

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ ДОМЕННОГО ПРОЦЕСУ

Робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання для
студентів спеціальності 136 – Металургія
(бакалаврський рівень)

*Друкується за Планом видань навчально-методичної
літератури, затвердженим Вченою радою ІПБТ УДУНТ
Протокол № 1 від 24.01.2022*

УДК 669.162.263

Розрахунковий аналіз доменного процесу : робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання для студентів спеціальності 136 – металургія, професійне спрямування «Металургія чавуну» (бакалаврський рівень) / уклад.: А. К. Тараканов, В. Г. Чистяков, М. В. Ягольник, М. М. Бойко – Дніпро : Україн. держ. ун-т науки і технол. 2022. – 15 с.

Наведені рекомендації до вивчення дисципліни, як при аудиторній роботі, так і при самостійній роботі студентів, надані методичні вказівки до вивчення кожного з розділів і література, що рекомендується, питання для самоконтролю, а також варіанти індивідуальних завдань, що виконують студенти в процесі вивчення дисципліни.

Призначена для студентів спеціальності 136 – металургія (металургія чавуну).

Укладачі: А. К. Тараканов, д-р. техн. наук, проф.
В. Г. Чистяков, канд. техн. наук, доц.
М. В. Ягольник, канд. техн. наук, доц.
М. М. Бойко, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск К. Г. Нізяєв, д-р. техн. наук, проф.

Рецензент Є. І. Малий, д-р. техн. наук, проф. (УДУНТ)

Підписано до друку 04.10.2022. Формат 60x84 1/16. Папір друк. Друк плоский.
Облік.-вид. арк. 0,88. Умов. друк. арк. 0,86. Замовлення № 64.

Український державний університет науки і технологій
49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2

Редакційно-видавничий відділ УДУНТ

ЗМІСТ

РОБОЧА ПРОГРАМА.	4
ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ.	5
Лекційний матеріал	5
Практичні завдання.	6
Самостійна робота.	7
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ.	8
ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ.	13
Варіанти індивідуальних завдань.	15
ЛІТЕРАТУРА.	15

РОБОЧА ПРОГРАМА

Загальний обсяг дисципліни «Розрахунковий аналіз доменного процесу» для студентів заочної форми навчання – 120 академічних годин. Розподіл годин за семестрами, видами занять і видами контролю представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Розподіл навчальних годин за семестрами, видами занять і видами контролю

Семестр	Усього, годин	Види занять				Види контролю
		Аудиторні, годин	Лекції, годин	Практичні заняття, годин	Самостійна робота, годин	Індивідуальне завдання
9	120	20	12	8	100	Екзамен

Робоча навчальна програма дисципліни з указівкою тем і методичних вказівок до лекційного матеріалу наведена в розділі «Зміст дисципліни».

При вивченні дисципліни «Розрахунковий аналіз доменного процесу» планується контрольована викладачем індивідуальна робота, що передбачає:

- самостійне вивчення розділів дисципліни, що не викладаються на лекціях;
- вивчення лекційного матеріалу;
- виконання індивідуальної роботи.

Варіанти завдань, методичні вказівки і література для виконання індивідуальної роботи наведено. Індивідуальна робота складається з одного завдання, яке включає 3 запитання. Виконана й оформлена за встановленими правилами індивідуальна робота здається в заочний деканат. Після одержання зарахованої індивідуальної роботи необхідно врахувати всі зазначені викладачем зауваження і внести необхідні виправлення.

Варіанти завдань вибираються за номером у списку групи за алфавітним порядком.

Матеріал програми побудований за дидактичними принципами і кожний новий розділ базується на попередніх. Тому з метою кращого розуміння при вивченні дисципліни варто вивчати розділи програми в послідовності, викладеній нижче.

ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ

Лекційний матеріал (12 годин)

Тема 1. Вступ. Загальні відомості про моделювання технологічних процесів (3 години)

Моделювання. Основні поняття. Вимоги до моделей. Співвідношення між моделлю та системою. Види моделей та їх класифікація за різними критеріями. Математичне моделювання технологічних систем. Вимоги до математичної моделі. Структура математичної моделі. Класифікація математичних моделей. Цілі математичного моделювання для технічних об'єктів і технологічних процесів. Алгоритм побудови моделі. Технології моделювання. Алгоритм побудови аналітичної моделі. Алгоритм побудови емпіричної моделі. Коротка характеристика основних етапів алгоритмів побудови аналітичних і емпіричних моделей. Принципи моделювання та оптимізації доменного процесу.

