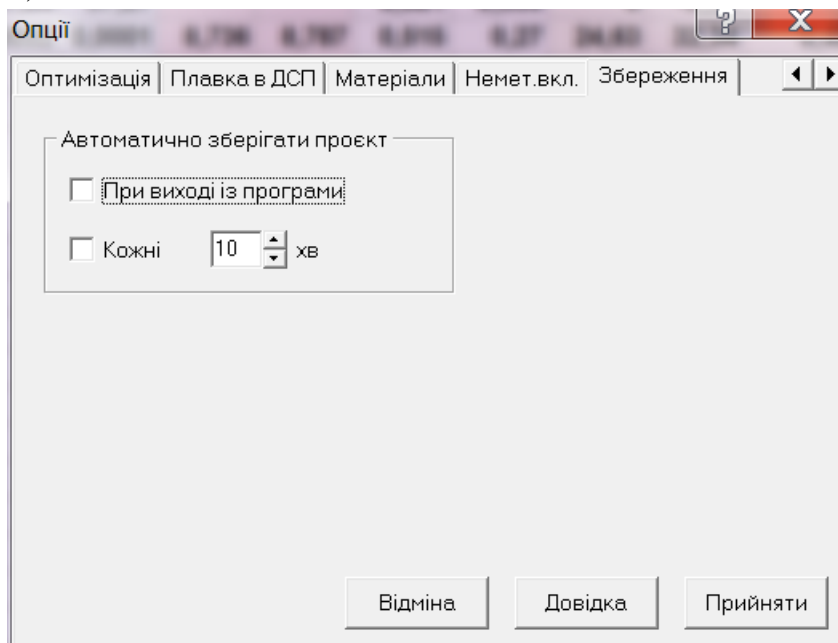
Т-ра розрахунку тепловмісту розплавленого матеріалу, °C

Відміна Довідка Прийняти

г)



д)



е)

Рисунок 1.5 – Діалогові вікна вкладок панелі опцій: а) Загальні; б) Оптимізація; в) Плавка в ДСП; г) Матеріали; д) Немет. вкл.; е) Збереження

### 1.5.1. Загальні опції

У таблиці 1.7 наведено функціональне призначення загальних опцій.

Таблиця 1.7 – Функціональне призначення загальних опцій

| Опція   | Стан      | Функціональне призначення   |
|---|-----------|---|
| Автоматично оцінювати [O] на випуску          | Увімкнено | За відсутності в пробі металу значення [O] розраховується автоматично за рівновагою у підсистемі «метал-газ». Ігнорується, якщо значення [O] явно вказано у пробі металу. За відсутності проби шлаку хімічний склад шлаку розраховується приблизно за рівновагою в підсистемі «метал-шлак». |
|   | Вимкнено  | Якщо значення [O] явно не вказано у пробі металу, вміст [O] на випуску з печі приймається на рівні слідів.  |
| Показувати гази з парціальним тиском не менше | Увімкнено | У таблиці газів відображаються лише гази з тиском не менше зазначеного в полі редагування (за замовчуванням $10^{-5}$ атм). Це дозволяє уникнути відображення десятків газів із нікчемним парціальним тиском.   |
|   | Вимкнено  | У таблиці газів відображаються всі гази.  |
| Точний склад проби металу                     | Увімкнено | Хімічний склад проби металу вважається точним. При цьому звужуються довірчі інтервали значень кінцевого хімічного складу фаз та інших параметрів.   |
|   | Вимкнено  | Хімічний склад проби металу у всіх розрахунках поділяється на верхній та нижній відповідно до точності вимірювання вмісту елементів у металі, вказаний у полі <b>Acc</b> файла констант (CON).  |
| Елементний склад шлаку                        | Увімкнено | У таблиці елементів на головній формі хімічний склад шлаку на оксиди не перераховується та відображається поелементно.  |
|   | Вимкнено  | Хімічний склад шлаку перераховується на оксиди для елементів із позитивною валентністю. Для інших елементів склад шлаку відображається поелементно.   |
| Склад фаз                                     | масові %  | У таблиці елементів на головній формі склад фаз відображається у вигляді масових відсотків.   |
|   | мольні %  | Склад фаз відображається у вигляді мольних відсотків.   |
|   | кілограми | Склад фаз відображається у вигляді кілограмів.  |
|   | кіломолі  | Склад фаз відображається у вигляді кіломолей.   |
| сер   | Включено  | У таблиці елементів на головній формі нижні та верхні межі складів фаз усереднюються.   |
|   | Виключено | Нижні та верхні межі складів фаз відображаються окремо.   |



|                                 |           |  |
|---------------------------------|-----------|--|
| lg                              | Включено  | У таблиці елементів на головній формі склад фаз відображається у вигляді десяткових логарифмів відповідної величини. Ця опція використовується в дослідницьких цілях.  |
|                                 | Виключено | Склади фаз відображаються у відповідних одиницях виміру.   |
| Розрахунок кінцевої температури | Ні        | Розрахунок кінцевої температури не проводиться. Кінцева температура фіксується лише на рівні вихідної. Рекомендується до розрахунку завалки.   |
|                                 | Точний    | Проводиться точний розрахунок кінцевої температури відповідно до теплової моделі. Рекомендується для більшості прямих та зворотних завдань.  |
|                                 | Спрощ.    | Проводиться наближений розрахунок кінцевої температури. Тепло хімічних реакцій розраховується за вихідної температури системи. Рекомендується для завдань, у яких відмінність початкової та кінцевої температури невелика, наприклад, при покровоному (порційному) розрахунку електродугової плавки. |

Примітка. Стан опцій за замовчуванням позначений підкресленням.

При натисканні кнопки **Прийняти** всі внесені зміни запам'ятовуються та відпрацьовуються програмою. При натисканні кнопки **Скасувати** або функціональної клавіші **ESC** внесені зміни ігноруються.

### 1.5.2. Опції плавки в ДСП

У табл. 1.8 та 1.9 наведено функціональне призначення дискретних та безперервних опцій електродугової плавки.

**Таблиця 1.8** – Функціональне призначення дискретних опцій електродугової плавки

| Опція               | Стан             | Функціональне призначення   |
|---------------------|------------------|---|
| Алгоритм розрахунку | Зміщення lgK[Fe) | Облік нерівноважності системи шляхом зміщення константи рівноваги «метал-шлак» по залізу, тобто шляхом посилення взаємодії між залізом та киснем. |
|                     | Частка рівноваги | Врахування нерівноважності шляхом запозичення системою частки рівноважного стану.   |
|                     | Реакційна зона   | Врахування нерівноважності системи шляхом призначення реакційної зони.  |
| Витрати             | Порційні         | Покрокове введення в систему порцій матеріалів та енергії.  |

|                                   |            |   |
|-----------------------------------|------------|---|
|                                   | Накопичені | Введення в систему накопичених з початку плавки матеріалів та енергії.  |
| Допускається кристалізація металу | Увімкнено  | У разі припинення подачі енергії зменшується маса рідкої сталі за рахунок кристалізації при незмінній температурі металу. |
|                                   | Вимкнено   | При припиненні подачі енергії зменшується температура ванни при постійній масі рідкої сталі.                              |

Примітка. Стан опцій за замовчуванням позначений підкресленням.

**Таблиця 1.9** – Функціональне призначення безперервних опцій електродугової плавки

| Опція                                 | Параметр | Значення за замовчуванням | Функціональне призначення   |
|---------------------------------------|----------|---------------------------|---|
| Болото                                | Т-ра, С  | 1700 °С                   | Температура болота, °С  |
|                                       | Метал, т | 10 т                      | Маса металу в болоті, т   |
|                                       | Шлак, т  | 5 т                       | Маса шлаку в болоті, т  |
| Магнезит                              | Т-ра, С  | 1600 °С                   | Температура °С та маса магнезиту на заправку.   |
|                                       | Маса, кг | 300 кг                    |   |
| Питома витрата електродів             |          | 0,001 кг/кВтг             | Витрата електродів, що науглерожують сталеплавильну ванну.  |
| Віддача тепла газу до системи         |          | 10 МДж/м <sup>3</sup>     | Віддача тепла згоряння газу в сталеплавильну ванну.   |
| К-т використання тепла електроенергії |          | 0,985                     | Частка електроенергії, що засвоюється сталеплавильною ванною.   |
| Логарифм (В) константи [Fe]           |          | - 0,8                     | Десятковий логарифм ентальпійної частини константи рівноваги [Fe). Мас значення під час вибору алгоритму розрахунку зі зміщенням константи рівноваги. |
| Т-ра плавлення брухту                 |          | 1505 °С                   | Температура плавлення (ліквідус) усередненого брухту.   |
| Об'єм р/п печі                        |          | 20,05 м <sup>3</sup>      | Об'єм робочого простору печі.   |

### 1.5.3. Опції збереження

Опції збереження на вкладці **Збереження** дозволяють користувачеві встановити автозбереження через певні проміжки часу (за замовчуванням 10

хв) або при виході з програми. При цьому на диску зберігаються файл проекту (FWP) та відповідний файл завдань (TSK).

