

**Робоча програма**  
методичні вказівки і контрольні  
завдання дисципліни  
**«ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ»**  
для студентів спеціальності 7.090401  
спеціалізації – металургія чавуну

Дніпропетровськ Нметау

2008

УДК 62.669

Ковшов В.Н. Методичні вказівки до практичних занять по дисципліні «Основи наукових досліджень» для студентів спеціальності 7.090401 спеціалізацій – металургія чавуну. – Дніпропетровськ: Нметау, 2008. – 36 с.

Приведені робоча програма, методичні вказівки і контрольні завдання до поглибленого вивчення дисципліни «Основи наукових досліджень». Розроблені варіанти для розрахункових завдань і дані для них конкретні приклади для кращого розуміння і прискореного їх виконання, методика розрахунку деяких завдань в системі “EXCEL”.

Призначені для студентів спеціальності 7.090401 – металургія чорних металів, спеціалізації – металургія чавуну заочної форми навчання

Укладач В.М. Ковшов, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний за випуск А.К.Тараканов, д-р техн. наук, проф.

Рецензент Б.М. Бойченко д-р техн. наук, проф. (Нметау)

## ЗМІСТ

РОБОЧА ПРОГРАМА по дисципліні «Основи наукових досліджень».....	4
1. РЕФЕРУВАННЯ НАУКОВИХ СТАТЕЙ.....	6
2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....	7
3. ВИЗНАЧЕННЯ ЕМПІРИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ.....	9
4. ВІДСЛЮВАННЯ ЧИННИКІВ ПРИ ПЛАНУВАННІ ЕКСПЕРИМЕНТУ І ОТРИМАННЯ БАГАТОФАКТОРНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ.....	17
5. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ НАБЛИЖЕНИМИ МЕТОДАМИ.....	22
6. ТЕОРЕТИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ МАТЕМАТИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ (МОДЕЛЕЙ).....	28
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	34
ДОДАТОК. Приклади розрахунків залежностей в MS “Excel”.....	35
Приклад П.1. Розрахунок однофакторної математичної залежності методами регресійного і кореляційного аналізів за допомогою пасивного експерименту.....	35
Приклад П.2. Розрахунок двохфакторної математичної залежності методом планування експерименту за допомогою активного експерименту.....	36

## РОБОЧА ПРОГРАМА

Тема 1. Введення. Наука – продуктивна сила розвиненого суспільства. Організація науки і основи методології наукових досліджень.

Тема 2. Методи теоретичних і експериментальних досліджень доменного процесу. Пошук, накопичення і обробка наукової інформації. Методи, використовувані на теоретичному і емпіричному рівні розвитку, їх суть, можливості і обмеження.

Тема 3. Планування експерименту. Цілі, завдання і можливості планування. Вибір чинників і параметрів оптимізації, їх визначення для доменного процесу. Області визначення чинників, кодування. Статистична оцінка експерименту. Визначення помилки експерименту, розрахунок довірчих інтервалів, відсів чинників. Методи відшукування оптимуму. Круте сходження, послідовний сімплексний метод і його модифікації.

Тема 4. Математичний опис досліджуваного процесу. Суть і класифікація методів математичного моделювання. Детерміновані моделі. Активний експеримент, його особливості і можливості при дослідженні доменного процесу.

Стандартні плани і можливості їх застосування для опису явищ доменного процесу. Обчислення коефіцієнтів регресії. Отримання поліномів і перевірка їх адекватності. Сімплексно-гратчасті плани для математичного опису системи "склад-властивість".

Пасивний експеримент. Стохастичні моделі. Застосування ймовірностно-статистичних методів для визначення реальних зв'язків при дослідженні доменного процесу. Методи підбору емпіричних формул.

Тема 5. Представлення (інтерпретація) результатів дослідження, представлених у вигляді математичної моделі. Методи наближеного вирішення математичних моделей, представлених диференціальними і інтегральними рівняннями. Графічний аналіз моделі. Раціональні методи

графічного зображення багатфакторних процесів. Теоретична оптимізація. Визначення екстремуму по математичній моделі. Компромісна оптимізація.

Тема 6. Оформлення і впровадження результатів наукових досліджень. Форма представлення результатів наукових досліджень. Науковий звіт. Особливості впровадження. Підготовка до публікації наукових матеріалів у пресі. Основні принципи і методи управління науковим колективом. Основи діловодства.

### Література, що рекомендується

#### Основна

1. Основи наукових досліджень /В.И.Баптизманский, Г.А.Воловік, Б.І.Емлін і ін. - Київ - Донецьк: Віща школа, 1985. - 205 с.
2. Ковшов В.Н. Постановка інженерного експеримента. - Київ-Донецьк: Віща школа, 1982. - 120 с.
3. Ковшов в.М. Основи наукових досліджень. Конспект лекцій. – Дніпропетровськ: Нметау, 2005. – 44 с.
4. Моделювання технологічних процесів у середовищі Microsoft Excel. Навчальний посібник // М.В. Терещенко, Є.М. Харченко, В.М. Ковшов та інші. – Дніпропетровськ: Пороги, 2005.- 268 с.

#### Додаткова

5. Основи наукових досліджень в ливарному виробництві / А.Е. Кривошиїв, Г.Е. Белей, О.В. Соценко і ін. – Київ-Донецьк: Віща школа, 1979. – 168 с.
6. Основи наукових досліджень / В.І. Круглов, І.М. Грушко, В.В. Попів і ін. – М.: Вища школа, 1989. – 400 с.

### 1. РЕФЕРУВАННЯ НАУКОВИХ СТАТЕЙ

Склад реферату: бібліографічні дані; мета статті; короткий її зміст; методика дослідження; основні висновки; достоїнства і недоліки статті; список використаної літератури по темі.

З отриманих рефератів статей, як правило, складається огляд літератури по історичному, технологічному або іншій ознаці. Це необхідно враховувати при складанні рефератів.

Зробити виводи про те, що зроблене по дослідженню даної проблеми і чого ще немає, відзначити недоліки, щоб уникнути їх в своїх дослідженнях, намітити напрям подальших досліджень, де дати рекомендації по виправленню або усуненню недоліків в дослідженнях прореферованої статті.

Таблиця 1.1

Варі-ант	Бібліографія реферованої статті
<i>1</i>	<i>2</i>
1	Дослідження радіального розподілу шихти на моделі доменної печі, обладнаної рухомими елементами // В.Н.Ковшов, В.Г.Чистяков, Д.А.Сторожік і ін., – Звістки Вузів. ЧМ, 1979. – №8. – С.144–147.
2	Дослідження стійкості засипних апаратів в сучасних умовах доменної плавки // В.Н.Никіфоров, В.Н.Ковшов, В.А.Петренко, А.Я.Ткач. – Металургійна і гірничорудна промисловість. – 1980. – №1. – С.10–11.
3	Ковшов в.Н., Чистяков в.Г., Зозуля г.С. Дослідження радіального розподілу шихти бесконусним завантажувальним пристроєм з лотком, що обертається. - В сб. Металургія і коксохімія. - К.: Техніка, 1980. - №70. - С.38-41.
4	Ковшов в.Н., Чистяков в.Г., Зозуля г.С. Дослідження закінчення шихтових матеріалів з бункерів завантажувального пристрою доменної печі. - Вісті Вузів. ЧМ, 1980. - С.126-130.
5	Ковшов в.Н., Петренко в.А., Терещенко н.В. Закономірності зміни локальній порозности в однорідній рухомій шихті. - Вісті Вузів. ЧМ, 1981. - №7. - С.21-24.
<i>1</i>	<i>2</i>
6	Ковшов в.Н. Формування поверхні засипи доменної печі сучасними завантажувальними пристроями. Повідомлення 1.- Звістки Вузів. ЧМ, 1982.- №12.- С.8-12.
7	Дослідження взаємовпливу чинників завантаження на радіальний розподіл шихти // В.Г.Чистяков, В.Н.Ковшов, Н.В.Терещенко,

	В.А.Петренко.- Звістки Вузів. ЧМ, 1983.- №8. - С.1-4.
8	Дослідження закономірностей розподілу статичного тиску в шарі шихти // В.Н.Ковшов, В.Г.Чистяков, С.Г.Борісов і др.- Вісті Вузів. ЧМ, 1983.- №10.- С.16-19.
9	Газодинамічна оцінка процесу накопичення продуктів доменної плавки // В.Н.Ковшов, Н.А.Егоров, В.А.Петренко, В.І.Верещак. - Вісті Вузів. ЧМ, 1984. - №3. - С.29-33.
10	Вплив режиму завантаження на розподіл газових навантажень по перетину доменної печі // В.А.Петренко, В.Н.Ковшов, С.М.Валявін, Н.В.Терещенко. - Вісті Вузів. ЧМ, 1984. - №10. - С.29-32.
11	Борісов с.Г., Ковшов в.Н., Петренко в.А. Вплив режиму сходу стовпа матеріалів на радіальний розподіл шихти.- Вісті Вузів. ЧМ, 1986.- №4.- С.154.
12	Ковшов в.Н. Визначення порозности потоку шихти, що зсипається з великого конуса. – В сб. Проблеми металургійного виробництва. - К.: Техніка, 1991. - №104. - С.68-69.

