**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ**



**РОБОЧА ПРОГРАМА,**

**методичні вказівки та індивідуальні завдання**

**до вивчення дисципліни**

**«Основи наукових досліджень електрометалургійних процесів»**

**для студентів заочної форми навчання**

**за освітньо-професійною програмою**

**«Технології та обладнання виробництва металів і сплавів»**

**підготовки здобувачів вищої освіти**

**на першому (бакалаврському) рівні**

**спеціальності 136 «Металургія»**

**(**Профіль: МЕ04 «Електрометалургія стелі та феросплавів»**)**

**Дніпро НМетАУ 2016**

УДК 621.187.519

Робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни «Основи наукових досліджень електрометалургійних процесів» для студентів заочної форми навчання за освітньо-професійною програмою «Технології та обладнання виробництва металів і сплавів» підготовки здобувачів вищої освіти на першому (бакалаврському) рівні спеціальності 136 «Металургія» (Профіль: МЕ04 «Електрометалургія стелі та феросплавів») / Сост.: В.С. Ігнатьєв, А.П. Горобець, А.М. Головачов. – Дніпро: НМетАУ, 2016. – 38 с.

Наведені робоча програма дисципліни з методичними вказівками, рекомендованою літературою і питаннями для самоперевірки за окремими темами, а також індивідуальне домашнє завдання.

Призначена для студентів заочної форми навчання за освітньо-професійною програмою «Технології та обладнання виробництва металів і сплавів» підготовки здобувачів вищої освіти на першому (бакалаврському) рівні спеціальності 136 «Металургія» (Профіль: МЕ04 «Електрометалургія стелі та феросплавів»).

Укладачі: В.С. Ігнатьєв, канд. техн. наук, доц.

А.П. Горобець, канд. техн. наук, доц.

А.М. Головачов, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск М.І. Гасик, акад. НАН України, д-р техн. наук, проф.

Рецензент А.М. Овчарук, д-р техн. наук, проф. (НМетАУ)

**РОБОЧА ПРОГРАМА**

|  |  |
| --- | --- |
| З дисципліни | **Основи наукових досліджень електрометалургійних процесів** |
| Напрям | **136 Металургія** |
| Профіль | **МЕ04 «Електрометалургія стелі та феросплавів»** |
| Факультет | **Заочний** |
| Кафедра | **Електрометалургії** |
| Спеціалізація | **Електрометалургія сталі і феросплавів** |

# Розподіл навчальних годин (заочна форма навчання)

|  | Усього | По семестрам |
| --- | --- | --- |
| Усього годин за навчальним планом | 144 | 144 |
| у тому числі:  Аудиторні заняття | 20 | 20 |
| з них:  лекції | 16 | 16 |
| лабораторні роботи | - | - |
| практичні заняття | 4 | 4 |
| семінарські заняття | - | - |
| Самостійна робота | 124 | 124 |
| Підсумковий контроль | Екзамен | Екзамен |

Робоча програма передбачає самостійну роботу, контрольовану викладачем, яка включає:

* підготовку до аудиторних занять;
* самостійне вивчення розділів дисципліни, які не викладаються на лекціях;
* виконання індивідуального завдання;
* підготовку до контрольних заходів (екзамен).

**Зміст дисципліни**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вид заняття | теми та зміст заняття | Кількість годин |
| Л | **Роль наукових досліджень в створенні нових технологій; методологія наукового дослідження**  Роль наукових досліджень в створенні нових технологій; методологія наукового дослідження. Роль наукових досліджень в створенні нових технологій та обладнання. Класифікація наукових досліджень в електрометалургії сталі та феросплавів. Складання огляду технічної літератури з теми досліджень та вимоги до нього. Основи методології наукового дослідження. Методологія наукового дослідження. Основні елементи науки: поняття, закон, теорія, проблема, методологія. Основні компоненти методології: метод, пошук, логіка. | 4 |
| Л | **Метод крутого сходження**  Метод крутого сходження. Оптимізація технологічних процесів. Круте сходження: планування, реалізація. Побудова схеми крутого сходження. Прийняття рішення. | 4 |
| Пр | Побудова матриць планування | 2 |
| Л | **Центральні композиційні ортогональні і ротатабельні плани другого порядку**  Центральні композиційні ортогональні і ротатабельні плани другого порядку. Принципи композиційного планування. Центральні композиційні ортогональні плани другого порядку (ЦКОП). План – матриці по ЦКОП. Центральні композиційні ротатабельні плани другого порядку (ЦКРП). Інтервал варіювання і рівні факторів. | 4 |
| Л | **Парна кореляція і регресія. Коефіцієнт детермінації**  Парна кореляція і регресія. Коефіцієнт детермінації. Парна кореляція і регресія. Визначення параметрів вибіркового рівняння прямої лінії. Оцінка тісноти лінійного кореляційного зв`язку змінних. Оцінка точності визначення значень залежної змінної по рівнянню регресії. Коефіцієнт детермінації. Перевірка адекватності рівняння регресії і помилки прогнозів. Показника кореляції і регресії, їх значення і застосування. Множинний кореляційно-регресійний аналіз. | 4 |
| Пр | Метод крутого сходження | 2 |
| Сам. | Загальнонаукові методи дослідження: аналіз, синтез, індукція, дедукція, ідеалізація, моделювання | 12 |
| Сам. | Нелінійна парна регресія і криволінійна кореляція | 12 |