## 1.6. Службові файли

Усі службові файли «Excalibur» мають текстовий формат (розділювач – пробіл) для зручності їх перегляду та редагування.

### 1.6.1. Файл проекту «Excalibur» (FWP)

Файл проекту має розширення FWP.

Файл містить рядки, які вказують програмі, які саме файли слід використовувати для зчитування констант (ConFile), параметрів Вагнера (EpsFile), газових термодинамічних даних (GasFile), матеріалів (MatFile), завдань на плавку (TskFile) та протоколів (шаблонів) електродугової плавки (HeaFile) (необов'язковий рядок), а також рядок із порядковим номером поточного завдання на плавку (CurTask):

```
ConFile=EXCALIBUR.CON
EpsFile=EXCALIBUR.EPS
GasFile=EXCALIBUR.GAS
MatFile=EXCALIBUR.MAT
TskFile=EXCALIBUR.TSK
HeaFile=8644.HEA
CurTask=0
```

Якщо до складу проекту входить кілька файлів завдань на плавку, то наприкінці файлу проекту міститься кілька додаткових рядків – за кількістю файлів завдань, що належать до цього проекту:

```
Tsk0=Plus.TSK #14 *Plus.MAT
Tsk1=Z0.TSK #0 *ZAV.MAT
Tsk2=Z1.TSK #12 *ZAV.MAT
```

У кожному такому рядку міститься покажчик на файл завдань (Tsk0...), ім'я файлу завдань (Plus.TSK...), порядковий номер завдання на плавку (після символу #) та ім'я відповідного файлу матеріалів (після символу \*).

Файл проекту формується програмою автоматично і зазвичай не вимагає ручного редагування.

Під час запуску програми автоматично завантажується файл проекту, який був відкритий останнім у попередньому сеансі. Крім того, файли проектів можна завантажувати за допомогою кнопки на панелі інструментів (§1.2.6) та пунктів головного меню (§1.2.7).

### 1.6.2. Файл матеріалів (MAT)

Файл матеріалів має розширення MAT.

Файл матеріалів є ключовим файлом програми, за яким формується список активних елементів, і який містить усю доступну інформацію про матеріали, що використовуються.

Файл складається з одного або декількох однорідних блоків за складом матеріалів. Кожен блок складається із заголовка та змістовної частини.

Заголовок блоку передує символом @. Безпосередньо за ним може бути символ хімічного елемента або сполуки, які є основою даного матеріалу. Далі в заголовку слідує список компонентів (елементів та/або сполук), що становлять матеріал. Список може бути порожнім, якщо матеріал складається лише із основи. Наприклад, заголовок @O без списку характерний для чистого кисню, а @FeO – для закису заліза. Якщо в змістовній частині сума вмісту компонентів менше 100%, і в заголовку вказано основу матеріалу, зміст основи рахується як доповнення до 100%.

Змістова частина блоку складається з одного або кількох рядків – по одному для кожного матеріалу. Рядок матеріалу складається з наступних елементів:

- Найменування матеріалу довжиною до 15 символів;
- Розділювач « | »;
- Список вмісту компонентів матеріалу в масових відсотках – відповідно до списку компонентів заголовка. Якщо вміст даного компонента має нижню і верхню межі, вони поділяються символом « / ». Список може бути порожнім, якщо матеріал складається лише з основи, вказаної в заголовку;
- Ціна матеріалу за 1 тонну в будь-яких одиницях із префіксом « \$ »;
- Коефіцієнт фізичного засвоєння матеріалу із префіксом « # » (не обов'язково). Ця величина може мати нижню і верхню межі, що розділяються символом « / ». При зазначенні коефіцієнта фізичного засвоєння сума масових часток всіх елементів нормується на цю величину. Тобто масова частка кожного елемента пропорційно знижується таким чином, щоб їхня сума дорівнювала цьому коефіцієнту;
- Температура матеріалу (°C) із префіксом @ (не обов'язково). Якщо температура матеріалу явно не прописана, вона приймається рівної температурі навколишнього середовища, вказаної у завданні на плавку (§1.3.4);

- Ознака рідкого «\*» або газоподібного «~» агрегатного стану матеріалу (не обов'язково). За замовчуванням усі матеріали вважаються твердими.

Нижче наведено лістинг типового файлу матеріалів, що складається з 7 блоків:

```

@Fe          C      Si      Mn      Al      S      P      Mg
FeMn        | 6/7  0.3/1  77.5/81  0      .03   .70   0  $ 2375 #0.95
SiMn        | 1.4  17.0   60      0      .03   .63   0  $ 2550 #0.95
FeSi45     | 0.15  45     0.3/1   0      .03   .1    0  $ 1955 #0.95
FeSi65     | 0.15  65     0.3/1   0      .03   .1    0  $ 2300 #0.95
AB-87      | 0     0/4    0       86/88  0     0     0.5 $ 6085 #0.8

@           C      S      P
Коксик     | 75/80  0/1.5  0/.01   $ 140 #0.75/0.85

@           SiC
Карбід Si  | 94/97 $ 1200

@           S      FeO  Al2O3  SiO2  MnO  CaO  MgO
Футерівка | 0      2.5  5.5   65    2   15   10   $ 0
Вапно     | 0/0.075  0    0     0     0  90/91 .6/1.1 $ 137 #0.75

@Fe          C      Mn      Si      S      P
Брухт чавунный| 3/4  .3/.5  .9/1   0.04  0.08 $ 100 #0.9/0.95
Чавун перероб.| 4.2  .2/.5  .6/.9  0.04  0.02 $ 130 @1350 *

@FeO
Окаліна   | $ 50

@           O
Кисень    | 100 $ 100 ~

```

Редагування файлу матеріалів здійснюється за допомогою будь-якого текстового редактора, який підтримує кодування Windows.

Файл матеріалів автоматично зчитується програмою щоразу під час читання файлу проєкту. Крім того, будь-який файл матеріалів може бути завантажений у програму за допомогою головного меню (§1.2.7).

### 1.6.3. Файл констант та теплофізичних даних (CON)

Файл констант та теплофізичних даних має розширення CON.

Файл містить набір однорідних рядків із константами хімічних елементів, параметрами термодинамічної моделі системи «метал-шлак-газ» та теплофізичними даними. Структура файлу наведена в таблиці нижче.

**Таблиця 1.10** – Структура файлу констант та теплофізичних даних

| Поле | Размірність | Значення поля                   |
|------|-------------|---------------------------------|
| El   | –           | Символ хімічного елемента       |
| Comp | –           | Типова сполука елемента в шлаку |
| AtN  | –           | Атомний номер                   |
| At   | –           | Атомна вага                     |
| Nu   | –           | Валентність у шлаку             |

|         |          |   |
|---------|----------|---|
| Lms1    | –        | Частина <i>A</i> виразу для константи рівноваги «метал-шлак» $\lg K_{[i]} = A/T+B$  |
| Lms2    | –        | Частина <i>B</i> виразу для константи рівноваги «метал-шлак» $\lg K_{[i]} = A/T+B$  |
| LG1     | –        | Частина <i>A</i> виразу для коефіцієнта активності в нескінченно розбавленому металевому розчині $\lg \gamma_{[i]}^0 = A/T+B$ |
| LG2     | –        | Частина <i>B</i> виразу для коефіцієнта активності в нескінченно розбавленому металевому розчині $\lg \gamma_{[i]}^0 = A/T+B$ |
| Kappa   | кДж/моль | Атомний енергетичний параметр МКЕ   |
| Lmg1    | –        | Частина <i>A</i> константи рівноваги «метал-газ» $\lg K_{[i]} = A+B*T$  |
| Lmg2    | –        | Частина <i>B</i> константи рівноваги «метал-газ» $\lg K_{[i]} = A+B*T$  |
| Acc     | мас. %   | Точність визначення хімічного складу металу у пробі (похибка виміру)  |
| M       | –        | Ознака металу (0), вуглецю (1) та неметалу (2)  |
| f1...f7 | –        | Параметри інтерполяційного багаточлена для обчислення $\Delta G$ чистого елемента   |
| dH0     | Дж/моль  | Ентальпія утворення чистого елемента  |

Редагування файлу констант виконується за допомогою будь-якого текстового редактора.

Файл констант автоматично зчитується програмою щоразу під час читання файлу проекту. Крім того, будь-який файл констант може бути завантажений у програму за допомогою головного меню (§1.2.7).

#### 1.6.4. Файл завдань на плавку (TSK)

Файл завдань на плавку має розширення TSK.

Файл містить набір однорідних блоків завдань на плавку з комплексом вихідних даних для прямої задачі та обмежень для зворотної задачі. Кожен блок даних однозначно відповідає таблицям та редагованим полям редактора завдання на плавку (§1.3).

Структура блоку даних файлу завдань на плавку наведена у таблиці нижче.