Окрім даного списку для реферування можуть бути використані інші джерела технічної літератури.

## 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

### 2.1. Послідовність аналізу технологічного процесу:

- короткий опис суті аналізованого процесу (явища);
- які фізичні (хімічні, механічні і ін.) закони існують в аналізованому процесі (явищі);
- чи є математичний опис процесу (явища):
- модель концептуальна, математична;
- рівень опису (досконалий, недосконалий);
- методика, її рівень;
- як реалізується процес (механізм реалізації);
- механізм має якісь недоліки;

- як можна виправити недоліки (поліпшити процес).

Виводи:

- процес вивчений (не вивчений, вивчений не повністю);
- процес економічний (не економічний)?

Таблиця 2.1.

Варі- ант №	Найменування аналізованого процесу
1	Процес завантаження шихтових матеріалів в доменну пекти
2	Рух газу в сухій зоні доменної печі
3	Рух газу в нижній зоні доменної печі
4	Рух шихтових матеріалів в доменній печі
5	Відновлення оксидів заліза непрямим шляхом
6	Пряме відновлення в доменному процесі
7	Утворення чавуну і шлаку
8	Десульфурація в доменному процесі
9	Внедоменная десульфурація чавуну
10	Застосування гарячого дуття в доменному процесі
11	Вдування паливних добавок в доменну пекти

Окрім даного списку для аналізу можуть бути використані і інші технологічні процеси.

*Дати приклад.*

### 3. ВИЗНАЧЕННЯ ЕМПІРИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ

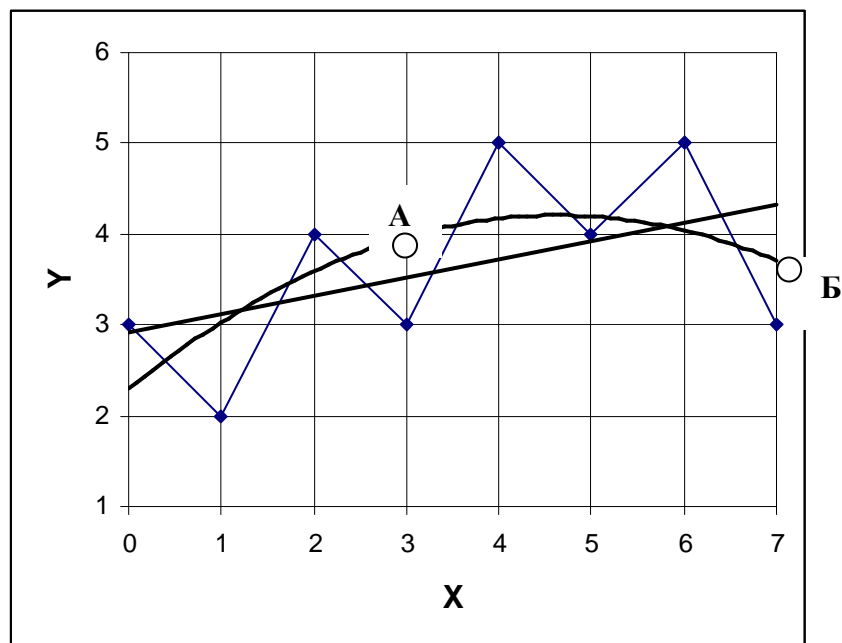
#### 3.1. Графічний метод

У табл. 3.1 дані табличні дані пасивного експерименту, по яких необхідно отримати математичну залежність функції від чинника (аргументу)  $X$ .

Таблиця 3.1

№	X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	0	3	3	0	9
2	1	2	2	1	4
3	2	4	8	4	16
4	3	3	9	9	9
5	4	5	20	16	25
6	5	4	20	25	16
7	6	5	30	36	25
8	7	3	21	49	9
У	28	29	113	140	113

Побудуємо графік в координатах X, Y



Мал. 3.1. Залежність функції Y від аргументу (чинника) X

З'єднаємо експериментальні крапки послідовно по осі X прямими лініями і методом згладжування визначимо пряму, орієнтування відповідну усередненому розташуванню поля крапок на графіці мал. 3.1. Ця лінія відповідає відрітку полінома з двома членами рівняння в правій частині  $y = a_0 + a_1x$ . Нижній кінець прямої відсікає на осі Y значення вільного члена  $a_0 = 3$ , а тангенс кута нахилу лінії є  $a_1 = 1,5 / 7 = 0,214$ . Отже, математичний опис прямої лінії

$$Y = 3 + 0,214 X \quad (3.1)$$

### 3.2. Метод вибраних крапок

Знайдене рівняння прямої візуально не зовсім відповідає розташуванню крапок на графіці мал. 3.1, тому проведемо реальнішу криву лінію і застосуємо для її математичного опису метод вибраних крапок. Для цього виберемо дві тугу на кривій А і Б і для кожної крапки складемо квадратичне рівняння з чисельними координатами з графіка:

- для крапки А:  $4,0 = 2,3 + a_1 * 3 + a_2 * 32$ ;
- для крапки Б:  $3,5 = 2,3 + a_1 * 7 + a_2 * 72$ .

Вирішимо ці рівняння щодо невідомих, визначивши з першого рівняння  $a_2$  і підставивши його в друге:

$$a_2 = (1,7 - 3a_1) / 9; \quad 3,5 = 2,3 + 7a_1 + 49 * (1,7 - 3a_1) / 9.$$

Знайдемо з другого рівняння  $a_1 = 0,86$  і з першого  $a_2 = - 0,1$ , отже, рівняння, що описує дану криву, запишеться в наступному вигляді:

$$Y = 2,3 + 0,86 X - 0,1 X^2.$$

Перевіримо правильність розрахунку, підставивши в це рівняння будь-яке значення  $X$ , наприклад 2:  $Y = 2,3 + 0,86 * 2 - 0,1 * 2^2 = 3,62$ , порівняний зі свідченням графіка – 3,6; констатуємо – різниця незначна, означає формула вірна.

### 3.3. Метод найменших квадратів

При встановленні кількісного зв'язку спочатку вибираємо лінійне рівняння  $Y = a_0 + a_1 X$ , постійні коефіцієнти яких  $a_0$  і  $a_1$  розраховуємо за допомогою методу найменших квадратів по формулах

$$a_1 = (N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i) / (N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2); \quad a_0 = (\sum y_i - a_1 \sum x_i) / N \quad (3.2)$$

де  $N$  – кількість досвідчених крапок, а суми ( $\sum$ ) беруться з таблиці 3.1 первинних даних.

$$a_1 = (8 * 113 - 28 * 29) / (8 * 140 - 28^2) = 92 / 336 = 0,274;$$

$$a_0 = (29 - 0,274 * 28) / 8 = 21,328 / 8 = 2,67.$$

Приватне рівняння прийме наступний вигляд:

$$Y = 2,67 + 0,274 X. \quad (3.3)$$

В порівнянні з рівнянням (3.1) воно точніше відображає експериментальний зв'язок функції  $Y$  з аргументом  $X$ .

Проведемо оцінку достовірності (адекватності) знайденого нами рівняння. Розрахуємо коефіцієнт кореляції, скориставшись даними табл. 3.1:

$$r_p = a_1 \sqrt{(N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2) / (N \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)} =$$

$$0,273 * \sqrt{(8 * 140 - 28^2) / (8 * 113 - 29^2)} = \mathbf{0,630}.$$

Оцінімо достовірність коефіцієнта кореляції:

$$\eta = r_p \sqrt{(N-1) / (N-2)} = \sqrt{(1-r^2)} \quad 0,630 * \sqrt{(8-1) / (1-0,63^2)} = 0,630 * 3,408 = \mathbf{2,147}.$$

Це менше, ніж 2,7, отже, коефіцієнт кореляції ненадійний (не достовірний). Визначимо адекватність кореляційного зв'язку, порівнявши розрахунковий коефіцієнт кореляції  $r_p = 0,630$  з його табличним значенням  $r_t = 0,667$  при достовірності 0,95.

**Висновок:** розрахунковий коефіцієнт кореляції нижче табличного, означає рівняння (3.3) –  $Y = 2,67 + 0,274 X$  не адекватно і їм не можна користуватися для технологічних розрахунків. Для отримання адекватної математичної залежності необхідно збільшити ступінь полінома =  $a_0 + a_1 X + a_2 X^2$  і знайти нові коефіцієнти  $a_0$ ,  $a_1$  і  $a_2$ .

#### 3.4. Контрольні завдання.

За зібраними даними, приведеними в табл. 3.2 – 3.11, побудувати графіки і отримати математичну залежність функції від чинника (аргументу)  $X$  у вигляді полінома спочатку першому ступеню  $Y = a_0 + a_1 X$ , потім другий –  $Y = a_0 + a_1 X + a_2 X^2$  наступними методами: графічним, вибраних крапок і найменших квадратів. Визначити адекватність залежностей по коефіцієнту кореляції (кореляційному відношенню) і показнику надійності.

3.4.1. Отримати математичну залежність швидкості висипання шихтового матеріалу  $V_0$  ( $Y$ ), від діаметру вантажного клапана  $d_{кл}$  ( $X$ ) шихтового бункера бесконусного завантажувального пристрою.