**Питання для контролю**

1.  Назвіть загальні методи дослідження?

2. Дайте характеристику загальнім методам дослідження.

3. Що є критерієм оптимізації?

4. Назвіть основні вимоги до критерію оптимізації.

5. Що розуміють під факторами, що оптимізують?

6. Що розуміють під цільовою функцією?

7. Охарактеризуйте суть методу крутого сходження при пошуку оптимуму.

8. Назвіть основні етапи планування експерименту при пошуку оптимуму методом крутого сходження.

9. Як реалізується план експерименту при крутому сходженні?

10. Як здійснюються уявні досліди при крутому сходженні?

11. Охарактеризуйте можливі варіанти прийняття рішень при пошуку оптимуму методом крутого сходження.

12. Що розуміють під активним експериментом?

13. Як називають вихідні змінні об'єкта активного експериментування?

14. Які умови пред'являються до об'єкта, на якому здійснюється активний експеримент?

15. Що називають областю визначення факторів?

16. Які вимоги пред'являються до факторів?

17. Що розуміють під плануванням експерименту?

18. Які критерії оптимальності планів Ви знаєте?

19. Який експеримент називають повним факторним?

20. Як розраховують кількість дослідів при плануванні повного факторного експерименту?

21. Що показує план-матриця експерименту?

22. Наведіть загальний вигляд рівняння лінійної регресії.

23. Наведіть загальний вигляд поліномінальної моделі нелінійної регресії.

24. Складіть план-матрицю ПФЕ для 3-х факторів.

25. Якими властивостями володіють плани ПФЕ і ДФЕ?

26. В яких випадках застосовують дрібний факторний експеримент?

27. Як розраховується кількість дослідів для дрібного факторного експерименту?

28. У чому полягає властивість симетричності планів експерименту?

29. У чому полягає властивість ортогональності планів експерименту?

30. Що показує нормування плану експерименту?

31. Як проводять рандомізацію дослідів?

32. Як розраховують дисперсію дослідів?

33. Як перевіряють гіпотезу однорідності дисперсій при рівномірному дублюванні дослідів активного експерименту?

34. Як проводять оцінку коефіцієнтів регресії за даними ПФЕ і ДФЕ?

35. Як перевіряють значимість коефіцієнтів регресії?

36. Як розраховують дисперсію коефіцієнтів регресії?

37. Як розраховують середньоквадратичне відхилення коефіцієнтів регресії?

38. Наведіть умови, при яких коефіцієнт регресії визнається статистично значущим при вибраному рівні значущості.

39. Як перевіряють адекватність регресійної моделі?

40. Як визначають дисперсію адекватності моделі при рівномірному числі паралельних вимірювань у всіх дослідах плану експерименту?

41. Які рішення приймають за результатами факторного експериментування?

42. Запишіть рівняння регресії другого порядку в загальному вигляді.

43. Які плани другого порядку Ви знаєте?

44. Чому ЦКОП і ЦКРП називають композиційними планами експерименту?

45. Яким чином вибирають величину плеча зоряних точок і число дослідів у центрі для композиційних планів другого порядку?

46. У чому полягає властивість ортогональності плану експерименту?

47. Що характеризує властивість уніформності плану експерименту?

48. Складіть матрицю ЦКРП при 3-х факторах.