Тема 2. Математичне моделювання процесів завантаження та газодинаміки доменної печі (3 години)

Загальні відомості про фізико-хімічні процеси, які відбуваються при завантаженні матеріалів у домену піч. Основні фізичні закономірності руху матеріалів при завантаженні в домену піч. Побудова математичних моделей для розрахунку швидкості зсипання та траєкторії руху часток матеріалів при завантаженні в домену піч. Особливості моделювання процесів завантаження з використанням безконусних завантажувальних пристроїв.

Основні принципи газодинаміки. Газодинамічні особливості доменної печі. Основні фізичні закономірності руху газів крізь шар матеріалів в доменній печі. Побудова математичних моделей для розрахунку газодинамічних показників доменної печі.

Тема 3. Моделювання теплообмінних процесів, що протікають у доменній печі (3 години)

Загальні відомості про фізико-хімічні процеси, які відбуваються при в доменній печі та впливають на теплообмін між газом і матеріалами. Основні закономірності теплообміну в доменній печі. Побудова математичних моделей

для розрахунку температури матеріалів та газу за висотою доменної печі. Особливості моделювання теплообмінних процесів в доменній печі при використанні пилувугільного палива.

Тема 4. Математичне моделювання процесів відновлення та шлакоутворення в доменній плавці (3 години)

Загальні відомості про фізико-хімічні процеси, які відбуваються при відновленні металів в доменній печі. Основні механізми протікання реакцій відновлення в доменній печі. Аналіз факторів, що впливають на швидкість відновлення в доменній печі. Побудова математичних моделей для розрахунку швидкості відновлення в домену піч.

Загальні відомості про фізико-хімічні процеси, які відбуваються при плавленні матеріалів та шлакоутворенні в доменній печі. Основні властивості доменних шлаків. Аналіз факторів, що впливають на властивості шлаків в доменній печі. Побудова математичних моделей для розрахунку властивостей шлаків, які утворюються в доменній печі.

Практичні заняття (8 годин)

1. Організація статистичних обчислень і побудова діаграм у програмі «EXCEL». Поняття табличних процесорів і електронних таблиць на прикладі програми «EXCEL». Порядок введення даних у таблиці «EXCEL» та редагування їх змісту. (2 години)

2. Розрахунки основних параметрів завантаження, та газодинаміки доменної печі з використанням таблиці «EXCEL». Оцінка впливу технологічних параметрів на ефективність завантаження матеріалів у домену піч. (2 години)

3. Розрахунки теплообмінних процесів, що протікають в доменній печі з використанням таблиці «EXCEL». Оцінка впливу технологічних параметрів на протікання теплообмінних процесів між газом та шихтовими матеріалами у доменній печі. (2 години)

4. Розрахунки процесів відновлення та шлакоутворення в доменній плавці з використанням таблиці «EXCEL». Оцінка впливу технологічних параметрів на ефективність відновлення матеріалів та властивості шлаків, що утворюються в доменній печі. (2 години)

Самостійна робота (100 годин)

Тема 1. Аналогове моделювання

(25 годин) [3; 5; 6, с. 12-34]

Контрольні питання:

1. Назвіть визначення терміну аналогове моделювання.
2. Назвіть основні особливості аналогових моделей.
3. Охарактеризуйте принцип побудови аналогових моделей.
4. Наведіть і опишіть аналогову модель будь-якого процесу доменної печі.
5. Опишіть структуру та принцип побудови математичних аналогових моделей.
6. Перерахуйте переваги та недоліки аналогового моделювання.

Тема 2. Розрахунковий аналіз агломераційного процесу

(25 годин) [1; 2; 3, с. 64-79]

Контрольні питання:

1. Наведіть основні відомості про фізико-хімічні процеси, які відбуваються при агломерації залізородних матеріалів.
2. Охарактеризуйте основні фізичні закономірності огрудкування агломераційних шихт.
3. Опишіть принципи побудови математичних моделей для розрахунку параметрів процесу огрудкування агломераційних шихт.
4. Охарактеризуйте основні фізичні закономірності спікання агломераційних шихт.
5. Опишіть принципи побудови математичних моделей для розрахунку параметрів процесу спікання агломераційних шихт.
6. Опишіть принципи побудови математичних моделей для оцінки якості залізородного агломерата.