**Таблиця 1.11** – Структура блоку даних файлу завдань на плавку

| № ряд-ка | Ідентифікатор рядка | № / ід. поля | Значення поля                   | Відпов. поле редактора завдання |
|----------|---------------------|--------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1        | *                   | 1            | Найменування завдання на плавку | Вкладка                         |

|               |  |       |  |   |
|---------------|--|-------|--|---|
| 2             | ні                                       | 1...N | Список N контрольованих хімічних елементів   | Эл (таблиця елементів)                            |
| 3             | ні                                       | 1...N | Обмеження за хімічним складом металу, мас. %   | Мет $\geq$ Мет $\leq$ (таблиця обм. за х/с мет.)  |
| 4             | ні                                       | 1...N | Обмеження за хімічним складом шлаку, мас. %  | Шлк $\geq$ Шлк $\leq$ (таблиця обм. за х/с шлаку) |
| 5             | ні                                       | 1...N | Проба металу / проба шлаку, мас. %   | Проба (табл. обм. за х/с мет. і шлаку)            |
| 6             | MASSMET                                  | 1     | Мінімально та максимально допустима маса металу, тонн  | Мін / макс М мет.                                 |
|               |  | 2     | Відома початкова маса металу – нижня та верхня межі, тонн  | Від. поч. М мет.                                  |
| 7             | MASSSLG                                  | 1     | Мінімально та максимально допустима маса шлаку, тонн   | Мін / макс М шл.                                  |
|               |  | 2     | Відома початкова маса шлаку - нижня і верхня межі, тонн  | Від. поч. М шл.                                   |
| 8             | OSNSLG                                   | 1     | Мінімально та максимально допустима основність шлаку   | Мін / макс осн-ть                                 |
| 9             | MASSGAS                                  | 1     | Мінімально та максимально допустима маса газу, тонн  | Мін / макс М газу                                 |
| 10            | TEMP                                     | 1     | Мінімально та максимально допустима температура, °C  | Мін / макс т-ра                                   |
|               |  | 2     | Відома початкова температура металу та шлаку, °C   | Від. поч. т-ра                                    |
|               |  | 3     | Прихід енергії до системи з енергоносіями / теплові втрати, МДж  | Qэ, МДж<br>Qпот, МДж                              |
|               |  | 4     | Температура навколишнього середовища, °C   | Т-ра н. серед.                                    |
| 11            | ні                                       |       | Порожній рядок   |   |
| 12...<br>11+M | Найменування М контрольованих матеріалів | ~     | Рекомендована маса матеріалу, тонн   | Реком (табл. матеріалів)                          |
|               |  | !     | Фіксована маса матеріалу, тонн   | Фікс (табл. матеріалів)                           |
|               |  | &     | Мінімальна / максимальна маса матеріалу, тонн  | Мін т / Макс т (табл. матеріалів)                 |
|               |  | %     | Мінімально / максимально допустимий відсоток даного матеріалу в загальній масі матеріалів, що завантажуються, мас. % | Мін % / Макс % (табл. матеріалів)                 |

Примітки.

1. Символ « - » означає відсутність обмежень або даних вимірів.
2. Величини з нижньою та верхньою межами поділяються символом « / ».
3. За ідентифікаторами рядків (крім \*) слідує символ роздільника « | ».

Нижче наведено лістинг типового блоку даних завдання на плавку.

```
*Плавка № 100000
Fe  C   Si  Mn  S   P   O   Ca  Mg  Al
-/-  .05/.11  -/-.03  .295/.5  -/-.04  -/-.035  .06/.07  -/-  -/-  -/-
-/-  -/-  -/-  -/-  -/-  -/-  -/-  -/-  -/-  -/-
-/28  .05/-  -/15  .05/3.3  .038/.11  .008/.7  -/-  -/44.2  -/6.5  -/1.6
MASSMET | -/- 230/255
MASSSLG | -/- 3.5/4.5
OSNSLG  | -/-
MASSGAS | -/-.3
TEMP    | -/- 1625 -/- 20

FeMn    | ~1.4
AB-87   |
Вапно   | !0
Футерівка | !.125
Окаліна |
SiMn    | !0
Карбід Si | !0
Коксик  | &.1
```

Далі йдуть подібні блоки даних – до 60 блоків в одному файлі.

Файл завдань формується програмою автоматично і зазвичай не вимагає ручного редагування.

Файл завдань на плавку автоматично зчитується програмою щоразу під час читання файлу проєкту. Крім того, будь-який файл завдань може бути завантажений із редактора завдань (§1.3) та за допомогою головного меню (§1.2.7).

### 1.6.5. Файл газових констант (GAS)

Файл газових констант має розширення GAS.

Файл містить набір однорідних рядків з термодинамічними даними про молекулярні та атомарні гази, які можуть бути утворені з усіх доступних елементів.

Структура файлу газових констант наведена в таблиці нижче.

**Таблиця 1.12 – Структура файлу газових констант**

| Поле    | Розмірність | Значення  |
|---------|-------------|---|
| f1...f7 | –           | Параметри інтерполяційного багаточлена для обчислення $\Delta G$ газу |
| dfH(0)  | кДж/моль    | Ентальпія утворення газу  |



|         |   |   |
|---------|---|---|
| Tmin    | K | Температурний інтервал, для якого справедливий інтерполяційний багаточлен |
| Tmax    |   |   |
| EN      | – | Кількість сортів атомів у молекулі газу                                   |
| E1...E4 | – | Символ хімічного елемента у позиціях 1...4 формули газу                   |
| C1...C4 | – | Кількість атомів сорту E1...E4 у складі молекули газу                     |
| Gas     | – | Хімічна формула молекули газу   |

За кожним активним елементом у файлі газових констант повинна бути інформація принаймні для одноатомного газу.

Під час запуску програма автоматично зчитує файл газових констант, зазначений у файлі проєкту (FWP).

### 1.6.6. Файл параметрів Вагнера (EPS)

Файл параметрів Вагнера має розширення EPS.

Нижче наведено лістинг кількох рядків файлу параметрів Вагнера.

```

      O      Al      Si      Mn      Ca      Mg      C      ...
O      -12.0
Al      -212     5.92
Si      -13.4     6.97    13.0
Mn      -5.70    -2.9     11.8    0.626
Ca      -10202  -6.50   -10.7    -1.5   -5.17
Mg      -198    -1.39   -0.03    0.04  -10.3   -9.2
C       -16.9     5.04    10.4   -1.80  -15.9   7.29   9.40
...

```

Під час запуску програма автоматично зчитує файл параметрів Вагнера, зазначений у файлі проєкту (FWP).

## 2. ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

### 2.1. Практична робота №1. Техніко-економічні показники доменної плавки при виробництві чавуну із застосуванням агломерату, окатишів, коксу і флюсу

1. Вихідні дані:

Склад агломерату і окатишів, мас. %:

|           | FeO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | S    | P    |
|-----------|------|--------------------------------|------------------|-------|------|--------------------------------|------|------|------|
| Агломерат | 14   | 58,76                          | 11,39            | 11,13 | 0,93 | 1,83                           | 0,67 | 0,05 | 0,03 |
| Окатиші   | 3,01 | 81,1                           | 13,02            | 0,83  | 1,22 | 0,3                            | 0,06 | 0,01 | 0,01 |

Склад флюсу, мас. %:

|      | FeO  | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | S    | P    | CO <sub>2</sub> |
|------|------|------------------|-------|------|--------------------------------|------|------|------|-----------------|
| Флюс | 0,27 | 1,8              | 53,49 | 0,73 | 0,28                           | 0,06 | 0,08 | 0,01 | 43,02           |

Склад коксу, мас. %

|      | C  | FeO | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | MgO | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | S | P    | H <sub>2</sub> O |
|------|----|-----|--------------------------------|------------------|-----|--------------------------------|-----|---|------|------------------|
| Кокс | 85 | 1,5 | 2                              | 3,5              | 0,2 | 1,5                            | 0,5 | 1 | 0,01 | 3                |

2. За допомогою програми «**Excalibur**» проплавити шихту, що складається з фіксованої маси агломерату 10 т, фіксованої маси окатишів 10 т, фіксованої маси флюсу 2,5 т, а також маси коксу в межах 3...6,2 т (інтервал 0,5 т) за наступних умов:

- середній тиск 150 кПа (1,5 атм);
- температура металу і шлаку  $t = 1520 + \text{номер варіанта}$ , °С;

3. Зафіксувати й занести в звіт наступні дані:

- а) загальні маси шихти, металу, шлаку і газу, т;
- б) основність шлаку;
- в) склад металу в мас. %;
- г) склад шлаку в мас. % оксидів;
- д) загальна вартість шихтових матеріалів в умовних одиницях.

4. На початку виконання роботи завантажити проект Chavun.fwr, завдання «А+О+К+Ф» та перевірити Опції:

Розрахунок кінцевої температури – Ні;

Точний склад кінцевої проби металу – вкл.;  
 Автоматично оцінювати [O] на випуску – вимк.  
 Покращена збіжність, повільніший розрахунок – вимк.  
 Елементний склад шлаку – вимк.