Таблиця 3.2

№ пп	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3	
	$X$ $d_{кв}, м$	$Y$ $V_0, м/с$	$X$ $d_{кв}, м$	$Y$ $V_0, м/с$	$X$ $d_{кв}, м$	$Y$ $V_0, м/с$
1	0,6	0,4	0,6	0,25	0,25	0,05
2	0,7	0,42	0,7	0,30	0,35	0,10
3	0,8	0,50	0,8	0,55	0,45	0,15
4	0,9	0,67	0,9	0,60	0,55	0,40
5	1,0	0,85	1,0	0,90	0,70	0,35
6	1,1	1,10	1,1	1,00	0,85	0,60
7	1,2	1,45	1,2	1,35	0,95	0,90
8	1,3	1,65	1,3	1,50	1,15	1,20
9	1,4	2,10	1,4	1,90	1,30	1,60
10	1,5	2,55	1,5	2,05	1,50	2,10

3.4.2. Знайти математичну залежність втрат тиску газу  $ДР$  ( $Y$ ) на межі між шаром коксу і агломерату від різниці швидкостей в шарах коксу і агломерату  $Дv$  ( $X1$ ), а також співвідношення їх середніх діаметрів  $dk/da$  ( $X2$ ).

Таблиця 3.3

№ пп	$X1$ $Дv, м/с$	$X2$ $dk/da$	Параметр $Y$ ( $ДР, Па$ ) по варіантах		
			1	2	3
1	0,10	1,55	1,0	0,9	1,1
2	0,15	1,50	2,2	2,3	2,1
3	0,20	1,45	3,1	3,0	3,2
4	0,25	1,50	4,4	4,2	4,3
5	0,10	2,1	2,0	2,3	2,1
6	0,15	2,2	3,1	3,0	3,1
7	0,20	2,0	4,0	3,9	4,2
8	0,25	1,9	5,3	5,2	5,1
9	0,10	3,2	2,5	2,3	2,6
10	0,15	3,0	3,6	3,7	3,5
11	0,20	2,8	4,3	4,2	4,4
12	0,25	3,0	5,9	6,0	5,8
13	0,10	4,1	3,3	3,4	3,2
14	0,15	4,3	4,9	4,7	4,8
15	0,20	4,0	5,7	5,5	5,8
16	0,25	4,2	7,5	7,6	7,4

3.4.3. Отримати математичну залежність порозности  $e$  ( $Y$ ) від еквівалентного діаметру шматка агломерату  $d_э$  ( $X$ ) в шарі.

Таблиця 3.4

№ пп	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3	
	$X (d_э, см)$	$Y (e)$	$X (d_э, см)$	$Y (e)$	$X (d_э, см)$	$Y (e)$
1	0,2	0,20	0,1	0,20	0,25	0,27
2	0,5	0,40	0,8	0,40	0,5	0,32
3	0,1	0,41	1,5	0,45	0,9	0,40
4	1,5	0,48	2,2	0,46	1,4	0,41
5	2,0	0,47	2,9	0,50	2,0	0,46
6	2,5	0,50	3,6	0,51	2,4	0,48
7	3,0	0,51	4,4	0,57	2,9	0,50
8	3,5	0,60	5,1	0,60	3,4	0,53
9	4,0	0,58	5,8	0,61	4,0	0,58
10	4,5	0,61	6,5	0,62	4,8	0,60

3.4.4. Отримати математичну залежність коефіцієнта газопроникності **Південь** ( $Y$ ) від показника радіального розподілу шихти  $y_{ш}$  ( $X$ ) на колошнику доменної печі.

Таблиця 3.5

№ пп	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3	
	$X (y_{ш})$	$Y$ (Південь)	$X (y_{ш})$	$Y$ (Південь)	$X (y_{ш})$	$Y$ (Південь)
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
1	0,3	0,180	0,2	0,200	0,15	0,250
2	0,5	0,160	0,4	0,165	0,45	0,160
3	0,7	0,155	0,6	0,160	0,65	0,157
4	0,9	0,150	0,8	0,155	0,80	0,150
5	1,1	0,145	1,0	0,150	0,95	0,148
6	0,3	0,141	1,2	0,152	1,15	0,145
7	1,5	0,142	1,4	0,151	1,25	0,142
8	1,7	0,140	1,6	0,150	1,45	0,140
9	1,9	0,141	1,8	0,145	1,65	0,141
10	2,1	0,140	2,0	0,148	1,85	0,140

3.4.5. Знайти математичну залежність витрати шихти  $Q_{ш}$  ( $Y$ ) з бункера бесконусного завантажувального пристрою від площі відкриття тарілчастого клапана  $S_{кл}$  ( $X$ ).

Таблиця 3.6

№ пп	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3	
	$X$ ( $S_{кл}$ , $м2$ )	$Y$ ( $Q_{ш,м3/с}$ )	$X$ ( $S_{кл}$ , $м2$ )	$Y$ ( $Q_{ш,м3/с}$ )	$X$ ( $S_{кл}$ , $м2$ )	$Y$ ( $Q_{ш,м3/с}$ )
1	0,95	0,96	1,00	1,02	0,91	0,9
2	0,75	0,62	0,80	0,71	0,70	0,6
3	0,60	0,57	0,65	0,62	0,60	0,5
4	0,45	0,30	0,50	0,35	0,40	0,3
5	0,30	0,21	0,35	0,27	0,28	0,2
6	0,20	0,12	0,25	0,18	0,18	0,1
7	0,15	0,10	0,20	0,15	0,13	0,08
8	0,08	0,02	0,10	0,08	0,05	0,02
9	0,04	0,01	0,05	0,02	0,02	0,01

3.4.6. Отримати рівняння зв'язку втрат тиску  $ДР$  ( $Y$ ) в сухій зоні доменної печі від вмісту дрібниці в шихті  $d_m$  ( $X$ ) за інших рівних умов (однакова система завантаження, кількість дуття і ін.).

Таблиця 3.7

№ пп	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3	
	$X$ ( $d_m$ %)	$Y$ ( $ДР$ , $кПа$ )	$X$ ( $d_m$ %)	$Y$ ( $ДР$ , $кПа$ )	$X$ ( $d_m$ %)	$Y$ ( $ДР$ , $кПа$ )
1	5	1,8	4,5	1,5	5,2	1,9
2	7	2,0	6,5	1,7	7,2	2,1
3	10	2,3	9,5	2,0	10,2	2,4
4	12,5	2,8	12,0	2,5	12,6	2,9
5	15	3,0	14,5	2,7	15,2	3,1
6	17,5	3,3	17,0	3,0	17,6	3,4
7	20	3,6	19,5	3,3	20,2	3,7
8	22	4,0	21,5	3,7	22,3	4,1
9	25	4,5	24,5	4,2	25,4	4,6
10	28	5,0	27,5	4,7	28,5	5,1
11	30	5,3	29,0	5,0	30,6	5,4

3.4.7. Знайти приватні регресійні залежності кута укосу агломерату *ба* (*Y1*) і коксу *бк* (*Y2*) на колошнику з масою подачі *М* (*X1*), рівнем засыпи *h* (*X2*) і кількістю дуття *Q* (*X3*), скориставшись даними табл. 3.8.

Таблиця 3.8

№ пп	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Поверхня засыпи	
	<i>X1 (M, т)</i>	<i>X2 (h, м)</i>	<i>X3 (Q, м3/с)</i>	<i>Y1(ба, град)</i>	<i>Y2(бк, град)</i>
1	22	1,5	0	26	35
2	28	2,0	30	26	30
3	25	2,5	30	25	28
4	25	2,0	60	22	26
5	22	2,5	60	20	24
6	28	1,5	60	22	27
7	28	2,5	0	24,5	30
8	22	1,5	60	25,5	21
9	22	1,5	0	23	25,5
10	28	1,5	0	29	33
11	26,5	1,75	45	2	32
12	23,5	2,25	45	23	31
13	26,5	1,75	15	27	34
14	23,5	2,25	15	24	30
15	25	2,0	60	23,5	28

3.4.8. Отримати математичну залежність впливу основності шлаку *Oш* =  $\text{CaO/sio}_2$  (*X*) на коефіцієнт розподілу сірі між чавуном і шлаком *LS* = (*S*)/[*S*] (*Y*) при різних температурах по варіантах за даними нижчеприведеної таблиці.

Таблиця 3.9

№ пп	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3	
	<i>X (Oш)</i>	<i>Y (LS)</i>	<i>X (Oш)</i>	<i>Y (LS)</i>	<i>X (Oш)</i>	<i>Y (LS)</i>
1	1,26	30,05	1,25	24,08	1,208	20,53
2	1,23	30,73	1,23	22,06	1,203	19,89
3	1,26	31,70	1,19	15,81	1,205	20,98
4	1,27	31,35	1,21	17,59	1,201	20,93
5	1,28	30,87	1,23	18,71	1,228	25,79
6	1,22	22,95	1,21	17,96	1,227	25,33

7	1,18	17,67	1,14	13,28	1,186	26,46
8	1,25	24,33	1,17	19,18	1,239	26,94
9	1,27	27,17	1,17	17,04	1,231	26,31
10	1,27	27,23	1,16	13,53	1,241	27,42
11	1,28	29,60	1,205	16,94	1,243	29,66
12	1,23	28,50	1,219	21,61	1,241	30,17

3.4.9. Знайти залежність температури чавуну  $t_{\text{ч}}$  ( $Y$ ) від вмісту в ній кремнію  $Si$  ( $X$ ) для передільного (1-й і 2-й варіанти) і литейного (3-й варіант) за експериментальними даними, приведеними в таблиці.