Тема 3. Розрахунковий аналіз процесу виробництва окатишів (25 годин) [1; 2; 3, с. 64-79]

Контрольні питання:

1. Наведіть основні відомості про фізико-хімічні процеси, які відбуваються при обпалі залізородних окатишів.

2. Охарактеризуйте основні фізичні закономірності огрудкування залізорудних окатишів. Наведіть основні властивості сирих окатишів.
3. опишіть принципи побудови математичних моделей для розрахунку параметрів процесу огрудкування залізорудних окатишів.
4. Охарактеризуйте основні фізичні закономірності спікання залізорудних окатишів.
5. опишіть принципи побудови математичних моделей для розрахунку параметрів процесу спікання залізорудних окатишів.
6. опишіть принципи побудови математичних моделей для оцінки якості залізорудних окатишів.

**Тема 4. Розрахунковий аналіз процесів нагріву і подачі дуття
(25 годин) [1; 2; 5; 6, с. 85-102]**

Контрольні питання:

1. Наведіть основні відомості про фізико-хімічні процеси, які відбуваються при нагріві доменного дуття.
2. Охарактеризуйте основні фізичні закономірності нагріву дуття. Наведіть загальну схему нагріву дуття.
3. опишіть принципи побудови математичних моделей для розрахунку параметрів нагріву дуття.
4. опишіть схему подачі дуття в домену піч, перерахуйте основні параметри дуття.
5. опишіть принципи побудови математичних моделей для подачі дуття в домену піч.
6. опишіть принципи побудови математичних моделей для розрахунку параметрів струменя дуття при вдуванні в домену піч.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Приклад розрахунку кількості та складу колошникового газу

Позначки, що використовуються

К – витрата коксу на 100 кг чавуну, кг;

А – витрата агломерату на 100 кг чавуну, кг;

O – витрата обкотишів на 100 кг чавуну, кг;

$P_{марг}$ – витрата марганцевої руди на 100 кг чавуну, кг;

$Fe_{\hat{a}}, Si_{\hat{a}}, Mn_{\hat{a}}, S_{\hat{a}}, D_{\hat{a}}, \tilde{N}_{\hat{a}}$ – вміст відповідних елементів у чавуні, %;

r_d – ступінь прямого відновлення заліза, частки одиниці;

Γ – витрата природного газу на 100 кг чавуну, нм^3 ;

$CH_{4г}, C_2H_{6г}, C_3H_{8г}, CO_{2г}, N_{2г}$ та інш. – вміст відповідних компонентів у природному газі, %;

A_K, S_K, V_K, C_K, W_K – вміст у коксі золи, сірки, летких речовин, нелеткого вуглецю та вологи, %;

$H_{2орг}, O_{2орг}, N_{2орг}$ – вміст відповідних компонентів у органічній масі коксу, %;

$CO_{2лк}, CO_{лк}, H_{2лк}, CH_{4лк}, N_{2лк}$ – вміст відповідних газів у летких речовинах коксу, %;

$Fe_{3к}, SiO_{23к}, Al_2O_{33к}$ та інш. – вміст відповідних речовин у золі коксу, %;

$C_{фк}$ – кількість вуглецю коксу, що згоряє біля фурм, кг/100 кг чавуну;

$Fe_a, FeO_a, Mn_a, CaO_a, MgO_a$ та інш. – вміст відповідних речовин в агломераті, %;

$Fe_o, Mn_o, SiO_{2o}, CaO_o, S_o, MgO_o$ та інш. – вміст відповідних речовин в обкотишах, %;

$Mn_p, Fe_p, SiO_{2p}, S_p$ та інш. – вміст відповідних речовин у марганцевій руді, %;

W_p – вологість марганцевої руди, %;

$\left(\frac{CaO + MgO}{SiO_2} \right)_{шл}$ – основність шлаку, частки одиниці;

$\Pi_K, \Pi_a, \Pi_o, \Pi_p$ – винесення з печі у вигляді пилу коксу, агломерату, обкотишів та марганцевої руди, %;