5. Рекомендована форма для занесення даних в звіт:

**Звіт з практичної роботи №1 за курсом ТОЕДП, варіант \_\_\_\_\_**  
 студента(ки) гр. \_\_\_\_\_ ( ПІБ)

|                                   | Маса коксу, т |     |   |     |   |     |     |
|-----------------------------------|---------------|-----|---|-----|---|-----|-----|
|                                   | 3             | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6,2 |
| Загальна маса ш.м.,т              |               |     |   |     |   |     |     |
| Вартість ш.м., у. о.              |               |     |   |     |   |     |     |
| <b>Склад металу, мас. %</b>       |               |     |   |     |   |     |     |
| [C]                               |               |     |   |     |   |     |     |
| [Si]                              |               |     |   |     |   |     |     |
| [Mn]                              |               |     |   |     |   |     |     |
| [Al]                              |               |     |   |     |   |     |     |
| [S]                               |               |     |   |     |   |     |     |
| [P]                               |               |     |   |     |   |     |     |
| [O]                               |               |     |   |     |   |     |     |
| Маса металу, т                    |               |     |   |     |   |     |     |
| Відношення ШМ/М                   |               |     |   |     |   |     |     |
| <b>Склад шлаку, мас. %</b>        |               |     |   |     |   |     |     |
| (FeO)                             |               |     |   |     |   |     |     |
| (SiO <sub>2</sub> )               |               |     |   |     |   |     |     |
| (MnO)                             |               |     |   |     |   |     |     |
| (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) |               |     |   |     |   |     |     |
| (CaO)                             |               |     |   |     |   |     |     |
| (MgO)                             |               |     |   |     |   |     |     |
| (S)                               |               |     |   |     |   |     |     |
| (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )  |               |     |   |     |   |     |     |
| Маса шлаку, т                     |               |     |   |     |   |     |     |
| Основність шлаку                  |               |     |   |     |   |     |     |
| Маса газу, т                      |               |     |   |     |   |     |     |
| Температура, °С                   |               |     |   |     |   |     |     |

## 2.2. Практична робота №2. Техніко-економічні показники доменної плавки при виробництві чавуну із застосуванням залізної руди, окатишів, коксу і флюсу

1. Вихідні дані:

Склад залізної руди і окатишів, мас. %:

|         | FeO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | CaO  | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | S     | P    |
|---------|------|--------------------------------|------------------|------|------|--------------------------------|------|-------|------|
| Fe руда | 5,78 | 67,9                           | 26,9             | 1,45 | 0,52 | 1,82                           | 0,18 | 0,027 | 0,05 |
| Окатиші | 3,01 | 81,1                           | 13,02            | 0,83 | 1,22 | 0,3                            | 0,06 | 0,01  | 0,01 |

Склад флюсу, мас. %:

|      | FeO  | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | S    | P    | CO <sub>2</sub> |
|------|------|------------------|-------|------|--------------------------------|------|------|------|-----------------|
| Флюс | 0,27 | 1,8              | 53,49 | 0,73 | 0,28                           | 0,06 | 0,08 | 0,01 | 43,02           |

Склад коксу, мас. %

|      | C  | FeO | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | MgO | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | S | P    | H <sub>2</sub> O |
|------|----|-----|--------------------------------|------------------|-----|--------------------------------|-----|---|------|------------------|
| Кокс | 85 | 1,5 | 2                              | 3,5              | 0,2 | 1,5                            | 0,5 | 1 | 0,01 | 3                |

2. За допомогою програми «**Excalibur**» проплавити шихту, що складається з залізної руди в межах 13...7 т (інтервал 1 т), окатишів в межах 7...13 т (інтервал 1 т), фіксованої маси коксу 7 т і фіксованої маси флюсу 7 т за наступних умов:

- середній тиск 150 кПа (1,5 атм);
- температура металу і шлаку  $t = 1520 + \text{номер варіанта}$ , °С;

3. Зафіксувати й занести в звіт наступні дані:

- а) загальні маси шихти, металу, шлаку і газу, т;
- б) основність шлаку;
- в) склад металу в мас. %;
- г) склад шлаку в мас. % оксидів;
- д) загальна вартість шихтових матеріалів в умовних одиницях.

4. На початку виконання роботи завантажити проект Chavun.fwp, завдання «P+O+K+Ф» та перевірити Опції:

- Розрахунок кінцевої температури – Ні;
- Точний склад кінцевої проби металу – вкл.;
- Автоматично оцінювати [O] на випуску – вимк.
- Покращена збіжність, повільніший розрахунок – вимк.

Елементний склад шлаку – вимк.

5. Рекомендована форма для занесення даних в звіт:

**Звіт з практичної роботи №2 за курсом ТОЕДП, варіант \_\_\_\_\_**  
студента(ки) гр. \_\_\_\_\_ ( ПІБ)

|                                   | Маса матеріалів (т) за варіантами |    |    |    |    |    |    |
|-----------------------------------|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|
|                                   | а                                 | б  | в  | г  | д  | е  | ж  |
| Fe руда                           | 13                                | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  |
| Окатиші                           | 7                                 | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Кокс                              | 7                                 | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  |
| Флюс                              | 7                                 | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  |
| Загальна маса ш.м.,т              |                                   |    |    |    |    |    |    |
| Вартість ш.м., у. о.              |                                   |    |    |    |    |    |    |
| Склад металу, мас. %              |                                   |    |    |    |    |    |    |
| [C]                               |                                   |    |    |    |    |    |    |
| [Si]                              |                                   |    |    |    |    |    |    |
| [Mn]                              |                                   |    |    |    |    |    |    |
| [Al]                              |                                   |    |    |    |    |    |    |
| [S]                               |                                   |    |    |    |    |    |    |
| [P]                               |                                   |    |    |    |    |    |    |
| [O]                               |                                   |    |    |    |    |    |    |
| Маса металу, т                    |                                   |    |    |    |    |    |    |
| Відношення ШМ/М                   |                                   |    |    |    |    |    |    |
| Склад шлаку, мас. %               |                                   |    |    |    |    |    |    |
| (FeO)                             |                                   |    |    |    |    |    |    |
| (SiO <sub>2</sub> )               |                                   |    |    |    |    |    |    |
| (MnO)                             |                                   |    |    |    |    |    |    |
| (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) |                                   |    |    |    |    |    |    |
| (CaO)                             |                                   |    |    |    |    |    |    |
| (MgO)                             |                                   |    |    |    |    |    |    |
| (S)                               |                                   |    |    |    |    |    |    |
| (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )  |                                   |    |    |    |    |    |    |
| Маса шлаку, т                     |                                   |    |    |    |    |    |    |
| Основність шлаку                  |                                   |    |    |    |    |    |    |
| Маса газу, т                      |                                   |    |    |    |    |    |    |
| Температура, °С                   |                                   |    |    |    |    |    |    |

### 2.3. Практична робота №3. Техніко-економічні показники доменної плавки при виробництві чавуну із застосуванням регламентованого відсотка агломерату і оптимальної кількості окатишів, залізної руди, коксу і флюсу

#### 1. Вихідні дані:

Склад агломерату, залізної руди і окатишів, мас. %:

|           | FeO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | S     | P    |
|-----------|------|--------------------------------|------------------|-------|------|--------------------------------|------|-------|------|
| Агломерат | 14   | 58,76                          | 11,39            | 11,13 | 0,93 | 1,83                           | 0,67 | 0,05  | 0,03 |
| Fe руда   | 5,78 | 67,9                           | 26,9             | 1,45  | 0,52 | 1,82                           | 0,18 | 0,027 | 0,05 |
| Окатиші   | 3,01 | 81,1                           | 13,02            | 0,83  | 1,22 | 0,3                            | 0,06 | 0,01  | 0,01 |

Склад флюсу, мас. %:

|      | FeO  | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | S    | P    | CO <sub>2</sub> |
|------|------|------------------|-------|------|--------------------------------|------|------|------|-----------------|
| Флюс | 0,27 | 1,8              | 53,49 | 0,73 | 0,28                           | 0,06 | 0,08 | 0,01 | 43,02           |

Склад коксу, мас. %

|      | C  | FeO | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | MgO | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | S | P    | H <sub>2</sub> O |
|------|----|-----|--------------------------------|------------------|-----|--------------------------------|-----|---|------|------------------|
| Кокс | 85 | 1,5 | 2                              | 3,5              | 0,2 | 1,5                            | 0,5 | 1 | 0,01 | 3                |

2. За допомогою програми «**Excalibur**» оптимізувати шихту, що складається з регламентованого відсотка агломерату (в межах 1...8 т та 0...30% від маси шихти, з інтервалом 5%), залізної руди (в межах 1...10 т), окатишів (в межах 3...12 т), коксу (в межах 4...6 т) і флюсу (не більше 8 т) за наступних умов (варіант а):

- середній тиск 150 кПа (1,5 атм);
- температура металу і шлаку  $t = 1520 + \text{номер варіанта}$ , °C;
- вміст вуглецю в металі не менше 4,5%;
- основність шлаку не менше 1;
- маса рідкого чавуну не менше 10 т.