Таблиця 3.10

№ пп	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3	
	$X$ ( $Si$ %)	$Y$ ( $t_{\text{ч}}, ^\circ C$ )	$X$ ( $Si$ %)	$Y$ ( $t_{\text{ч}}, ^\circ C$ )	$X$ ( $Si$ %)	$Y$ ( $t_{\text{ч}}, ^\circ C$ )
1	0,55	1425	0,58	1443	1,70	1485
2	0,64	1426	0,69	1449	1,85	1492
3	0,66	1442	0,75	1461	2,0	1500
4	0,78	1450	0,87	1472	2,2	1510
5	0,82	1470	0,91	1478	2,4	1505
6	0,95	1473	1,03	1473	2,5	1520
7	1,02	1482	1,09	1477	2,75	1514
8	1,08	1490	1,23	1480	3,0	1525
9	1,16	1493	1,38	1496	3,12	1515
10	1,27	1491	1,45	1485	3,20	1516
11	1,31	1498	1,60	1491	3,36	1523

3.4.10. Розрахувати математичну залежність питомих втрат тиску  $DP$  ( $Y$ ) в суміші рядових агломератів ЮГОКа і окатышей ЦГОКа при зміні кількості окатышей  $Ok$  ( $X$ ) від 0 до 100% за емпіричними даними, приведеними в табл. 3.11 по варіантах.

Таблиця 3.11

№ пп	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3	
	$X$ ( $Ok$ %)	$Y$ ( $DP, \text{кПа}$ )	$X$ ( $Ok$ %)	$Y$ ( $DP, \text{кПа}$ )	$X$ ( $Ok$ %)	$Y$ ( $DP, \text{кПа}$ )
1	2	1,22	3	1,45	2,5	1,30
2	10	1,45	12	1,28	11	1,36
3	20	1,25	22	1,33	21	1,40
4	31	1,57	30	1,40	29	1,47

5	40	1,33	43	1,54	41	1,43
6	50	1,30	48	1,20	49	1,25
7	60	1,10	59	1,30	60	1,20
8	70	1,45	72	1,10	71	1,28
9	80	1,02	80	1,22	79	1,12
10	90	1,13	88	1,01	89	1,07
11	98	0,90	99	1,00	100	0,95

#### 4. ВІДСІЮВАННЯ ЧИННИКІВ ПРИ ПЛАНУВАННІ ЕКСПЕРИМЕНТУ І ОТРИМАННЯ БАГАТОФАКТОРНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ

##### 4.1. Приклад відсівання факторів у багатофакторному процесі

Більшість металургійних процесів, як правило, характеризуються багатофакторністю. Збільшення кількості факторів спричиняє ріст кількості дослідів, необхідних для опису процесу. Таким чином, виникає проблема постановки невеликого числа експериментів з урахуванням найбільшої кількості факторів з метою одержання апріорної (до експериментів) інформації, що дозволяє відсіяти фактори, які несуттєво впливають на процес. Ця процедура називається *експериментом, що відсіває*.

Таким чином, кількість дорогих дослідів можна істотно зменшити, якщо скористатися *дробовими репліками* (частина ПФЕ) факторних планів. При цьому необхідно прагнути до *насичених* планів, коли кількість дослідів на одиницю більше, ніж факторів. У цьому випадку передбачається, що мають місце тільки лінійні ефекти. Плани дробових реплік для різної кількості факторів наведені у джерелах спеціальної літератури, наприклад, [1, 3, 7].

Для відсівання факторів 4-7 необхідні матриці дробових реплік з 8-ма дослідями; для факторів 8-11 – матриці дробових реплік із 12-ма дослідями. Обрану репліку ПФЕ реалізують і за отриманими експериментальними даними розраховують коефіцієнти регресії  $b_i$  полінома (5.5) за формулами (5.4).

$$b_0 = (\sum y_i) / N; \quad b_j = (\sum x_{ji} y_i) / N; \quad (4.1)$$

Порівнюють їх з довірчим інтервалом коефіцієнта регресії, який розраховується за формулою

$$\Delta b_j = \pm t_{\alpha N-1} S / \sqrt{N}, \quad (4.2)$$

де  $t_{\alpha N-1}$  – табличне значення критерію Стюдента при рівні значимості  $\alpha = 0.05$  і ступеню волі (кількості дослідів)  $N-1$ .

Якщо за абсолютною величиною  $b_j \leq \Delta b_j$ , то коефіцієнт мало значимий, а відповідний йому фактор не робить істотного впливу на процес. Такий фактор повинен бути відсіяний (виключений) або зафіксований на визначеному рівні.

Візьмемо як приклад відсівання факторів при визначенні питомої продуктивності агломераційного процесу в залежності від витрати вуглецю  $x_1$ , частки палива наприкінці огрудкування  $x_2$  і вологості шихти  $x_3$ . Кожний з факторів мав значення на двох рівнях: верхньому (+) і нижньому (-):

<b>фактор</b>	<b><math>x_1</math></b>	<b><math>x_2</math></b>	<b><math>x_3</math></b>
<b>одиниця виміру</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
<b>верхній рівень (+)</b>	<b>4.2</b>	<b>100</b>	<b>8.5</b>
<b>нижній рівень (-)</b>	<b>3.8</b>	<b>60</b>	<b>7.5</b>

Скористаємося напівреплікою повного факторного експерименту  $2^3/2 = 4$  досліди і побудуємо розрахункову таблицю 4.1.

Таблиця 4.1.

<b>№ пп</b>	<b>Фактор</b>			<b>Параметр (функція) – питома продуктивність, <math>P, \text{т/м}^2 \cdot \text{год}</math></b>		
	<b><math>X_1</math></b>	<b><math>X_2</math></b>	<b><math>X_3</math></b>	<b><math>Y</math></b>	<b><math>Y_{\text{новт}}</math></b>	<b><math>Y_{\text{сер}}</math></b>
1	-	-	+	1.61	1.63	1.62

2	+	-	-	1.47	1.49	1.48
3	-	+	-	1.51	-	1.51
4	+	+	+	1.54	-	1.54

Розрахуємо коефіцієнти регресії для кожного фактора за формулами (5.4):

$$b_0 = (1.62 + 1.48 + 1.51 + 1.54) / 4 = \mathbf{1.54};$$

$$b_1 = (-1.62 + 1.48 - 1.51 + 1.54) / 4 = \mathbf{-0.0275};$$

$$b_2 = (-1.62 - 1.48 + 1.51 + 1.54) / 4 = \mathbf{-0.0125};$$

$$b_3 = (+1.62 - 1.48 - 1.51 + 1.54) / 4 = \mathbf{0.0425}.$$

Для визначення кількості значущих факторів розрахуємо помилку експерименту за двома повторними дослідями (формула (5.7)):

$$S = \sqrt{(\sum \sum (y_{ij} - y_{cp})^2) / n_1 (m - 1)} \quad (4.3)$$

$$s = \sqrt{\left( 2(1.61 - 1.62)^2 + 2(1.47 - 1.48)^2 \right) / 2 \cdot (2 - 1)} = \mathbf{0.0141},$$

та довірчий інтервал коефіцієнтів регресії за формулою (5.13):

$$\Delta b_0 = 3.182 \cdot 0.0141 / \sqrt{4} = \mathbf{0.0225}.$$

Тут 3.182 – табличне значення критерію Стьюдента при ступеню волі  $4 - 1 = 3$ .  
Усі коефіцієнти регресії  $b_0 - b_3$  порівнюємо з довірчим інтервалом: видно, що тільки фактор  $x_2$  (накат палива наприкінці огрудкування) є мало значимим, тобто не впливає на продуктивність аглопроцесу, отже, відсівається.

## 4.2. Контрольні завдання

4.2.1. Досліджується процес втрат тиску газу у верхній частині доменної печі і вплив на нього технологічних чинників за наявності в печі розпушувачів

$$\Delta P = f(X_1, X_2 \dots X_7)$$

де  $X_1$  – довжина розпушувача (0,25 – 0,35 R),  $X_2$  – швидкість руху шихти (40 – 200 мм/мін),  $X_3$  – кількість дуття (15 – 65 м<sup>3</sup>/с),  $X_4$  – система завантаження (Ааккv – Ккаав),  $X_5$  – маса подачі (20 – 30 т),  $X_6$  – количество розпушувачів (10 – 20 шт),  $X_7$  – кількість дрібниці в шихті (5 – 25 %).

Експеримент проведений з використанням частини повного факторного експерименту 27-4 (див. таблицю 4.1).