$CO_{2кг}, CO_{кг}, H_{2кг}, N_{2кг}$ – вміст відповідних компонентів у колошниковому газі, %;

V_{∂} – витрата дуття, $\text{м}^3/100$ кг чавуну;

V_{K2} – вихід колошникового газу, $\text{м}^3/100$ кг чавуну;

$V_{H_2K2}, V_{CO_2K2}, V_{COK2}, V_{N_2K2}$ – об'єми відповідних компонентів колошникового газу, $\text{м}^3/100$ кг чавуну;

V_n – корисний об'єм доменної печі, м^3 ;

T – добова продуктивність печі, тис. т/добу;

$O_{2\partial}$ – вміст кисню в дутті, %;

$O_{2c\partial}$ – вміст кисню в сухому дутті, %;

t_{∂} – температура дуття, °С;

f_{∂} – вологість дуття, %.

Розрахунок кількості водню у колошниковому газі

Утворюється водню при неповному горінні у доменній печі природного газу:

$$V_{H_{2z}} = G \cdot (2 \cdot CH_{4z} + 3 \cdot C_2H_{6z} + 4 \cdot C_3H_{8z} + 5 \cdot C_4H_{10z} + 6 \cdot C_5H_{12z}) \cdot 0.01, \\ \text{м}^3/100 \text{ кг чавуну.}$$

Утворюється водню з вологи дуття відповідно до реакції $H_2O + C = H_2 + CO$:

$$V_{H_{2вл}} = V_{\partial} \cdot f_{\partial} \cdot 0.01, \text{ м}^3/100 \text{ кг чавуну};$$

Водень летких речовин коксу:

$$V_{H_{2лк}} = K \cdot V_k \cdot H_{2лк} \cdot 10^{-4} \cdot \frac{22,4}{2}, \text{ м}^3/100 \text{ кг чавуну.}$$

Водень органічної маси коксу:

$$V_{H_{2орг}} = K \cdot H_{2орг} \cdot 0.01 \frac{22,4}{2}, \text{ м}^3/100 \text{ кг чавуну.}$$

Приймаємо, що на реакції непрямого відновлення витрачається 1/3 частина водню, що утворюється у доменній печі.

Усього у колошниковому газі водню:

$$V_{H_{2K2}} = (V_{H_{2z}} + V_{H_{2вл}} + V_{H_{2лк}} + V_{H_{2орг}}) \cdot \frac{2}{3}, \text{ м}^3/100 \text{ кг чавуну.}$$

Розрахунок кількості CO₂ у колошниковому газі

Основне джерело CO₂ у доменному газі – це відновлення оксидів заліза за допомогою CO. Вищі оксиди заліза (Fe₂O₃ та Fe₃O₄) відновлюються до FeO повністю за реакціями непрямого відновлення. Для зручності обчислень будемо умовно вважати, що на цій стадії непряме відновлення оксидів заліза проходить виключно за участю CO, а водень працює як відновлювач лише на стадії відновлення FeO до Fe. Таке припущення не змінює результатів розрахунку.

У даних про хімічний склад агломерату та обкотишів звичайно вказують загальний вміст Fe та вміст FeO. Природно, ані металевого заліза, ані FeO у вільному стані у залізородних матеріалах немає. Указана кількість FeO входить до складу інших сполучень, але для розрахункового аналізу процесів відновлення будемо умовно вважати це FeO вільним оксидом. Усе інше залізо будемо вважати таким, що знаходиться у вигляді Fe₂O₃.

Усього Fe₂O₃ у шихті:

$$Fe_2O_{3ш} = \left[Fe_{чуг} - 0.01 \cdot (A \cdot FeO_a + O \cdot FeO_o) \cdot \frac{56}{72} \right] \cdot \frac{160}{56 \cdot 2}, \text{ кг/100 кг чавуну,}$$

де 56 – атомна маса заліза,

72 та 160 – молекулярні маси FeO та Fe₂O₃.