3. Зафіксувати й занести в звіт наступні дані:

- а) загальні маси шихти, металу, шлаку і газу, т;
- б) основність шлаку;
- в) склад металу в мас. %;
- г) склад шлаку в мас. % оксидів;
- д) загальна вартість шихтових матеріалів в умовних одиницях.

4. На початку виконання роботи завантажити проект Chavun.fwr, завдання «Арег+О+Р+К+Ф» та перевірити Опції:

Розрахунок кінцевої температури – Ні;  
Точний склад кінцевої проби металу – вкл.;

Автоматично оцінювати [O] на випуску – вимк.  
 Покращена збіжність, повільніший розрахунок – вимк.  
 Елементний склад шлаку – вимк.

5. Рекомендована форма для занесення даних в звіт:

**Звіт з практичної роботи №3 за курсом ТОЕДП, варіант \_\_\_\_\_**  
 студента(ки) гр. \_\_\_\_\_ ( ПІБ)

| Матеріали                         | Маса матеріалів (т) за варіантами |   |    |    |    |    |    |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---|----|----|----|----|----|
|                                   | а                                 | б | в  | г  | д  | е  | ж  |
| Агломерат, %                      | не регл.                          | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| Агломерат, т                      |                                   |   |    |    |    |    |    |
| Окатиші (опт.)                    |                                   |   |    |    |    |    |    |
| Fe руда (опт.)                    |                                   |   |    |    |    |    |    |
| Кокс (опт.)                       |                                   |   |    |    |    |    |    |
| Флюс (опт.)                       |                                   |   |    |    |    |    |    |
| <b>Загальна маса ш.м.,т</b>       |                                   |   |    |    |    |    |    |
| <b>Вартість ш.м., у. о.</b>       |                                   |   |    |    |    |    |    |
| <b>Склад металу, мас. %</b>       |                                   |   |    |    |    |    |    |
| [C]                               |                                   |   |    |    |    |    |    |
| [Si]                              |                                   |   |    |    |    |    |    |
| [Mn]                              |                                   |   |    |    |    |    |    |
| [Al]                              |                                   |   |    |    |    |    |    |
| [S]                               |                                   |   |    |    |    |    |    |
| [P]                               |                                   |   |    |    |    |    |    |
| [O]                               |                                   |   |    |    |    |    |    |
| Маса металу, т                    |                                   |   |    |    |    |    |    |
| Відношення ШМ/М                   |                                   |   |    |    |    |    |    |
| <b>Склад шлаку, мас. %</b>        |                                   |   |    |    |    |    |    |
| (FeO)                             |                                   |   |    |    |    |    |    |
| (SiO <sub>2</sub> )               |                                   |   |    |    |    |    |    |
| (MnO)                             |                                   |   |    |    |    |    |    |
| (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) |                                   |   |    |    |    |    |    |
| (CaO)                             |                                   |   |    |    |    |    |    |
| (MgO)                             |                                   |   |    |    |    |    |    |
| (S)                               |                                   |   |    |    |    |    |    |

|                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Маса шлаку, т                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Основність шлаку                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Маса газу, т                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Температура, °С                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

#### 2.4. Практична робота №4. Техніко-економічні показники доменної плавки при виробництві чавуну із застосуванням агломерату, окатишів, залізної руди, марганцевого концентрату, коксу і флюсу

##### 1. Вихідні дані:

Склад агломерату, залізної руди, марганцевого концентрату і окатишів, мас. %:

|           | FeO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | S     | P    |
|-----------|------|--------------------------------|------------------|-------|------|--------------------------------|------|-------|------|
| Агломерат | 14   | 58,76                          | 11,39            | 11,13 | 0,93 | 1,83                           | 0,67 | 0,05  | 0,03 |
| Fe руда   | 5,78 | 67,9                           | 26,9             | 1,45  | 0,52 | 1,82                           | 0,18 | 0,027 | 0,05 |
| Mn конц   | 0,15 | 7,15                           | 15               | 9,9   | 5    | 6,41                           | 40   | 0,03  | 0,1  |
| Окатиші   | 3,01 | 81,1                           | 13,02            | 0,83  | 1,22 | 0,3                            | 0,06 | 0,01  | 0,01 |

Склад флюсу, мас. %:

|      | FeO  | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | S    | P    | CO <sub>2</sub> |
|------|------|------------------|-------|------|--------------------------------|------|------|------|-----------------|
| Флюс | 0,27 | 1,8              | 53,49 | 0,73 | 0,28                           | 0,06 | 0,08 | 0,01 | 43,02           |

Склад коксу, мас. %

|      | C  | FeO | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | MgO | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | S | P    | H <sub>2</sub> O |
|------|----|-----|--------------------------------|------------------|-----|--------------------------------|-----|---|------|------------------|
| Кокс | 85 | 1,5 | 2                              | 3,5              | 0,2 | 1,5                            | 0,5 | 1 | 0,01 | 3                |

2. За допомогою програми «**Excalibur**» проплавити шихту, що складається з агломерату (1 т), залізної руди (7,5 т), окатишів (7 т), коксу (5,4 т), флюсу (5,5 т), а також марганцевого концентрату (в межах 0...1,2 т з інтервалом 0,2 т) за наступних умов:

- середній тиск 150 кПа (1,5 атм);
- температура металу і шлаку  $t = 1520 + \text{номер варіанта}$ , °С;

3. Зафіксувати й занести в звіт наступні дані:

- а) загальні маси шихти, металу, шлаку і газу, т;
- б) основність шлаку;
- в) склад металу в мас. %;
- г) склад шлаку в мас. % оксидів;
- д) загальна вартість шихтових матеріалів в умовних одиницях.



4. На початку виконання роботи завантажити проект Chavun.fwp, завдання «А+О+Р+Mn+К+Ф» та перевірити Опції:

Розрахунок кінцевої температури – Ні;

Точний склад кінцевої проби металу – вкл.;

Автоматично оцінювати [O] на випуску – вимк.

Покращена збіжність, повільніший розрахунок – вимк.

Елементний склад шлаку – вимк.

5. Рекомендована форма для занесення даних в звіт:

**Звіт з практичної роботи №4 за курсом ТОЕДП, варіант \_\_\_\_\_**

студента(ки) гр. \_\_\_\_\_ ( ПІБ)

| Матеріали                         | Маса матеріалів (т) за варіантами |            |            |            |            |            |            |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                                   | а                                 | б          | в          | г          | д          | е          | ж          |
| Агломерат                         | 1                                 | 1          | 1          | 1          | 1          | 1          | 1          |
| Окатиші                           | 7                                 | 7          | 7          | 7          | 7          | 7          | 7          |
| Fe руда                           | 7,5                               | 7,5        | 7,5        | 7,5        | 7,5        | 7,5        | 7,5        |
| Mn конц                           | <b>0</b>                          | <b>0,2</b> | <b>0,4</b> | <b>0,6</b> | <b>0,8</b> | <b>1,0</b> | <b>1,2</b> |
| Кокс                              | 5,4                               | 5,4        | 5,4        | 5,4        | 5,4        | 5,4        | 5,4        |
| Флюс                              | 5,5                               | 5,5        | 5,5        | 5,5        | 5,5        | 5,5        | 5,5        |
| <b>Загальна маса ш.м.,т</b>       |                                   |            |            |            |            |            |            |
| <b>Вартість ш.м., у. о.</b>       |                                   |            |            |            |            |            |            |
| <b>Склад металу, мас. %</b>       |                                   |            |            |            |            |            |            |
| [C]                               |                                   |            |            |            |            |            |            |
| [Si]                              |                                   |            |            |            |            |            |            |
| [Mn]                              |                                   |            |            |            |            |            |            |
| [Al]                              |                                   |            |            |            |            |            |            |
| [S]                               |                                   |            |            |            |            |            |            |
| [P]                               |                                   |            |            |            |            |            |            |
| [O]                               |                                   |            |            |            |            |            |            |
| Маса металу, т                    |                                   |            |            |            |            |            |            |
| Відношення ШМ/М                   |                                   |            |            |            |            |            |            |
| <b>Склад шлаку, мас. %</b>        |                                   |            |            |            |            |            |            |
| (FeO)                             |                                   |            |            |            |            |            |            |
| (SiO <sub>2</sub> )               |                                   |            |            |            |            |            |            |
| (MnO)                             |                                   |            |            |            |            |            |            |
| (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) |                                   |            |            |            |            |            |            |

|                                  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| (CaO)                            |  |  |  |  |  |  |  |
| (MgO)                            |  |  |  |  |  |  |  |
| (S)                              |  |  |  |  |  |  |  |
| (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) |  |  |  |  |  |  |  |
| Маса шлаку, т                    |  |  |  |  |  |  |  |
| Основність шлаку                 |  |  |  |  |  |  |  |
| Маса газу, т                     |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Температура, °C</b>           |  |  |  |  |  |  |  |