49. Складіть матрицю ЦКОП при 3-х факторах.

50. Яке рішення приймають, якщо нелінійна модель об'єкта дослідження не адекватна експериментальним даним?

51. Яке рішення приймають, якщо нелінійна модель об'єкта дослідження адекватна експериментальним даним?

52. Назвіть основні припущення, на яких ґрунтується кореляційно-регресійний аналіз експериментальних даних.

53. Як розраховують значення коефіцієнтів рівняння регресії?

54. Як оцінюють статистичну значимість коефіцієнтів регресії?

55. Як розраховують величину t-критерію Стьюдента?

56. Як розраховується стандартна помилка коефіцієнта регресії?

57. При якій умові коефіцієнт регресії визнається статистично значущим?

58. Як розраховується величина критерію Кохрена, для чого він застосовується в математичній статистиці?

59. При якому умови експеримент визнають відтворюваним?

60. Як оцінити помилку дослідів відтвореного експерименту?

61. Як розраховується величина коефіцієнта парної кореляції змінних?

62. Коли кореляція змінних називається позитивною, коли - негативною?

63. Назвіть основні властивості вибіркового коефіцієнта кореляції.

64. У чому полягає сенс вибіркового коефіцієнта кореляції?

65. Як оцінюється статистична значущість вибіркового коефіцієнта кореляції?

66. Що характеризує коефіцієнт детермінації?

67. Як розраховується величина критерію Фішера?

68. Яким чином перевіряють адекватність рівняння парної лінійної регресії експериментальним даним?

69. Як розраховують стандартну помилку пророкувань значень залежної змінної за регресійної моделі?

70. Що характеризує коефіцієнт детермінації?

71. Що характеризує коефіцієнт регресії?

72. Як розраховується коефіцієнт множинної кореляції?

73. Що показує коефіцієнт множинної кореляції?

**Індивідуальне завдання**

Методичні матеріали щодо виконання індивідуальних завдань

Обсяг роботи – 12-15 стандартні сторінки друкованого (комп’ютерного) тексту.

Пояснювальна записка повинна включати наступні дані:

1. Основні теоретичні положення до розділу індивідуального завдання.

2. Розрахунок індивідуального завдання.

3. Перелік використаної літератури.

**ЗМІСТ**

|  |  |
| --- | --- |
|  | |
| ВВЕДЕННЯ | 7 |
| 1 Оцінка точності серії прямих вимірювань | 7 |
| 1.1 Методичні вказівки | 7 |
| 1.2 Приклад | 11 |
| 1.3 Варіанти індивідуального завдання № 1 у вигляді імітаційних вправ | 13 |
| 2 Підбір емпіричної формули графічним способом | 15 |
| 2.1 Методичні вказівки | 15 |
| 2.3 Приклад | 16 |
| 2.3 Варіанти контрольного завдання №2 | 17 |
| 3 Визначення коефіцієнтів лінійного рівняння регресії і тісноти зв'язку кореляційним методом | 19 |
| 3.1 Методичні вказівки | 19 |
| 3.2 Приклад | 21 |
| 3.3 Варіанти контрольного завдання №3 | 23 |
| 4 Оцінка значущості дії фактору на досліджуваний процес методом |  |
| дисперсійного аналізу | 26 |
| 4.1 Методичні вказівки | 26 |
| 4.2 Приклад | 27 |
| 4.3 Варіанти контрольного завдання №4 | 28 |
| ДОДАТКИ | 33 |
| Рекомендована література | 36 |

**ВВЕДЕННЯ**

Наукові відкриття і технічні досягнення ХХ – го століття спровокували інтенсивний розвиток промисловості, що призвів, у свою чергу, до збільшення розробки, видобутку і використання природних ресурсів. Це з неминучістю привело до екологічної кризи, яка до кінця ХХ сторіччя досягла стану глобального.

На початок третього тисячоліття цивілізований світ усвідомив необхідність вироблення таких наукових і етичних підходів до оцінки пріоритетних цінностей і розробки таких технологій, які забезпечили б подальший гармонійний розвиток людського співтовариства і Природи. У переосмисленні ідеалів і цілей життя, у виробленні способів подальшого гармонійного розвитку найважливішу роль повинні зіграти наука і освіта, оскільки основні причини і джерела екологічної кризи криються в недостатньому знанні або незнанні законів спільного розвитку природних і технічних систем. Ситуація вимагає, щоб теорія передбачала шляхи практичного розвитку. Тепер, коли до величезних розмірів виросли затрати і втрати, що спричиняє за собою нестачу знань, цінною, життєво необхідною є інформація про закони науково-технічного розвитку суспільства і його взаємодій з екологічними системами.