Таблиця 4.1

Чинник	Параметр оптимізації, $Y(ДР, \kappa Па/м)$							
	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3		Варіант 4	
$x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6 x_7$	$Y$	$Y^I$	$y$	$y^I$	$y$	$y^I$	$y$	$y^I$
– –	0,114		0,114	0,118	0,118		0,118	0,122
+ + + + + + +	0,209		0,209		0,209	0,216	0,216	
+ + – + + –	0,101	0,078	0,102		0,101	0,079	0,100	0,076
+ – + – + +	0,235		0,235	0,215	0,209	0,216	0,207	
+ – + + – +	0,132		0,133		0,132	0,128	0,130	
– + + – + – +	0,219	0,216	0,218		0,216		0,216	0,220
– + – + – + +	0,131	0,126	0,130	0,135	0,136		0,130	0,124
– – + + + + –	0,215	0,230	0,215	0,226	0,230		0,216	

Визначити помилку досвіду  $S_{on}$ , довірчий інтервал  $\Delta b_i$ , коефіцієнти регресії  $b_i$ , побудувати ранжировочную криву і відсіяти незначущі чинники.

Визначити відтворюваність експерименту по критерію Кохрена, отримати лінійну багатофакторну математичну залежність, адекватність по критерію Фішера, перевести в нормальні координати і зробити виводи.

4.2. Досліджується процес висипання шихти з великого конуса засипного апарату. На товщину кільцевого потоку шихти  $d$ , м діє шість чинників

$$d = f(X_1, X_2 \dots X_6)$$

де  $X_1$  – рівень засипи (0,5 – 3 м),  $X_2$  – хід конуса (0,25 – 0,6 м),  $X_3$  – середній діаметр шихти (0,04 – 0,005 м),  $X_4$  – кут нахилу створюючої конуса (30 –

540),  $X_5$  – висов кромки великого конуса (0 – 0,4 м),  $X_6$  – виход колошникового газу (0 – 23 м<sup>3</sup>/с).

Експеримент проведений з використанням дробової репліки повного двухуровневого факторного плану типу 2<sup>6</sup>-3 (див. таблицю 4.2).

Таблиця 4.2

Чинники	Параметр оптимізації, $Y(\vartheta, m)$							
	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3		Варіант 4	
$X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6$	$Y$	$Y_I$	$Y$	$Y_I$	$Y$	$Y_I$	$Y$	$Y_I$
+ + + + + +	0,375	0,412	0,375		0,412		0,360	0,390
- + - + + -	0,228		0,228	0,234	0,234		0,210	
- + + - +	0,265	0,267	0,265		0,267	0,253	0,250	0,268
+ - + - +	0,304		0,304	0,310	0,310		0,310	
+ - + - + -	0,343	0,339	0,343		0,339	0,328	0,350	0,320
- - + +	0,162		0,162	0,202	0,162		0,160	
- - + + -	0,150	0,140	0,156	0,162	0,150	0,140	0,156	0,148
+ + -	0,394	0,420	0,404	0,436	0,434	0,395	0,400	0,380

За експериментальними даними, приведеними в таблиці 4.2, визначити помилку досвіду  $S_{оп}$ , довірчий інтервал  $\Delta b_i$ , коефіцієнти регресії  $b_i$ , побудувати ранжировочную криву і відсіяти незначущі чинники.

Визначити відтворюваність експерименту по критерію Кохрена, отримати лінійну багатофакторну математичну залежність, адекватність по критерію Фішера, перевести в нормальні координати і зробити виводи.

4.3. Досліджується процес окружного розподілу шихти на колошнику доменної печі бесконусным лотковим завантажувальним пристроєм. Ступінь нерівномірності окружного розподілу визначається показником  $\mu = (h_{max} - h_{min})/h_{cp}$ , де  $h_{max}$ ,  $h_{min}$ , і  $h_{cp}$  – максимальна, мінімальна і середня товщина шару шихти по колу колошника, на якого впливають дев'ять чинників різною мірою

$$\mu = f(X_1, X_2 \dots X_9)$$

де  $X_1$  – довжина жолоба (3 – 5 м),  $X_2$  – швидкість обертання (0,1 – 0,16 рад/с),  $X_3$  – система завантаження (0,7 – 1,2),  $X_4$  – кількість дрібниці в шихті (0 – 20%),  $X_5$  – нахил поверхні засипи (0 – 200),  $X_6$  – рівень засипи (1 – 2 м),  $X_7$  – величина подачі (30 – 50 т),  $X_8$  – напрям обертання,  $X_9$  – кут скосу кромки жолоба (0 – 300).

Експериментальні дані і матриця планування досвіду приведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Чинники	Параметр оптимізації, $Y(u)$							
	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3		Варіант 4	
$X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7 X_8 X_9$	$Y$	$Y_I$	$Y$	$Y_I$	$Y$	$Y_I$	$Y$	$Y_I$
+ – + – + +	1,970	1,672	1,651	2,010	1,651	1,966	1,970	1,651
+ + – + – + + +	0,335		0,350		0,350	0,341	0,340	
– + + – + – + – +	0,359		0,360		0,347		0,353	0,347
+ – + + – + + –	0,329	0,319	0,330	0,270	0,202		0,319	
+ + – + + –	0,812		0,800		0,815	0,870	0,818	
+ + + – + + – + –	0,368	0,524	0,400		0,358	0,362	0,357	
– + + + – + – +	0,405		0,398	0,410	0,420		0,420	
– – + + + – + + –	1,410	1,830	1,580		1,832		1,410	
– – + + + – + +	1,220		1,190	1,302	1,150		1,190	1,220
+ – + + + – +	1,591		1,601		1,720	1,892	1,950	
– + – + + + –	0,740	0,730	0,700		0,730		0,730	0,740
– –	0,695		0,710	0,650	0,500		0,716	0,540

За експериментальними даними, приведеними в таблиці 4.3 визначити помилку досвіду  $S_{on}$ , довірчий інтервал  $\Delta b_i$ , коефіцієнти регресії  $b_i$ , побудувати ранжировочную криву і відсіяти незначущі чинники.

Визначити відтворюваність експерименту по критерію Кохрена, отримати лінійну багатофакторну математичну залежність, адекватність по критерію Фішера, перевести в нормальні координати і зробити виводи.

4.4. Визначити ступінь впливу чинників на швидкість висипання шихти  $V_{ш}$  м/с на колошник доменної печі, з конусного завантажувального пристрою

$$V_{ш} = f(X_1, X_2 \dots X_6)$$

де  $X_1$  – кут нахилу утворюючої конуса (53 – 620),  $X_2$  – хід конуса (0,25 – 0,6 м),  $X_3$  – вміст дрібниці в шихті (0 – 20%),  $X_4$  – шорсткість поверхні конуса (0 – 2 мм),  $X_5$  – об'єм порції шихти на конусі (15 – 25 т),  $X_6$  – вид матеріалу (кокс, агломерат).

Експеримент проведений з використанням дробової репліки повного двухуровневого факторного плану типу 26-3 (див. таблицю 4.4).

Таблиця 4.4

Чинники	Параметр оптимізації, $Y(\partial, m)$							
	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3		Варіант 4	
$X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6$	$Y$	$YI$	$Y$	$YI$	$Y$	$YI$	$Y$	$YI$
+ + + + + +	0,375	0,412	0,375		0,412		0,360	0,390
– + – + + –	0,228		0,228	0,234	0,234		0,210	
– + + – + +	0,265	0,267	0,265		0,267	0,253	0,250	0,268
+ – + – + +	0,304		0,304	0,310	0,310		0,310	
+ – + – + –	0,343	0,339	0,343		0,339	0,328	0,350	0,320
– – + + + +	0,162		0,162	0,202	0,162		0,160	
– – + + – –	0,150	0,140	0,156	0,162	0,150	0,140	0,156	0,148
+ + – – – –	0,394	0,420	0,404	0,436	0,434	0,395	0,400	0,380

За експериментальними даними, приведеними в таблиці 4.4, визначити помилку досвіду  $S_{on}$ , довірчий інтервал  $Дbi$ , коефіцієнти регресії  $bi$ , побудувати ранжировочную криву і відсіяти незначущі чинники.

Визначити відтворюваність експерименту по критерію Кохрена, отримати лінійну багатофакторну математичну залежність, адекватність по критерію Фішера, перевести в нормальні координати і зробити виводи.

## РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ НАБЛИЖЕНИМИ МЕТОДАМИ

Розглянемо найбільш прості і поширені методи – *Ньютона, графічного і ітерації [1]*.