### 3. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

**3.1. Лабораторна робота №1. Техніко-економічні показники доменної плавки при виробництві чавуну із застосуванням агломерату, окатишів, флюсу і оптимальної кількості коксу**

1. Вихідні дані:

Склад агломерату і окатишів, мас. %:

|           | FeO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | S    | P    |
|-----------|------|--------------------------------|------------------|-------|------|--------------------------------|------|------|------|
| Агломерат | 14   | 58,76                          | 11,39            | 11,13 | 0,93 | 1,83                           | 0,67 | 0,05 | 0,03 |
| Окатиші   | 3,01 | 81,1                           | 13,02            | 0,83  | 1,22 | 0,3                            | 0,06 | 0,01 | 0,01 |

Склад флюсу, мас. %:

|      | FeO  | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | S    | P    | CO <sub>2</sub> |
|------|------|------------------|-------|------|--------------------------------|------|------|------|-----------------|
| Флюс | 0,27 | 1,8              | 53,49 | 0,73 | 0,28                           | 0,06 | 0,08 | 0,01 | 43,02           |

Склад коксу, мас. %

|      | C  | FeO | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | MgO | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | S | P    | H <sub>2</sub> O |
|------|----|-----|--------------------------------|------------------|-----|--------------------------------|-----|---|------|------------------|
| Кокс | 85 | 1,5 | 2                              | 3,5              | 0,2 | 1,5                            | 0,5 | 1 | 0,01 | 3                |

2. За допомогою програми «**Excalibur**» оптимізувати витрату коксу при виробництві чавуну з шихти, що складається з фіксованої маси агломерату 10 т, фіксованої маси окатишів 10 т, фіксованої маси флюсу 2,5 т та коксу за наступних умов:

- середній тиск 150 кПа (1,5 атм);
- температура металу і шлаку  $t = 1520 + \text{номер варіанта}$ , °С;
- мінімальний вміст вуглецю в чавуні 4...4,6 мас. % з інтервалом 0,1%.

3. Зафіксувати й занести в звіт наступні дані:

- а) загальні маси шихти, металу, шлаку і газу, т;
- б) основність шлаку;
- в) склад металу в мас. %;
- г) склад шлаку в мас. % оксидів;
- д) загальна вартість шихтових матеріалів в умовних одиницях.

4. На початку виконання роботи завантажити проект Chavun.fwp, завдання «A+O+K+Ф» та перевірити Опції:

Розрахунок кінцевої температури – Ні;  
 Точний склад кінцевої проби металу – вкл.;  
 Автоматично оцінювати [O] на випуску – вимк.  
 Покращена збіжність, повільніший розрахунок – вимк.  
 Елементний склад шлаку – вимк.

5. Рекомендована форма для занесення даних в звіт:

**Звіт з лабораторної роботи №1 за курсом ТОЕДП, варіант \_\_\_\_\_**  
 студента(ки) гр. \_\_\_\_\_ ( ПІБ)

| Матеріали                         | Оптимальна маса коксу (т) для забезпечення вмісту вуглецю не |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                   | 4  | 4,1 | 4,2 | 4,3 | 4,4 | 4,5 | 4,6 |
| Кокс, т (опт.)                    |  |     |     |     |     |     |     |
| Загальна маса                     |  |     |     |     |     |     |     |
| Вартість ш.м., у. о.              |  |     |     |     |     |     |     |
| <b>Склад металу, мас. %</b>       |  |     |     |     |     |     |     |
| [C]                               |  |     |     |     |     |     |     |
| [Si]                              |  |     |     |     |     |     |     |
| [Mn]                              |  |     |     |     |     |     |     |
| [Al]                              |  |     |     |     |     |     |     |
| [S]                               |  |     |     |     |     |     |     |
| [P]                               |  |     |     |     |     |     |     |
| [O]                               |  |     |     |     |     |     |     |
| Маса металу, т                    |  |     |     |     |     |     |     |
| Відношення ШМ/М                   |  |     |     |     |     |     |     |
| <b>Склад шлаку, мас. %</b>        |  |     |     |     |     |     |     |
| (FeO)                             |  |     |     |     |     |     |     |
| (SiO <sub>2</sub> )               |  |     |     |     |     |     |     |
| (MnO)                             |  |     |     |     |     |     |     |
| (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) |  |     |     |     |     |     |     |
| (CaO)                             |  |     |     |     |     |     |     |
| (MgO)                             |  |     |     |     |     |     |     |
| (S)                               |  |     |     |     |     |     |     |
| (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )  |  |     |     |     |     |     |     |
| Маса шлаку, т                     |  |     |     |     |     |     |     |
| Основність шлаку                  |  |     |     |     |     |     |     |
| Маса газу, т                      |  |     |     |     |     |     |     |
| <b>Температура, °C</b>            |  |     |     |     |     |     |     |

### 3.2. Лабораторна робота №2. Техніко-економічні показники доменної плавки при виробництві чавуну із застосуванням залізної руди, окатишів і оптимальної кількості коксу і флюсу

1. Вихідні дані:

Склад залізної руди і окатишів, мас. %:

|         | FeO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | CaO  | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | S     | P    |
|---------|------|--------------------------------|------------------|------|------|--------------------------------|------|-------|------|
| Fe руда | 5,78 | 67,9                           | 26,9             | 1,45 | 0,52 | 1,82                           | 0,18 | 0,027 | 0,05 |
| Окатиші | 3,01 | 81,1                           | 13,02            | 0,83 | 1,22 | 0,3                            | 0,06 | 0,01  | 0,01 |

Склад флюсу, мас. %:

|      | FeO  | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | S    | P    | CO <sub>2</sub> |
|------|------|------------------|-------|------|--------------------------------|------|------|------|-----------------|
| Флюс | 0,27 | 1,8              | 53,49 | 0,73 | 0,28                           | 0,06 | 0,08 | 0,01 | 43,02           |

Склад коксу, мас. %

|      | C  | FeO | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | MgO | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | S | P    | H <sub>2</sub> O |
|------|----|-----|--------------------------------|------------------|-----|--------------------------------|-----|---|------|------------------|
| Кокс | 85 | 1,5 | 2                              | 3,5              | 0,2 | 1,5                            | 0,5 | 1 | 0,01 | 3                |

2. За допомогою програми «**Excalibur**» оптимізувати шихту, що складається з залізної руди в межах 13...7 т (інтервал 1 т), окатишів в межах 7...13 т (інтервал 1 т), оптимальної маси коксу і оптимальної маси флюсу за наступних умов:

- середній тиск 150 кПа (1,5 атм);
- температура металу і шлаку  $t = 1520 + \text{номер варіанта}$ , °С;
- вміст вуглецю в металі не менше 4,2%;
- основність шлаку не менше 1;

3. Зафіксувати й занести в звіт наступні дані:

- а) загальні маси шихти, металу, шлаку і газу, т;
- б) основність шлаку;
- в) склад металу в мас. %;
- г) склад шлаку в мас. % оксидів;
- д) загальна вартість шихтових матеріалів в умовних одиницях.

4. На початку виконання роботи завантажити проект Chavun.fwp, завдання «Р+О+К+Ф» та перевірити Опції:

- Розрахунок кінцевої температури – Ні;
- Точний склад кінцевої проби металу – вкл.;
- Автоматично оцінювати [O] на випуску – вимк.
- Покращена збіжність, повільніший розрахунок – вимк.

Елементний склад шлаку – вимк.

5. Рекомендована форма для занесення даних в звіт:

**Звіт з лабораторної роботи №2 за курсом ТОЕДП, варіант \_\_\_\_\_**  
студента(ки) гр. \_\_\_\_\_ ( ПІБ)

|                                   | Маса матеріалів (т) за варіантами |    |    |    |    |    |    |
|-----------------------------------|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|
|                                   | а                                 | б  | в  | г  | д  | е  | ж  |
| Fe руда                           | 13                                | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  |
| Окатиші                           | 7                                 | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Кокс (опт.)                       |                                   |    |    |    |    |    |    |
| Флюс (опт.)                       |                                   |    |    |    |    |    |    |
| <b>Загальна маса ш.м.,т</b>       |                                   |    |    |    |    |    |    |
| <b>Вартість ш.м., у. о.</b>       |                                   |    |    |    |    |    |    |
| <b>Склад металу, мас. %</b>       |                                   |    |    |    |    |    |    |
| [C]                               |                                   |    |    |    |    |    |    |
| [Si]                              |                                   |    |    |    |    |    |    |
| [Mn]                              |                                   |    |    |    |    |    |    |
| [Al]                              |                                   |    |    |    |    |    |    |
| [S]                               |                                   |    |    |    |    |    |    |
| [P]                               |                                   |    |    |    |    |    |    |
| [O]                               |                                   |    |    |    |    |    |    |
| Маса металу, т                    |                                   |    |    |    |    |    |    |
| Відношення ШМ/М                   |                                   |    |    |    |    |    |    |
| <b>Склад шлаку, мас. %</b>        |                                   |    |    |    |    |    |    |
| (FeO)                             |                                   |    |    |    |    |    |    |
| (SiO <sub>2</sub> )               |                                   |    |    |    |    |    |    |
| (MnO)                             |                                   |    |    |    |    |    |    |
| (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) |                                   |    |    |    |    |    |    |
| (CaO)                             |                                   |    |    |    |    |    |    |
| (MgO)                             |                                   |    |    |    |    |    |    |
| (S)                               |                                   |    |    |    |    |    |    |
| (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )  |                                   |    |    |    |    |    |    |
| Маса шлаку, т                     |                                   |    |    |    |    |    |    |
| Основність шлаку                  |                                   |    |    |    |    |    |    |
| Маса газу, т                      |                                   |    |    |    |    |    |    |
| <b>Температура, °C</b>            |                                   |    |    |    |    |    |    |