Сучасний інженер має справу з складними технічними системами. Такі системи мають властивість системності, яка полягає в наявності у систем в цілому властивостей і характеристик, не властивих окремим її складовим. При вивченні закономірностей функціонування складних систем доводиться удаватися до захисту від надмірної інформації.

Металургія – це одна з найважливіших наукоємних галузей народного господарства. Подальше практичне вдосконалення технічної і технологічної баз металургійної галузі можливе тільки з використанням сучасних наукових підходів, яким є системний підхід. Основна вимога системного підходу полягає в необхідності комплексного дослідження складних систем в сукупності з параметрами зовнішнього середовища, в які вбудовані ці системи. При цьому вивчати системи необхідно як єдине ціле, тобто з урахуванням функціонування всіх її елементів і частин.

До систем в металургії чорних металів відносять такі процеси, як розрахунок шихтових матеріалів, отримання продукції із заданими фізико-хімічними властивостями, розробка технології виплавки нових марок сталей, сплавів і феросплавів і ін.

Для правильної організації, грамотної постановки експерименту і аналізу його результатів експериментатори повинні володіти теорією експерименту. Мовою теорії експерименту є язик математичної статистики. На мові математичної статистики формулюються загальні для всіх експериментаторів принципи організації і планування експериментів, обробки їх результатів, ухвалення рішень в умовах невизначеності ін.

**1 Оцінка точності серії прямих вимірювань**

**1.1 Методичні вказівки**

При будь-якій стратегії організації експерименту, його основною складовою частиною є вимірювання. Вимірювання – це сукупність дій, що виповняються за допомогою технічних засобів, ціллю яких є знаходження числових значень величин, що вимірюються, виражених в прийнятих одиницях вимірювання.

При любих вимірюваннях, як би старанно їх не виконували, мають місце помилки, або, інакше, погрішності (промахи, систематичні, випадкові). Кожен дослідник, аналізуючи результати вимірювань, повинен вміти правильно їх оцінити, дати оцінку точності вимірювання, тобто встановити ступень наближення результату к фактичному значенню вимірювальної величини.

Систематичними називають помилки, які залишаються в процесі вимірювання постійними або змінюються по певному закону. До них відносяться помилки, викликані неправильним градуюванням вимірювального приладу, зсувом його покажчика або шкали, впливом температури навколишнього середовища на вимірювальні прилади, іншими причинами. Якщо систематичні помилки виявлені, то їх вплив на результат вимірювання можна усунути або врахувати внесенням відповідних поправок.

Промахи – це грубі помилки, які можуть бути викликані якимись неправильними діями експериментатора (неправильний відлік свідчень за шкалою, помилка при записі результатів вимірювань, користування неправильно обчисленою ціною ділення або постійною приладу, неправильною схемою включення приладів, використанням несправних приладів і ін.) і явно спотворюють результат вимірювань. Результати вимірювань, які мають грубі помилки або промахи, необхідно виявити і відкинути, а вимірювання, по можливості, повторити.

Аналіз випадкових погрішностей засновано на теорії випадкових помилок. Ця теорія дає можливість з визначеною гарантію оцінити можливі помилки і вичислити істинне значення вимірювальної величини. В основі теорії випадкових помилок лежить положення о том, що при безкінечно великім числі вимірювань істинне значення величини, що виміряється, дорівнює середньоарифметичному значенню усіх результатів вимірювання, а випадкові погрішності одинакові величини, але різного знаку, зустрічаються однаково часто. При цьому результат вимірювання, як випадкової події, описується нормальним знаком розподілення.

Для нормального знака розподілення загальною оціночною характеристикою вимірювання є дисперсія ().

 (1),

де σ – середньоквадратичне відхилення виміряних значень *xi* від середньоарифметичного , n – число вимірів.

Дисперсія характеризує однорідність вимірювань: чім вище дисперсія, тим більший розкид вимірювань.