Як приклад спочатку візьмемо просте кубічне рівняння

$$x^3 + 3x^2 + 2x - 13 = 0. \quad (5.1)$$

*Метод Ньютона* заснований на послідовній підстановці значень шуканої величини в наступну формулу, отриману І.Ньютоном

$$x_{n+1} = x_n - f(x_n) / df(dx_n) \quad (5.2)$$

причому, перше значення  $x$  вибирається будь-яке, але близьке по технологічному сенсу, наприклад,  $x = 1$ , отже

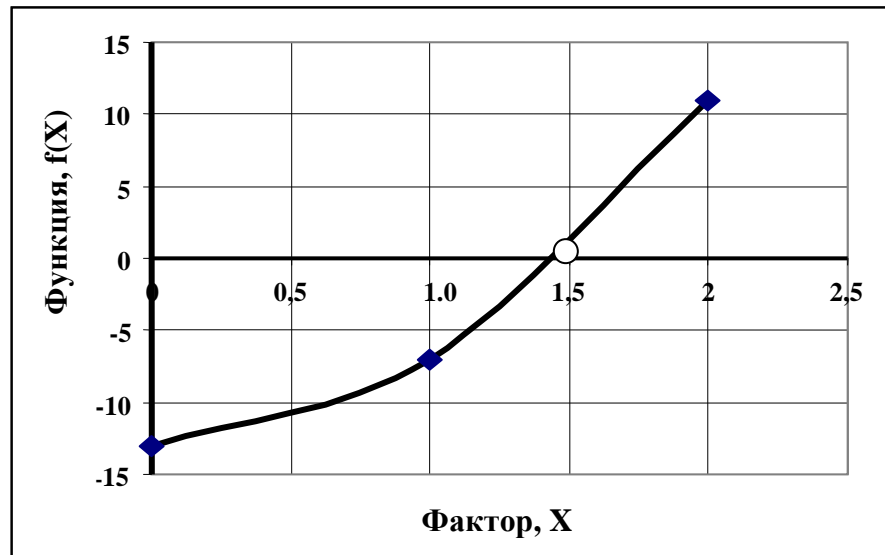
$$\begin{aligned} x_1 &= x - (x^3 + 3x^2 + 2x - 13) / (3x^2 + 6x + 2) = \\ &= 1 - (13 + 3 \cdot 12 + 2 \cdot 1 - 13) / (3 \cdot 12 + 6 \cdot 1) = 1,67. \end{aligned}$$

Тепер в початкову формулу підставляємо отриманий результат  $x_1$ :

$$x_2 = 1,67 - (1,67^3 + 3 \cdot 1,67^2 + 2 \cdot 1,67 - 13) / (3 \cdot 1,67^2 + 6 \cdot 1,67) = 1,49.$$

Перевірку результату проведемо підстановкою отриманого результату в початкову формулу (5.1). Результат – 0,05 з прийнятною помилкою 0,4%. Якщо така помилка нас не влаштовує, то розрахунки можна продовжити. Як правило, прийнятний (по точності) результат по методу Ньютона виходить після третього розрахунку.

*Графічний метод* заснований на розрахунку не менше трьох точок значення функції у всьому технологічному діапазоні зміни чинника  $x$ . Отже, припустимо, що чинник  $x$  в рівнянні (5.1) змінюється від 0 до 2. Підставляємо послідовно в рівняння замість  $x$  цифри 0, 1 і 2. Набутих значень функції  $f(x) = -13, -7$  і  $11$  відповідно наноситься на графік (див. мал. 5.1) в координатах  $f(x) \rightarrow x$ .



Мал. 5.1. Графік функції  $f(x)$  залежно від шуканої величини  $x$

Сполучаємо точки графіка плавною лінією; місце перетину осі абсцис кривої є вирішенням даного рівняння. Бачимо, що крива перетнула вісь іксів при значенні  $x = 1,5$ .

**Ітераційний метод** заснований на звичайному підборі значень  $x$  до отримання результату з необхідною точністю. Цей метод іноді називають методом підгонки або прогону.

Отже, підставимо в рівняння (5.1) послідовно прості цифри (для зручності розрахунку) замість чинника  $x$ , наприклад, 0, 1, 2. Отримані результати відповідних значень функції  $f(x) = -13, -7, 11$ . Оскільки результат функції рівний нулю, при правильному значенні чинника  $x$ , то правильний результат лежить приблизно посередині між значеннями функції  $-7$  і  $11$ , тобто між значеннями чинника  $1$  і  $2$  відповідно. Візьмемо посередині  $1,5$  і перевіримо результат прорахунком по початковій формулі – результат близький до нуля з мінімальною помилкою. Якщо необхідний точніший результат, то процедуру підбору можна продовжити, орієнтуючись на знак кінцевого результату.

Необхідно відзначити на закінчення, що програми для вирішення будь-яких рівнянь для ЕОМ є в спеціальній літературі [2].

5.1. Втрати тиску  $\Delta P$ , кПа, в шарі шихтових матеріалів доменної печі описуються формулою Жаворонкова н.П. [3]

$$\Delta P = (1-e)^{1,2} 7,6 z n^{0,2} K_{\phi}^{1,2} h c Q^{1,8} / (e^{2,8} d^{1,2} S^{1,8}),$$

де  $e$  – порозність шихтових матеріалів,  $z$  – щільність газу, кг/м<sup>3</sup>;  $n$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м<sup>2</sup>/с;  $K_{\phi}$  – коефіцієнт форми;  $h$  – товщина шаруючи, м;  $Q$  – кількість газу, м<sup>3</sup>/с;  $d$  – середній діаметр шихти, м;  $S$  – площа поперечного перетину колошника, м<sup>2</sup>.

Розрахувати величину порозности шаруючи ( $e$ , м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>) методами Ньютона, графічним і ітераційним по варіантах, приведених в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Варі- ант	$\Delta P$ , кПа	$z$ , кг/м <sup>3</sup>	$n$ м <sup>2</sup> /с	$K_{\phi}$	$h_c$ м	$d$ м	$S$ м <sup>2</sup>	$Q$ м <sup>3</sup> /с
1	18	1,26	1,58*10 <sup>-5</sup>	7,4	0,5	0,010	0,196	0,45
2	15	1,20	1,46*10 <sup>-5</sup>	6,0	0,55	0,015	0,200	0,40
3	17	1,18	1,57*10 <sup>-5</sup>	7,2	0,45	0,009	0,190	0,50
4	16	1,16	1,47*10 <sup>-5</sup>	6,8	0,50	0,040	0,210	0,50

Порівняти результати. Порозність в реальному шарі міняється від 0,35 до 0,55.

5.2. Кількість шихти в одиницю часу ( $Q_{ш}$ , м<sup>3</sup>/с), высыпающей з великого конуса засипного апарату, підкоряється закономірності, описуваною емпіричною формулою [4]:

$$Q_{ш} = 0,35 ((H_k \cos \beta_u) (D_{ч} - 0,5 H_k \sin 2\beta))^{1,5/d_{ш}0,5}$$

де  $H_k$  – хід конуса, м;  $\beta_u$  – кут нахилу конуса, град;  $D_{ч}$  – діаметр чаші, м;  $d_{ш}$  – середній діаметр шихти, м.

Визначити значення одне з параметрів (?) для доменної печі корисним об'ємом 2000 м<sup>3</sup> методами Ньютона, графічним і ітераційним по варіантах, приведених в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

<i>Варіант</i>	<i>Qш, м3/с</i>	<i>Нк, м</i>	<i>бу, град</i>	<i>Дч, м</i>	<i>ди, м</i>
1	4	?	53	4,675	0,06
2	4	0,7	62	?	0,06
3	7,5	0,75	?	4,7	0,017
4	7,5	?	57	4,68	0,017
5	7,5	0,72	53	?	0,018

5.3. Площа кільцевої щілини між конусом і чашею засипного апарату ( $S_{щ}$ , м2) описується наступною формулою [4]:

$$S_{щ} = 0,5 \pi H_k \cos \beta_u (2 D_{ч} - H_k \sin 2\beta)$$

де  $H_k$  – хід конуса, м;  $\beta_u$  – кут нахилу конуса, град;  $D_{ч}$  – діаметр чаші, м.

Визначити значення одне з параметрів (?) для доменної печі корисним об'ємом 2000 м3 методами Ньютона, графічним і ітераційним по варіантах, приведених в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

<i>Варіант</i>	<i>S<sub>щ</sub>, м2</i>	<i>Нк, м</i>	<i>бу, град</i>	<i>Дч, м</i>
1	8,1	?	53	4,675
2	7,8	0,7	62	4,65
3	8,2	0,75	?	4,70
4	8,0	?	57	4,68
5	8,1	0,72	53	4,60

5.4. Шихта, що зсипається з великого конуса при завантаженні доменної печі, розгониться і швидкість її у поверхні засыпи ( $V_{ок}$ , м/с) визначається по формулі

$$V_{ок} = V_k \sin \alpha \sqrt{1 + (g - A \cos \beta) 2y / V_k^2 \sin 2\alpha},$$

де  $V_k$  – швидкість шихти на кінці конуса, м/с;  $\beta_u$  – кут нахилу конуса, град;  $\alpha$  – кут між вертикаллю і напрямом дії газового потоку, град;  $A$  – прискорення підпiрної сили газового потоку, м/с2;  $y$  – рівень засыпи, м.