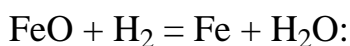
Кількість CO₂, що утворюється при відновленні Fe₂O₃ до FeO відповідно до реакції Fe₂O₃ + CO = 2FeO + CO₂:

$$Fe_2O_{3ш} \cdot \frac{22.4}{160}, \text{ м}^3/100 \text{ кг чавуну.}$$

Відновлюється заліза з FeO непрямым шляхом:

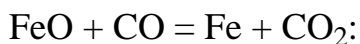
$$Fe_{\text{в}} \cdot (1 - r_d), \text{ кг/100 кг чавуну.}$$

З цієї кількості відновлюється заліза воднем відповідно до реакції



$$V_{H_2кг} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{56}{22.4}, \text{ кг/100 кг чавуну.}$$

Відновлюється заліза внаслідок реакції



$$\left[Fe_{\text{в}} \cdot (1 - r_d) - V_{H_2кг} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{56}{22.4} \right], \text{ кг/100 кг чавуну.}$$

При цьому утворюється CO₂:

$$\left[Fe_{\text{в}} \cdot (1 - r_d) - V_{H_2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{56}{22.4} \right] \cdot \frac{22.4}{56}, \text{ м}^3/100 \text{ кг чавуну.}$$

3.5.2.6 Усього утворюється CO₂ при відновленні оксидів заліза:

$$V_{\text{CO}_2} = Fe_2O_3 \cdot \frac{22.4}{160} + \left[Fe_{\text{в}} \cdot (1 - r_d) - V_{H_2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{56}{22.4} \right] \cdot \frac{22.4}{56},$$

м³/100 кг чавуну.

CO₂ летких речовин коксу:

$$V_{CO_2 \text{лк}} = K \cdot V_K \cdot CO_{2 \text{лк}} \cdot 10^{-4} \cdot \frac{22.4}{44}, \text{ м}^3/100 \text{ кг чавуну.}$$

Кількість CO₂ у колошниковому газі:

$$V_{\text{CO}_2} = V_{CO_2 \text{в}} + V_{CO_2 \text{лк}}.$$

Розрахунок кількості CO у колошниковому газі

Основними джерелами CO є горіння вуглецю палива у фурм та процеси прямого відновлення. Частина CO, що утворюється у доменній печі, бере участь у реакціях непрямого відновлення та переходить у CO₂.

При горінні палива у фурм з кожного м³ кисню вологого дуття утворюються два об'єми CO, а усього:

$$V_{CO_2 \text{ор}} = 2 \cdot V_{\text{O}_2} \cdot 0.01, \text{ м}^3/100 \text{ кг чавуну.}$$

Утворюється CO у результаті реакцій прямого відновлення, які вже розглядалися у підрозділі 4.1:

$$V_{CO \text{д}} = Fe_{\text{в}} \cdot r_d \cdot \frac{22.4}{56} + Si_{\text{в}} \cdot \frac{2 \cdot 22.4}{28} + Mn_{\text{в}} \cdot \frac{22.4}{55}, \text{ м}^3/100 \text{ кг чавуну.}$$

CO летких речовин коксу:

$$V_{CO \text{лк}} = K \cdot V_K \cdot CO_{\text{лк}} \cdot 10^{-4} \cdot \frac{22.4}{28}, \text{ м}^3/100 \text{ кг чавуну.}$$

Переходить CO у CO₂ у результаті реакцій непрямого відновлення:

$$V_{CO \text{і}} = V_{CO_2 \text{в}}, \text{ м}^3/100 \text{ кг чавуну.}$$

Кількість CO у колошниковому газі:

$$V_{CO \text{кз}} = V_{CO_2 \text{ор}} + V_{CO \text{д}} + V_{CO \text{лк}} - V_{CO \text{і}}, \text{ м}^3/100 \text{ кг чавуну.}$$

Розрахунок кількості азоту у колошниковому газі

Вноситься азоту з вологим дуттям:

$$V_{N_{2d}} = V_d \cdot (1 - O_{2d} \cdot 0.01) \cdot (1 - f_d \cdot 0.01), \text{ м}^3/100 \text{ кг чавуну.}$$

Азот летких коксу:

$$V_{N_{2лк}} = K \cdot V_k \cdot N_{2лк} \cdot 10^{-4} \cdot \frac{22.4}{28}, \text{ м}^3/100 \text{ кг чавуну.}$$

Азот органічної маси коксу:

$$V_{N_{2орг}} = K \cdot N_{2орг} \cdot 0.01 \cdot \frac{22.4}{28}, \text{ м}^3/100 \text{ кг чавуну.}$$