Довірчим називають інтервал значень *xi* , у котрий з заданою імовірністю попадає істинне значення *xД* вимірювальної величини. Імовірність *РД* того, що істинне значення знаходиться у даному довірчому інтервалі, називають довірителькою імовірністю вимірювання.

Найчастіше довірча вірогідність *РД* приймається рівною 0,90; 0,95; 0,99. Довірчий інтервал характеризує точність вимірювань даної серії, а довірча вірогідність – достовірність вимірювань.

При невеликому числі вимірювань (*n* < 20) довірчий інтервал μ розраховують з виразу:

 (2),

де *t* – значення критерію Стьюдента, вибиране залежно від прийнятої довірчої вірогідності і числа вимірювань (додаток 2); σ0 – середньоарифметичне значення середньоквадратичного відхилення σ, визначуване по формулі:

 (3).

Дійсне значення вимірюваної величини має вигляд:

 (4).

Відносна погрішність (, %) серії вимірювань при заданій довірчій вірогідності визначаться по формулі:

 (5).

Якщо розрахункова величина довірчого інтервалу близька з погрішністю визначення  і , то скоректоване значення довірчого інтервалу розраховується з виразу:

 (6),

де  - табличне значення критерію Стьюдента при заданій довірчій вірогідності і нескінченно великому числі вимірювань n = ∞ (додаток 2).

При аналізі результатів експерименту необхідно, перш за все, виключити грубі помилки – промахи, що явно спотворюють результат.

Проте перш, ніж виключити те або інше вимірювання, необхідно переконатися, що це дійсно груба помилка. Наявність грубих помилок визначається по критерію *β*:

,  (4).

де  і  - найбільше і найменше значення з n вимірювань, відповідно.

Максимальні значення критерію *βmax*, що виникає унаслідок статистичного розкиду, визначаються по таблицях (додаток 1) залежно від числа вимірювань і заданої довірчої вірогідності.

Якщо *β1 > βmax*, то значення *xmax* слід виключити з серії вимірювань як промах. При *β2 < βmax* виключається значення *xmin*. Після виключення грубих помилок визначають нові значення  і σ з n-1 або n-2 вимірювань.

**1.2** **ПРИКЛАД**

Визначити дійсне значення концентрації хрому у ферохромі і відносну погрішність серії з 10 визначень при довірчій вірогідності 0,95 і погрішності визначення + 0,1 % абс. Результати вимірювання наступні:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| % Cr | 70,6 | 75,8 | 68,1 | 59,0 | 72,5 | 78,3 | 69,8 | 61,6 | 72,9 | 73,2 |

Розрахунок початкових даних здійснимо у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | *xi* | *- xi* | *( - xi)2* |
| 1 | 70,6 | -0,42 | 0,176 |
| 2 | 75,8 | -5,62 | 31,584 |
| 3 | 68,1 | +2,08 | 4,326 |
| 4 | 59,0 | +11,18 | 124,992 |
| 5 | 72,5 | -2,32 | 5,382 |
| 6 | 78,3 | -8,12 | 65,934 |
| 7 | 69,8 | +0,38 | 0,144 |
| 8 | 61,6 | +8,58 | 73,616 |
| 9 | 72,9 | -2,72 | 7,398 |
| 10 | 73,2 | -3,02 | 9,120 |
| ∑ | 701,8 | 0 | 322,676 |

** .

Аналізуємо серію на наявність грубих помилок:

xmax = 78,3; xmin = 59,0.

; .

Для *РД* = 0,95 і n = 10 знаходимо в додатку 1 *βmax* =2,29.

*β1 < βmax*, *β2 < βmax..* Виключаємо як грубу помилку x4 = 59,0.

Визначаємо нові значення  і σ з 9 вимірювань, що залишилися (таблиця 2).

Таблиця 2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | *xi* | *- xi* | *( - xi)2* |
| 1 | 70,6 | +0,82 | 0,672 |
| 2 | 75,8 | -4,38 | 19,184 |
| 3 | 68,1 | +3,32 | 11,022 |
| 4 | 72,5 | -1,08 | 1,166 |
| 5 | 78,3 | -6,88 | 47,334 |
| 6 | 69,8 | +1,62 | 2,624 |
| 7 | 61,6 | +9,82 | 96,432 |
| 8 | 72,9 | -1,48 | 2,190 |
| 9 | 73,2 | -1,78 | 3,168 |
| ∑ | 642,8 | 0 | 183,796 |

** .

Для *РД* = 0,95 і n = 9 знаходимо в додатку 2 значення t = 2,31.