Визначити значення одне з параметрів (?) для доменної печі корисним об'ємом 2000 м3 методами Ньютона, графічним і ітераційним по варіантах, приведених в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4

Варіант	$V_{ок}, м/с$	$V_k, м/с$	$\beta_{и}, град$	$A, м/с^2$	$\gamma, град$	$y, м$
1	5	?	53	6	30	1,0
2	6	3,4	?	7	32	1,5
3	7	3,6	62	8	36	1,75
4	8	?	53	5	38	2,0

5.5. Сила удару шихти ( $F$ , Н) об поверхню засипи на колошнику при зсипанні з великого конуса, описується наступною емпіричною формулою:

$$F = 0,036 g \text{ см} (Dч \text{ Нк})^{1,5} (\gamma / dш)^{0,5} - (\text{Нк} Dч)^{0,1}$$

де  $\text{см}$  – насипна маса шихти, кг/м<sup>3</sup>;  $Dч$  – внутрішній діаметр чаші, м;  $\text{Нк}$  – хід конуса, м;  $\gamma$  – рівень засипи, м;  $dш$  – середній діаметр шихти, м.

Визначити значення одне з параметрів (?) для доменної печі корисним об'ємом 2000 м<sup>3</sup> методами Ньютона, графічним і ітераційним по варіантах, приведених в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5

Варіант	$F, Н$	$\text{см}, \text{кг/м}^3$	$Dч, м$	$\text{Нк}, м$	$\gamma, м$	$dш, м$
1	180	1750	?	0,7	1,5	0,016
2	200	1800	4,65	?	2,0	0,017
3	210	1750	4,70	?	1,75	0,016
4	190	1800	?	0,75	1,25	0,015

5.6. При завантаженні шихти в доменну пекти конусним засипним апаратом на колошнику утворюється кут укосу шихти ( $\beta_{от}$ , град), який описується формулою [5]

$$tg^3 \alpha_{om} + \left( \frac{3K_{\epsilon}^2 (V_k^2 \sin^2 \alpha + 2\gamma(g - BV_{\epsilon}^{1,8} \cos \beta))}{2(R_k - l_{\epsilon p} - r)(g - B_1 V_{\kappa \epsilon}^{1,8})} - f \right) tg^2 \alpha_{om} + tg \alpha_{om} - f = 0,$$

де  $K_{\epsilon}$  – коефіцієнт відновлення механічної енергії при ударі шихти об поверхню засипи;  $V_k$  – швидкість шихти, що зсипається з конуса, м/с;  $\beta_{и}$  – кут нахилу створюючої конуса, 53 град;  $\gamma$  – рівень засипи, м;  $V_{\epsilon}$  – швидкість колошникового газу, перпендикулярна потоку шихти, м/с;  $\alpha$  – кут між вертикаллю і напрямом газу, 30 град;  $R_k$  – радіус колошника, 3,65 м;  $l_{\epsilon p}$  – відстань від стінки колошника до гребеня шихти, м;  $r$  – радіус

виклинювання подачі, 0 м;  $V_{кг}$  – швидкість колошникового газу, м/с;  $f$  – коефіцієнт внутрішнього тертя шихти.

Розрахувати значення кута укосу шихти на колошнику методами Ньютона, графічним і ітераційним по варіантах, приведених в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6

Варіант	$Kв$	$Vk$ м/с	$y, м$	$У$	$B1$	$l_{зр}, м$	$Vг$ м/с	$V_{кг}$ м/с	$f$
1	0,55	7,0	2,5	0,05	0,1	0,1	4,0	5,0	0,7
2	0,55	3,4	1,5	0,17	0,16	0,2	5,0	4,5	0,75
3	0,6	3,0	1,25	0,10	0,11	0,25	6,0	5,0	0,8
4	0,8	3,7	1,75	0,11	0,10	0,15	4,5	4,8	0,5

5.7. Траєкторія шихти, що зсипається з лотка бесконусного завантажувального пристрою, що обертається, описується наступною залежністю:

$$x = \frac{v_{кл}^2 \sin \alpha_{л} \cos \alpha_{л}}{g} \left( \sqrt{1 + \frac{2y g}{v_{кл}^2 \sin^2 \alpha_{л}}} - 1 \right),$$

де  $x$  – відстань від кінця лотка до точки зустрічі потоку шихти з поверхнею засыпи, м;  $v_{кл}$  – швидкість шихти на кінці лотка, м/с;  $\alpha_{л}$  – кут нахилу лотка до горизонту, град;  $y$  – відстань від нижньої кромки лотка до поверхні засыпи, м.

Визначити значення одне з параметрів (?) для доменної печі корисним об'ємом 5000 м<sup>3</sup> методами Ньютона, графічним і ітераційним по варіантах, приведених в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7

Варіант	$x, м$	$v_{кл}, м/с$	$\alpha_{л}, град$	$y, м$
1	1,5	?	75	1,0
2	1,0	20	?	1,5
3	0,7	15	40	?

5.8. Відносна швидкість руху шихти  $v_{ш}/v_{ср}$  по радіусу колошника доменної печі описується наступною емпіричною залежністю

$$\frac{v_{ш}}{v_{ср}} = \frac{u^2 - up + p/3 + 2u(p-1)r - (p-1)r^2}{u^2 - u + 1/3},$$

де  $v_{ср}$  – середня швидкість шихти по поперечному перетину колошника м/с,  $u$  – частка радіусу, де знаходиться максимум швидкості,  $p$  – відносна величина максимуму швидкості  $v_{max}/v_{ср}$ ,  $r$  – поточне значення радіусу колошника в долях одиниці.

Визначити значення одне з параметрів (?) для доменної печі методами Ньютона, графічним і ітераційним по варіантах, приведених в таблиці 5.8.

Таблица 5.8

Варіант	$v_{ш}/v_{ср}$	$u$	$p$	$r$
1	1,5	?	1,12	0,8
2	1,0	0,7	?	0,7
3	1,2	0,8	1,05	?

## 6. ТЕОРЕТИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ МАТЕМАТИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ

6.1. Приклад визначення оптимуму параметра оптимізації (У) математичної моделі завантаження (використання газового потоку  $\eta_{co, \%}$ )

$$\eta_{z(y)} = 43,5 + 0,917x_1 - 0,55x_2 - 1,11x_1^2 - 3,21x_2^2 - 0,325x_1x_2. \quad (6.1)$$

Чинники, що впливають на використання газового потоку, вказані в стандартних одиницях:  $x_1 = +1$  (М = 30 т),  $-1$  (25 т);  $x_2 = +1$  ( $\sigma = 100\%$ ),  $-1$  (50%).

Візьмемо приватні похідні рівняння (6.1) по чинниках і прирівняємо їх до нуля:

$$\partial\eta/\partial x_1 = 0,917 - 2,22x_1 - 0,325x_2 = 0;$$

$$\partial\eta/\partial x_2 = -0,55 - 6,42x_2 - 0,325x_1 = 0.$$

Вирішимо систему рівнянь щодо значень чинників  $X_1$  і  $X_2$  методом підстановки і отримаємо  $X_1 = 0,431$ ,  $X_2 = -0,109$ . Це і є координати стаціонарної точки.

Визначимо вид екстремуму, для чого візьмемо другі похідні початкового рівняння:

$$\partial^2 \eta / \partial x_1^2 = -2,22; \quad \partial^2 \eta / \partial x_2^2 = -6,42; \quad \partial^2 \eta / \partial x_1 \partial x_2 = -0,325;$$

Матриця квадратичних форм негативно визначена, означає в знайдений крапці має місце максимум функції.

Визначимо вид екстремуму простішим методом. Розрахуємо величину використання газового потоку в стаціонарній крапці, для чого підставимо набутих значень чинників у формулу (6.1)

$$\eta_s = 43,5 + 0,917 * 0,431 - 0,55 * (-0,109) - 1,11 * 0,431^2 - 3,21 * (-0,109)^2 - 0,325 * 0,431 * (-0,109) = 43,73\%.$$

Підставимо в цю ж формулу менші значення  $x_1 = 0,4$  і  $x_2 = -0,2$ :

$$\eta_s = 43,5 + 0,917 * 0,4 - 0,55 * (-0,2) - 1,11 * 0,4^2 - 3,21 * (-0,2)^2 - 0,325 * 0,4 * (-0,2) = 43,69\%,$$

і великі  $x_1 = 0,5$ ;  $x_2 = -0,1$ :

$$\eta_s = 43,5 + 0,917 * 0,5 - 0,55 * (-0,1) - 1,11 * 0,5^2 - 3,21 * (-0,1)^2 - 0,325 * 0,5 * (-0,1) = 43,72\%.$$

Порівнюємо набутих значень із значенням в стаціонарній крапці і переконуємося, що вони менші, означає в стаціонарній крапці – максимум, який нам і потрібний.

Переведемо значення чинників в оптимальній крапці в натуральних по відомій формулі:

$$M = x_1 J + M_0 = 0,431 * 2,5 + 27,5 = 28,58 \text{ т, округляємо до } 29 \text{ т.}$$

$$A = x_2 J + A_0 = -0,109 * 25 + 75 = 72,3\%, \text{ округляємо до } 75\%.$$

**Вивід.** Оптимум знаходиться усередині факторного простору і є максимум. Таким чином, для отримання якнайкращого використання газового потоку в даній доменній печі необхідно залізородну масу подачі тримати **29 т** і завантажувати **75%** прямих подач.