Азот природного газу:

$$V_{N_{2г}} = G \cdot N_{2г} \cdot 0.01, \text{ м}^3/100 \text{ кг чавуну.}$$

Усього азоту у колошниковому газі:

$$V_{N_{2кг}} = V_{N_{2d}} + V_{N_{2лк}} + V_{N_{2орг}} + V_{N_{2г}}, \text{ м}^3/100 \text{ кг чавуну.}$$

Кількість та склад колошникового газу

Компонент	м ³ /100кг чавуну	%
CO ₂		
CO		
H ₂		
N ₂		
Підсумок		100.00

У першу колонку заносяться значення $V_{CO_{2кг}}, V_{COкг}, V_{H_{2кг}}, V_{N_{2кг}}$.

Відсотковий вміст у колошниковому газі кожного компонента визначається після обчислення сумарного виходу колошникового газу на 100 кг чавуну.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Методичні вказівки до виконання індивідуального завдання

Індивідуальні завдання мають 12 варіантів. Студент повинен виконати варіант, номер якого відповідає номеру у списку групи за алфавітним порядком.

Варіант складається із трьох питань. При виконанні індивідуального завдання необхідно дати конкретну відповідь на кожне питання.

Виконувати завдання необхідно після засвоєння всієї програми дисципліни, тому що завдання включає питання з різних тем і відповіді на них вимагають знання попереднього матеріалу. Індивідуальне завдання складається з трьох питань, розгорнуті відповіді на які можна знайти в рекомендованій літературі.

Питання для індивідуальних завдань

1. Загальні відомості про моделювання технологічних процесів.
2. Види моделювання.
3. Математичне моделювання технологічних систем.
4. Принципи моделювання доменного процесу.
5. Принципи оптимізації доменного процесу.
6. Математичне моделювання завантаження доменної печі конусними пристроями.
7. Математичне моделювання завантаження доменної печі безконусними пристроями.
8. Математичне моделювання газодинаміки доменної печі.
9. Моделювання теплообмінних процесів, що протікають у доменній печі між газом та матеріалами.
10. Математичне моделювання процесів відновлення заліза та інших елементів в доменній плавці.
11. Математичне моделювання шлакоутворення в доменній плавці.
12. Аналогове моделювання.
13. Організація статистичних обчислень за допомогою прикладних комп'ютерних програм.
14. Рух газу у нерівномірно розосередженому шарі.
15. Отримання математичних моделей доменного процесу з використанням планування експерименту на основі багаторівневих композиційних планів.
16. Моделювання насичення вуглецем чавуну.
17. Моделювання розкладання вапняку
18. Моделювання випаровування вологи.
19. Вплив підйомної сили газу на шихту у доменній печі.
20. Рух газу у рівномірно розосередженому шарі.

**Варіанти індивідуальних завдань з дисципліни
«Розрахунковий аналіз доменного процесу»**

№ варіанта	Порядковий номер питання
1	1, 10, 11
2	2, 8, 12
3	3, 4, 13
4	4, 7, 14
5	5, 8, 15
6	6, 9, 16
7	7, 10, 17
8	8, 11, 18
9	9, 12, 19
10	10, 13, 20
11	2, 7, 10
12	4, 10, 13

ЛІТЕРАТУРА

1. Ефименко Г. Г., Гиммельфарб А. А., Левченко В. Е. *Металлургия чугуна* : учебник. Киев : Вища школа, 1988. 351с.
2. Рамм А. Н. *Современный доменный процесс*. М. : Металургія, 1980. 304 с.
3. *Моделювання технологічних процесів у середовищі Microsoft Excel* / М. В. Терещенко, Є. М. Харченко, В. М. Ковшов та ін. Дніпропетровськ : Пороги, 2005. 266 с.
4. *Расчеты металлургических процессов на ЭВМ* : учебное пособие для ВУЗов / Рыжонков Д. И., Падерин С. Н., Серов Г. Ю. и др. М. : Металлургия, 1987. 231с.
5. Ковшов В. Н., Петренко В. А., Верещак В. И. *Моделирование доменного процесса*. Днепропетровск : Институт технологии, 1997. 109 с.
6. Ковшов В. Н., Петренко В. А. *Экспериментальные исследования движения шихты и газа в доменной печи*. Днепропетровск : Институт технологи, 1996. 124 с.