Визначаємо величину довірчого інтервалу:

.

Величина довірчого інтервалу *μ* = 3,69 значно перевищує погрішність визначення (±0,1).

Тоді дійсне значення визначуваної величини:

*xД* = 71, 42 ± 3,69.

Відносна погрішність серії вимірювань:

.

**1.3 Варіанти індивідуального завдання № 1 у вигляді імітаційних вправ**

Визначити дійсне значення і відносну погрішність серії прямих вимірювань наступних технологічних параметрів і характеристик металургійного виробництва.

Варіант 1. Розмір виділень карбідів (у мкм) в структурі. Погрішність приладу ± 3.0 %, довірча вірогідність 0,90.

Ряд вимірювань: 1,55; 1,60; 1,58; 1,57; 1,61; 1,56; 1,62; 1,56; 1,46; 1,59.

Варіант 2. Температура жароміцного сплаву ЕІ-437 перед випуском з печі, °С. Погрішність вимірювань ± 5.0 °С, довірча вірогідність 0,95.

Ряд вимірювань: 1500; 1490; 1540; 1530; 1500; 1550; 1535; 1520; 1500; 1510.

Варіант 3. Вміст фосфору у вуглецевому феромарганці, % мас. Погрішність визначення ± 5.0 °С, довірча вірогідність 0,95.

Ряд вимірювань: 0,34; 0,45; 0,30; 0,44; 0,38; 0,33; 0,45; 0,42.

Варіант 4. Вміст оксиду магнію в шлаках відновного періоду електроплавлення сталі ШХ15, % мас. Погрішність визначення ± 0,03 %, довірча вірогідність 0,90.

Ряд вимірювань: 12,85; 10,08; 11,14; 12,07; 13.79; 14,50; 11,00; 13,79; 16,01; 12,85.

Варіант 5. Вміст оксиду кальцію в малофосфористих переробних шлаках, % мас. Погрішність визначення ± 0,02 %, довірча вірогідність 0,95.

Ряд вимірювань: 6,21; 6,47; 7,34; 7,61; 5,32; 6,39; 7,00; 8,00; 5,57; 6,12.

Варіант 6. Вміст фосфору в сталі 110Г13Л, % мас. Погрішність визначення ± 0.01 %, довірча вірогідність 0,95.

Ряд вимірювань: 0,11; 0,09; 0.11; 0,07; 0,12; 0,10; 0,12; 0.11; 0,06; 0,12.

Варіант 7. Пористість металізованих окатишів, % віднесення. Погрішність вимірювань ± 0.05 % віднос., довірча вірогідність 0,90.

Ряд вимірювань: 11,37; 8,55; 9,30; 10,82; 11,50; 12,02; 10,30; 11,91; 12,87; 10,15.

Варіант 8. Вологість хромової руди, % мас. Погрішність визначення ± 0.05 %, довірча вірогідність 0,90.

Ряд вимірювань: 1,96; 1,81; 2,50; 3,18; 2,30; 2,56; 5,60; 4,91; 3,50; 2,87.

Варіант 9. Абразивний знос поверхні в результаті контактних випробувань підшипникової сталі ШХ15, мкм. Погрішність визначення ± 1,0 %, довірча вірогідність 0,95.

Ряд вимірювань: 1,35; 1.38; 1,84; 1,07; 2,29; 2,48; 1,70; 1,88; 3,24; 1,56.

Варіант 10. Вміст оксиду титану в синтетичному вапняковоглиноземному шлаку, % мас. Погрішність визначення ± 0.03 %, довірча вірогідність 0,90.

Ряд вимірювань: 3,91; 4,09; 4,33; 3,81; 2,97; 3.32; 2,08; 2,69; 2,92; 3,62.

Варіант 11. Межа міцності алюмінієвого сплаву АЛ4, кг/мм2. Погрішність визначення ± 0,5 %, довірча вірогідність 0,90.

Ряд вимірювань: 10,5; 13,8; 16,5; 9,0; 18,5; 17,3; 11,4; 19,9; 15,8; 14,9.

Варіант 12. Відносний вміст оксидних включень в сталі ШХ15, визначене металографічним методом, % віднос, останнє: сульфідні і нітридні включення. Погрішність вимірювання ± 0,3 %, довірча вірогідність 0,95.