## 6.2. Контрольні завдання.

Визначити наявність екстремуму функції – двохфакторній математичній залежності:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_{12} + b_{22}X_{22} + b_{12}X_1X_2 \quad (6.2)$$

де  $X_1$  і  $X_2$  – кодовані значення чинників. Де він знаходиться (усередині факторного простору або зовні). Визначити його вигляд (максимум, мінімум або стаціонарна крапка). Розрахувати координати екстремуму і його абсолютну величину. За відсутності екстремуму даної математичної моделі у факторному просторі, обмеженому мінімальними і максимальними значеннями чинників, знайти його значення на межах останнього. Зробити виводи.

6.2.1. Визначити максимальне використання газового потоку в доменній печі  $Y$  ( $Юсо$  %) залежно від маси подачі  $X_1$  ( $M, t$ ) і показника радіального розподілу  $X_2$  ( $y_{ш}$ ). Математична залежність виражається двохфакторним поліномом (6.2), в якому  $X_1$  і  $X_2$  – кодовані значення маси подачі ( $M = 25...30$  т) і показника радіального розподілу шихти ( $y_{ш} = 0,7...1,2$ ), що змінюються в межах від  $-1$  до  $+1$ .

Значення постійних коефіцієнтів залежності (полінома) по варіантах приведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

Варіант	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{12}$
1	43,5	1,15	0,75	2,3	-3,75	1,6
2	44,0	1,10	0,80	2,5	-4,00	3,0
3	43,0	1,20	0,50	2,0	-3,00	10,0
4	40,0	1,50	0,70	3,0	-2,50	12,0

6.2.2. Знайти мінімальні втрати тиску газу в шарі шихти  $Y$  ( $ДР, кПа/м$ ), а також відповідні значення маси подачі  $X_1$  ( $M, t$ ) і кількості дрібниці в шихті  $X_2$  ( $d$  %), якщо ці чинники завантаження пов'язані з параметром математичною моделлю (6.2), де  $X_1$  і  $X_2$  – кодовані значення маси подачі ( $M$

= 25...30 т) і кількості дрібниці в шихті ( $d = 0...25\%$ ), змінні в межах від  $-1$  до  $+1$ . Значення коефіцієнтів регресії моделі по варіантах приведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2.

Варіант	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_{12}$	$b_{22}$	$b_{12}$
1	2,70	0,99	1,82	0,57	0,20	0,70
2	2,60	1,00	1,50	0,70	0,30	0,75
3	2,80	1,10	1,70	0,60	0,40	0,80

6.2.3. Визначити величину мінімальної окружної нерівномірності шихтових матеріалів ( $\alpha$ ) на колошнику доменної печі, а також відповідні нею величини швидкості обертання лотка  $X1$  ( $\omega$ , рад/с) і площі вихідного перетину вантажного клапана  $X2$  ( $S$ , м<sup>2</sup>) шихтового бункера. Зв'язок параметрів описується математичною моделлю (6.2), де  $X1$  і  $X2$  – кодовані значення відповідно швидкості обертання ( $\omega = 0,2...1,0$  рад/с) і площі вихідного перетину ( $S = 0,2...0,4$  м<sup>2</sup>), що змінюються в межах від  $-1$  до  $+1$ .

Значення коефіцієнтів регресії полінома по варіантах приведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3

Варіант	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{12}$
1	0,45	-0,67	0,35	0,301	0,041	-0,35
2	0,35	-0,51	0,69	0,52	0,031	-0,30
3	0,4	-0,6	0,3	0,31	0,039	-0,31

6.2.4. Визначити максимальний ступінь відновлення  $Y$  ( $Ю_{co}, \%$ ) дрібних частинок магнетиту при температурі 700°C і відповідні їй час відновлення  $X1$  ( $\phi$ , з), а також швидкість газу-відновника  $X2$  ( $V$ , м/с). Залежність ступеня відновлення від перерахованих чинників виражається поліномом другого ступеня (6.2), де  $X1$  і  $X2$  – кодовані значення відповідно часу відновлення ( $\phi = 600...3600$  з) і швидкості газу-восстановителя ( $V = 0...10$  м/с), що

змінюються в межах від  $-1$  до  $+1$ . Коефіцієнти регресії полінома по варіантах приведені в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4

Варіант	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{12}$
1	55	20	30	-3	-20	5
2	53	22	28	-5	-15	9
3	57	18	30	-2	-12	6
4	54	19	29	-3	-19	5

6.2.5. Визначити максимальний коефіцієнт розподілу сірі  $Y (LS)$  при виплавці передільного чавуну, а також відповідні йому значення основності шлаку  $X1 (O_{ш})$  і зміст кремнію в чавуні  $X2 (Si \%)$ . Зв'язок параметрів представлений математичною моделлю (6.2), де  $X1$  і  $X2$  – кодовані значення основності шлаку ( $O_{ш} = 0,8...1,8$ ) і вміст кремнію в чавуні ( $Si = 0,2... 1,4\%$ ), що змінюється в межах від  $-1$  до  $+1$ . Значення коефіцієнтів полінома по варіантах приведені в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5

Варіант	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{12}$
1	27,6	4,4	16	-16	-7,9	2,9
2	35,0	3	19	-18	-16	13
3	30	4	15	-10	-8	3
4	32	5	20	-7	-10	12

6.2.6. Знайти максимальну продуктивність  $Y (П, \text{ т/м}^2\text{час})$  агломераційної машини при введенні в шихту 10% циклонному пилю і відповідні їй оптимальні значення вологи на грудкування  $X1 (w \%)$  і палива на процес  $X2 (З \%)$ . Модель представлена у вигляді полінома другого ступеня (6.2), де  $X1$  і  $X2$  – кодовані значення відповідно кількості палива ( $З = 4,5...5,3\%$ ) і вологи ( $w = 7,2...8,3\%$ ), що змінюються в межах від  $-1$  до  $+1$ . Значення коефіцієнтів регресії полінома по варіантах представлені в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6

Варіант	<i>b<sub>0</sub></i>	<i>b<sub>1</sub></i>	<i>b<sub>2</sub></i>	<i>b<sub>11</sub></i>	<i>b<sub>22</sub></i>	<i>b<sub>12</sub></i>
1	1,5	-0,17	0,20	-0,15	-0,20	0,02
2	1,4	-0,15	0,25	-0,17	-0,25	-0,02
3	1,6	-0,20	0,15	-0,16	-0,17	0,10
4	1,45	-0,18	0,19	-0,16	-0,21	0,03

6.2.7. Знайти максимальну продуктивність доменної печі (*П, т/ч*), а також відповідні їй зміст дрібниці фракції 0-5 мм, *X1 (d<sub>m</sub> %)* і інтенсивність плавки по колошниковому газу *X2 (Q<sub>к</sub>, м3/с)*.

Продуктивність пов'язана з інтенсивністю і кількістю дрібниці залежністю (6.2), де *X1* і *X2* - кодовані значення кількості дрібниці (*d<sub>m</sub> = 0...25%*) і інтенсивності плавки (*Q<sub>к</sub> = 52...62 м3/с*), що змінюються від -1 до +1. Значення коефіцієнтів регресії полінома по варіантах приведені в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7

Варіант	<i>b<sub>0</sub></i>	<i>b<sub>1</sub></i>	<i>b<sub>2</sub></i>	<i>b<sub>11</sub></i>	<i>b<sub>22</sub></i>	<i>b<sub>12</sub></i>
1	87	-20	13	-7	-20	-5
2	85	-21	15	-5	-16	-9
3	89	-19	Ц	-6	-18	-4
4	86	-18	14	-8	-22	-7

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Данко п.Е., Попов а.Г. Вища математика у вправах і завданнях. Частина II. Видання друге. – М.: Вища школа, 1974. – 464 с.
2. Дьяконов в.П. Довідник по Mathcad 7.0 Pro. – М.: СБК Прес, 1988. – 120 с.
3. Жаворонков н.І. Гідравлічні основи скрубберного процесу і теплопередача в скруберах. – М.: Радянська наука, 1944. – 224 с.
4. Ковшов в.Н., Петренко в.А. Експериментальні дослідження руху шихти і газу в доменній печі. – Дніпропетровськ: Інститут технології, 1996. – 124 с.
5. Ковшов в.Н., Петренко в.А., Верещак в.І. Моделювання доменного процесу. – Дніпропетровськ: Інститут технології, 1997. – 109 с.

6. Налімов в.В. Теорія експерименту. – М.: Наука, 1971. – 208 с.
7. Організація експерименту. / В.І. Баптізманський, Ю.Н. Яковлєв, Ю.С. Паніотов і ін. – Київ: УМК В, 1992. – 244 с.
8. Ковшов в.Н. Постановка інженерного експерименту. – Київ-Донецьк: Вища школа, 1982. – 120 с.
9. Ковшов в.М. Основи наукових досліджень. Конспект лекцій. – Дніпропетровськ: Нметау, 2005. – 44 с.
10. Моделювання технологічних процесів у середовищі Microsoft Excel: Навчальний посібник // М.В. Терещенко, Є.М. Харченко, В.М. Ковшов та інші. – Дніпропетровськ: Пороги, 2005.- 268 с.
11. Бела́й г.Е., Дембовський в.В., Соценко о.В. Організація металургійного експерименту: Учебн. допомога для вузів. – М.: Металургія, 1993. – 256 с.