### 3.3. Лабораторна робота №3. Техніко-економічні показники доменної плавки при виробництві чавуну із застосуванням оптимальної кількості агломерату, окатишів, залізної руди двох сортів, коксу і флюсу

1. Вихідні дані:

Склад агломерату, залізної руди і окатишів, мас. %:

|           | FeO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | S     | P     |
|-----------|------|--------------------------------|------------------|-------|------|--------------------------------|------|-------|-------|
| Агломерат | 14   | 58,76                          | 11,39            | 11,13 | 0,93 | 1,83                           | 0,67 | 0,05  | 0,03  |
| Fe руда   | 5,78 | 67,9                           | 26,9             | 1,45  | 0,52 | 1,82                           | 0,18 | 0,027 | 0,05  |
| Fe руда2  | 1,32 | 74,3                           | 21,9             | 0,1   | 0,1  | 0,95                           | 0,15 | 0,012 | 0,035 |
| Окатиші   | 3,01 | 81,1                           | 13,02            | 0,83  | 1,22 | 0,3                            | 0,06 | 0,01  | 0,01  |

Склад флюсу, мас. %:

|      | FeO  | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | S    | P    | CO <sub>2</sub> |
|------|------|------------------|-------|------|--------------------------------|------|------|------|-----------------|
| Флюс | 0,27 | 1,8              | 53,49 | 0,73 | 0,28                           | 0,06 | 0,08 | 0,01 | 43,02           |

Склад коксу, мас. %

|      | C  | FeO | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | MgO | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | S | P    | H <sub>2</sub> O |
|------|----|-----|--------------------------------|------------------|-----|--------------------------------|-----|---|------|------------------|
| Кокс | 85 | 1,5 | 2                              | 3,5              | 0,2 | 1,5                            | 0,5 | 1 | 0,01 | 3                |

2. За допомогою програми «**Excalibur**» оптимізувати шихту, що складається з агломерату (в межах 1...7 т), залізної руди (в межах 1...10 т, ціною 30 у.о./т), залізної руди 2 (в межах 1...10 т, ціною 50 у.о./т), окатишів (в межах 3...12 т), коксу (в межах 4...6 т) і флюсу (в межах 3...8 т) за наступних умов (варіант а):

- середній тиск 150 кПа (1,5 атм);
- температура металу і шлаку  $t = 1520 + \text{номер варіанта}$ , °С;
- вміст вуглецю в металі не менше 4,5%;
- маса рідкого чавуну не менше 10 т.

3. Додати наступні обмеження (умови) за варіантами і оптимізувати:

- б) + основність шлаку не менше 1;
- в) + кількість агломерату в шихті не більше 20%;
- г) + обмежити кількість доменного шлаку до 7 т;
- д) + зняти обмеження за шлаком; забезпечити масу газу, що утворюється, не менше 9 т;
- е) + обмежити кількість доменного шлаку до 7,5 т;
- ж) + змінити ціни на залізну руду: Fe руда – 50 у.о./т; Fe руда2 – 30 у.о./т.

3. Зафіксувати й занести в звіт наступні дані:

- а) загальні маси шихти, металу, шлаку і газу, т;
- б) основність шлаку;
- в) склад металу в мас. %;
- г) склад шлаку в мас. % оксидів;
- д) загальна вартість шихтових матеріалів в умовних одиницях.

4. На початку виконання роботи завантажити проект Chavun.fwp, завдання «А+О+Р2+К+Ф» та перевірити Опції:

Розрахунок кінцевої температури – Ні;  
 Точний склад кінцевої проби металу – вкл.;  
 Автоматично оцінювати [О] на випуску – вимк.  
 Покращена збіжність, повільніший розрахунок – вимк.  
 Елементний склад шлаку – вимк.

5. Рекомендована форма для занесення даних в звіт:

**Звіт з лабораторної роботи №3 за курсом ТОЕДП, варіант \_\_\_\_\_**  
 студента(ки) гр. \_\_\_\_\_ ( ПІБ)

|                             | Маса матеріалів (т) за варіантами |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------------|-----------------------------------|---|---|---|---|---|---|
|                             | а                                 | б | в | г | д | е | ж |
| Агломерат (опт.)            |                                   |   |   |   |   |   |   |
| Окатиші (опт.)              |                                   |   |   |   |   |   |   |
| Fe руда (опт.)              |                                   |   |   |   |   |   |   |
| Fe руда2 (опт.)             |                                   |   |   |   |   |   |   |
| Кокс (опт.)                 |                                   |   |   |   |   |   |   |
| Флюс (опт.)                 |                                   |   |   |   |   |   |   |
| <b>Загальна маса ш.м.,т</b> |                                   |   |   |   |   |   |   |
| <b>Вартість ш.м., у. о.</b> |                                   |   |   |   |   |   |   |
| Склад металу, мас. %        |                                   |   |   |   |   |   |   |
| [C]                         |                                   |   |   |   |   |   |   |
| [Si]                        |                                   |   |   |   |   |   |   |
| [Mn]                        |                                   |   |   |   |   |   |   |
| [Al]                        |                                   |   |   |   |   |   |   |
| [S]                         |                                   |   |   |   |   |   |   |
| [P]                         |                                   |   |   |   |   |   |   |
| [O]                         |                                   |   |   |   |   |   |   |
| Маса металу, т              |                                   |   |   |   |   |   |   |
| Відношення ШМ/М             |                                   |   |   |   |   |   |   |



| Склад шлаку, мас. %               |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| (FeO)                             |  |  |  |  |  |  |  |
| (SiO <sub>2</sub> )               |  |  |  |  |  |  |  |
| (MnO)                             |  |  |  |  |  |  |  |
| (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) |  |  |  |  |  |  |  |
| (CaO)                             |  |  |  |  |  |  |  |
| (MgO)                             |  |  |  |  |  |  |  |
| (S)                               |  |  |  |  |  |  |  |
| (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )  |  |  |  |  |  |  |  |
| Маса шлаку, т                     |  |  |  |  |  |  |  |
| Основність шлаку                  |  |  |  |  |  |  |  |
| Маса газу, т                      |  |  |  |  |  |  |  |
| Температура, °С                   |  |  |  |  |  |  |  |

**3.4. Лабораторна робота №4. Техніко-економічні показники доменної плавки при виробництві чавуну з регламентованим вмістом марганцю із застосуванням оптимальної кількості агломерату, окатишів, залізної руди, марганцевого концентрату, коксу і флюсу**

1. Вихідні дані:

Склад агломерату, залізної руди, марганцевого концентрату і окатишів, мас. %:

|           | FeO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | S     | P    |
|-----------|------|--------------------------------|------------------|-------|------|--------------------------------|------|-------|------|
| Агломерат | 14   | 58,76                          | 11,39            | 11,13 | 0,93 | 1,83                           | 0,67 | 0,05  | 0,03 |
| Fe руда   | 5,78 | 67,9                           | 26,9             | 1,45  | 0,52 | 1,82                           | 0,18 | 0,027 | 0,05 |
| Mn конц   | 0,15 | 7,15                           | 15               | 9,9   | 5    | 6,41                           | 40   | 0,03  | 0,1  |
| Окатиші   | 3,01 | 81,1                           | 13,02            | 0,83  | 1,22 | 0,3                            | 0,06 | 0,01  | 0,01 |

Склад флюсу, мас. %:

|      | FeO  | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | S    | P    | CO <sub>2</sub> |
|------|------|------------------|-------|------|--------------------------------|------|------|------|-----------------|
| Флюс | 0,27 | 1,8              | 53,49 | 0,73 | 0,28                           | 0,06 | 0,08 | 0,01 | 43,02           |

Склад коксу, мас. %

|      | C  | FeO | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | MgO | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | S | P    | H <sub>2</sub> O |
|------|----|-----|--------------------------------|------------------|-----|--------------------------------|-----|---|------|------------------|
| Кокс | 85 | 1,5 | 2                              | 3,5              | 0,2 | 1,5                            | 0,5 | 1 | 0,01 | 3                |

2. За допомогою програми «**Excalibur**» оптимізувати шихту, що складається з агломерату (в межах 1...8 т та не менше 10% від маси шихти), залізної руди (в межах 1...10 т), окатишів (в межах 3...12 т), коксу (в межах 4...6 т), флюсу (не більше 8 т), а також марганцевого концентрату за наступних умов:

- середній тиск 150 кПа (1,5 атм);
- температура металу і шлаку  $t = 1520 + \text{номер варіанта}, ^\circ\text{C}$ ;
- вміст вуглецю в металі не менше 4,5%;
- основність шлаку не менше 1;
- маса рідкого чавуну не менше 10 т;
- вміст марганцю в металі не менше 0,8...2% з інтервалом 0,2% (варіанти а...ж).