Ряд вимірювань: 63,0; 63,5; 59,0; 50,0; 55,5; 52,0; 46,4; 55,0; 54,6; 58,6.

Варіант 13. Вміст кремнію в металевому марганці Mn95, % мас. Погрішність визначення ± 0,25 %, довірча вірогідність 0,90.

Ряд вимірювань: 1,93; 2,31; 1,91; 2,06; 3,00; 1,80; 1,55; 2,16; 1,78.

Варіант 14. Вміст закису марганцю MnO у відвальних шлаках виробництва товарного силікомарганця, % мас. Погрішність визначення ± 0,5 %, довірча вірогідність 0,90.

Ряд вимірювань: 12,6; 16,1; 19,5; 17,3; 13,2; 19,7; 18,8; 15,3; 18,1; 18,9.

Варіант 15. Розмір нітридних включень в сталі ШХ15 після електрошлакової переплавки, мкм. Погрішність визначення ± 5,0 %, довірча вірогідність 0,95.

Ряд вимірювань: 2,25; 3,80; 2,56; 2,71; 2,13; 1,90; 1,55; 1,83; 1,96; 2,15.

Варіант 16. Ступінь окислення металевих окатишів при витримки в окислювальній атмосфері протягом 72 годин, % віднос. Погрішність визначення ± 0,3  %, довірча вірогідність 0,95.

Ряд вимірювань: 30,7; 40,6; 34,1; 34,8; 36,0; 33,5; 34,8; 37,9; 36,2; 34,0.

Варіант 17. Вміст титану в кремнійалюмінієвому сплаві, % мас. Погрішність визначення ± 0,1 %, довірча вірогідність 0,99.

Ряд вимірювань: 0,30; 0,28; 0,16; 0,23; 0,21; 0,23; 0,28; 0,25; 0,26; 0.19.

Варіант 18. Відносне подовження алюмінієвого сплаву АК12М2, модифікованого хромом, % віднос. Погрішність визначення ± 0,02 %, довірча вірогідність 0,99.

Ряд вимірювань: 3,11; 2,73; 3,32; 2,90; 3,15; 3,08; 2,42; 3,03; 2,96; 3,18.

Варіант 19. Зміст марганцю за результатами аналізу ківшевих проб стали ШХ15, % мас. Погрішність визначення ± 0,1 %, довірча вірогідність 0,95.

Ряд вимірювань: 0,37; 0,35; 0,28; 0,46; 0,42; 0,39; 0,29; 0,45; 0,36; 0,37.

Варіант 20. Вміст марганцю в малофосфористому передільному шлаку, % мас. Погрішність визначення ± 0,2 %, довірча вірогідність 0,90.

Ряд вимірювань: 42,6; 38,5; 40,7; 33,0; 46,7; 40,6; 43,0; 39,5; 41,2; 44,1.

Варіант 21. Вміст оксиду алюмінію у відвальному шлаку виробництва товарного силікомарганця, % мас. Погрішність визначення ± 0,3 %, довірча вірогідність 0,90.

Ряд вимірювань: 11,2; 15,8; 10,4; 10,7; 8,1; 12,3; 12,5; 13,4; 11,9; 12,0.

Варіант 22. Вміст хрому в жаростійкому сплаві Х23Н8, % мас. Погрішність вимірювання ± 0,2 %, довірча вірогідність 0,90.

Ряд вимірювань: 23,6; 21,5; 21,2; 19,1; 20,8; 21,2; 22,6; 23,0; 20,9; 21,5.

Варіант 23. Температура стали ШХ15 перед випуском з печі, °С. Погрішність вимірювання ± 5,0 °С, довірча вірогідність 0,95.

Ряд вимірювань: 1600; 1660 1640; 1520; 1615; 1590; 1650; 1615; 1640; 1605.

Варіант 24. Вміст вуглецю в середньовуглецевому ферохромі ФХ400, % віднос. Погрішність визначення ± 0,1 %, довірча вірогідність 0,90.

Ряд вимірювань: 3,7; 3,5; 3,3; 3,3; 3,9; 3,7; 3,7; 3,5; 3,6; 2,0.