3. Зафіксувати й занести в звіт наступні дані:

- а) загальні маси шихти, металу, шлаку і газу, т;
- б) основність шлаку;
- в) склад металу в мас. %;
- г) склад шлаку в мас. % оксидів;
- д) загальна вартість шихтових матеріалів в умовних одиницях.

4. На початку виконання роботи завантажити проект Chavun.fwp, завдання «А+О+Р+Мn+К+Ф» та перевірити Опції:

Розрахунок кінцевої температури – Ні;  
Точний склад кінцевої проби металу – вкл.;  
Автоматично оцінювати [О] на випуску – вимк.  
Покращена збіжність, повільніший розрахунок – вимк.  
Елементний склад шлаку – вимк.

5. Рекомендована форма для занесення даних в звіт:

**Звіт з лабораторної роботи №4 за курсом ТОЕДП, варіант \_\_\_\_\_**  
студента(ки) гр. \_\_\_\_\_ ( ПІБ)

| Матеріали                   | Маса матеріалів (т) за варіантами |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                             | а                                 | б    | в    | г    | д    | е    | ж    |
| Вміст Mn, не менше          | 0,8%                              | 1,0% | 1,2% | 1,4% | 1,6% | 1,8% | 2,0% |
| Агломерат                   |                                   |      |      |      |      |      |      |
| Окатиші                     |                                   |      |      |      |      |      |      |
| Fe руда                     |                                   |      |      |      |      |      |      |
| Mn конц                     |                                   |      |      |      |      |      |      |
| Кокс                        |                                   |      |      |      |      |      |      |
| Флюс                        |                                   |      |      |      |      |      |      |
| Загальна маса ш.м.,т        |                                   |      |      |      |      |      |      |
| Вартість ш.м., у. о.        |                                   |      |      |      |      |      |      |
| <b>Склад металу, мас. %</b> |                                   |      |      |      |      |      |      |
| [C]                         |                                   |      |      |      |      |      |      |

|                                   |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| [Si]                              |  |  |  |  |  |  |  |
| [Mn]                              |  |  |  |  |  |  |  |
| [Al]                              |  |  |  |  |  |  |  |
| [S]                               |  |  |  |  |  |  |  |
| [P]                               |  |  |  |  |  |  |  |
| [O]                               |  |  |  |  |  |  |  |
| Маса металу, т                    |  |  |  |  |  |  |  |
| Відношення ШИМ/М                  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Склад шлаку, мас. %</b>        |  |  |  |  |  |  |  |
| (FeO)                             |  |  |  |  |  |  |  |
| (SiO <sub>2</sub> )               |  |  |  |  |  |  |  |
| (MnO)                             |  |  |  |  |  |  |  |
| (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) |  |  |  |  |  |  |  |
| (CaO)                             |  |  |  |  |  |  |  |
| (MgO)                             |  |  |  |  |  |  |  |
| (S)                               |  |  |  |  |  |  |  |
| (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )  |  |  |  |  |  |  |  |
| Маса шлаку, т                     |  |  |  |  |  |  |  |
| Основність шлаку                  |  |  |  |  |  |  |  |
| Маса газу, т                      |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Температура, °C</b>            |  |  |  |  |  |  |  |

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. **Харченко О. В.**, Синяков Р.В. Програма «EXCALIBUR» – можливості та перспективи використання у металургійному виробництві // *Збірник наукових праць ДонНТУ. Серія: Металургія*. 2005. Вип 102. С. 82-91.
2. **Харченко, О. В.**, Лічконенко Н.В., Мосейко Ю.В. Можливості та перспективи використання програми «Excalibur» у навчальному процесі // *Збірник наукових праць ЗДІА. Металургія*. – 2013. – Вип. 1 (29). – С. 169-175.
3. **Харченко О.В.**, Лічконенко Н.В. Комп'ютерна програма «Excalibur» // Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір №111007 від 12.01.2022р.
4. **Харченко О.В.**, Лічконенко Н.В. Диференціальні коефіцієнти засвоєння в системах контролю сталеплавильного виробництва // *Збірник наукових праць "Металургія"*. 2021. Вип. 1. С. 20-30.
5. **Харченко О. В.** Диференціальні коефіцієнти засвоєння в комп'ютерних системах проєктування і управління плавкою сталі // *Метал та лиття України*. 2021. Том 29. № 2. С. 23-30.
6. **Kharchenko O.V.**, Smirnov O.M. Differential assimilation coefficients (DAC) in computer steelmaking control systems // *Proc. The 5th European Steel Technology and Application Days (ESTAD-2021), August 30 – September 2, 2021, Stockholm, Sweden (ID 32258)*. <https://www.estad2021.com/wp-content/uploads/sites/62/2021/08/Programbook-2-FINAL.pdf>.
7. **Kharchenko O.V.**, Smirnov O.M. Differential assimilation coefficients (DAC) in computer steelmaking control systems // *Proc. The 9<sup>th</sup> EOSC European Oxygen Steelmaking Conference, 6<sup>th</sup> CTSI Clean Technologies in the Steel Industry, October 17–21, 2022, Aachen, Germany*. [https://register.eosc-ctsi.com//papers2021/ppdf\\_eosc\\_3\\_Kharchenko-DAC.pdf](https://register.eosc-ctsi.com//papers2021/ppdf_eosc_3_Kharchenko-DAC.pdf).
8. **Харченко О. В.**, Пономаренко А.Г. Термодинамічне моделювання системи «метал-шлак-газ» з урахуванням тепла хімічних реакцій // *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2004. № 8. С. 40-43.
9. **Харченко О. В.** Термодинамічне моделювання системи «метал-шлак-газ» з урахуванням ентальпійного теплового балансу // *Метал та лиття України*. 2005. № 6. С. 13-17.
10. **Аносов В.Г.**, Цапліна Т.С. Теоретична оцінка ефективності доменної плавки. Конспект лекцій. Запоріжжя : ЗДІА, 2007. 88 с.
11. **Цапліна Т.С.** Теоретична оцінка ефективності доменної плавки. Методичні вказівки до самостійних занять, модульного контролю та контрольних робіт. Запоріжжя : ЗДІА, 2007. 32 с.

12. **Аносов В.Г.** Теорія доменної плавки. Навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 158 с.
13. **Аносов В.Г.,** Цапліна Т.С. Методичне керівництво до виконання технологічних розрахунків по доменному виробництву. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 78 с.
14. **Аносов В.Г.** Теорія і технологія доменної плавки. Теоретична оцінка ефективності доменної плавки. Збірник задач. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 71 с..
15. **Аносов В.Г.** Теорія і технологія доменної плавки. Оцінка ефективності доменної плавки. Методичні вказівки до виконання технологічних розрахунків для курсових та дипломних проєктів і робіт. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 80 с.
16. **Аносов В.Г.** Теорія доменного процесу. Методичні вказівки для проведення лабораторних робіт. Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 27 с.
17. **Рижков В.Г.,** Балалаєва Є.А., Ткаліч І.О. Теорія і технологія виробництва чавуну : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів ЗДІА спеціальності 7.090401 «Металургія чорних металів». Запоріжжя : ЗДІА, 2019. 37 с.
18. **Рижков В.Г.,** Балалаєва Є.А., Ткаліч І.О. Теорія і технологія виробництва чавуну : методичні вказівки до практичних занять і виконання контрольних робіт для студентів ЗДІА спеціальності «Металургія чорних металів». Запоріжжя : ЗДІА, 2019. 26 с.
19. **Товаровський І.Г.** Доменна плавка. Еволюція, хід процесів, проблеми та перспективи. Підр. для вишів. Дніпропетровськ : «Пороги», 2003. 560 с.
20. **Babich A.,** Senk D., Gudenau H.W. et al. Ironmaking Textbook. Aachen : RWTH Aachen University, 2008. 402 p.
21. **Tupkary R.H.,** Tupkary V.R. Modern IronMaking Handbook. Dulles, Boston, New Delhi : Mercury Learning & Information, 2018. 492 p.

Навчально-методичне видання  
(українською мовою)

Харченко Олександр Вікторович

ТЕОРЕТИЧНА ОЦІНКА  
ЕФЕКТИВНОСТІ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ

Методичні вказівки  
до комп'ютерних практичних і лабораторних занять  
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра  
спеціальності 136 «Металургія»  
освітньо-професійної програми «Металургія чорних металів»

Рецензент *О.Г. Кириченко*

Відповідальний за випуск *Ю.О. Белоконь*