**2 Підбір емпіричної формули графічним способом**

**2.1 Методичні вказівки**

При обробці експериментальних даних часто виникає необхідність підібрати емпіричну формулу, яка описує досліджувану залежність, і може бути використана як розрахункова. Наглядним і достатньо універсальним методом підбору формули є графічний метод.

Якщо залежність між *x* і *у* може бути представлена лінійним рівнянням *у = ax+b*, то побудувавши графік такої залежності, можна безпосередньо з графіка набути значень коефіцієнтів *а* і *b*. Насправді, *а* є тангенс кута нахилу прямої до осі абсцис, а *b* рівне величині відрізання, що відсікається прямою на осі ординат.

Якщо розташування експериментальних крапок на графіці таке, що залежність має явно нелінійний характер, то необхідно підібрати формулу, яка в найбільшій мірі відповідала б досліджуваній залежності. Для цього емпіричну криву, побудовану в прямокутних координатах, порівнюють з типовими графіками відомих формул. Вибравши необхідну формулу, перевіряють можливість її використання методом вирівнювання.

При цьому методі для перетворення деякої кривої *у = f(x)* в пряму лінію вводять нові змінні *X* і *Y*, які повинні бути зв'язані лінійною залежністю *Y = a+ bX*. Для визначення значень коефіцієнтів *а* і *b* в це рівняння підставляють координати двох крайніх крапок, узятих з графіка. Вирішуючи систему двох рівнянь, обчислюють *а* і *b* у формулі зв'язку між *X* і *Y*, що дозволяє встановити функціональний зв'язок *у = f(x)*. Випрямлення кривих найчастіше здійснюється в напів- або логарифмічних координатах. Деякі криві, їх рівняння і нові змінні, що вводяться при вирівнюванні, приведені в додатку 4.

При побудові графічних залежностей необхідно дотримувати основні правила, незнання яких часто приводить до помилкових виводів. По-перше по осі абсцис слід відкладати значення аргументу *x*, а по осі ординат – значення функції *у*. По-друге [1], необхідно правильно вибирати співвідношення масштабів по осях *x* і *у*. Для цього слід врахувати помилки вимірювань як функції *∆y*, так і аргументу *∆x*, знаходячи із співвідношення:

 або  (8)

де  і  - масштаби по осях *x* і *у* відповідно.

**2.2 ПРИКЛАД**

Підібрати емпіричну формулу для наступних вимірювань режиму нагріву заготівки металу.

|  |
| --- |
| X 1 2 3 4 5 6 |
| Y 440 700 900 1050 1190 1325 |

Співвідношення помилок вимірювань x і у () дорівнює 0,004.

Вибираємо масштаб по осі X: одиниця – 10 мм. Тоді масштаб по осі Y:  = 10•0,004 = 0,04 мм. У 10 мм по осі Y уміщатиметься 10/0,04 = 250 одиниць значень у.

З урахуванням співвідношення масштабів будуємо графік залежності в прямокутних координатах (рисунок 1а). Порівнюючи отриману криву з приведеними в додатку 4, знаходимо, що залежність, що вивчається, відповідає типовій кривій, описуваною формулою 9.

 (9)

Вирівнювання такої кривої здійснювати логарифмуванням:

 (10)

Для перевірки правильності вибору форми кривою знайдемо логарифми парних значень x і у (таблиця 3).

Таблиця 3

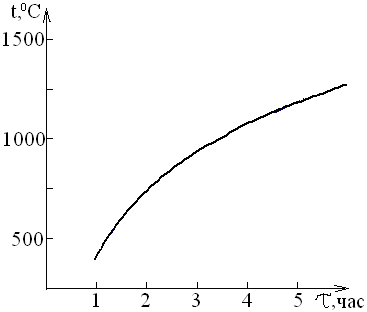
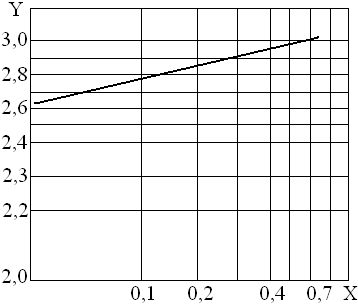
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| X | Y | lg x | lg у |
| 1 | 440 | 0,0000 | 2,6434 |
| 2 | 700 | 0,3010 | 2,8451 |
| 3 | 900 | 0,4771 | 2,9542 |
| 4 | 1050 | 0,6020 | 3,0212 |
| 5 | 1190 | 0,6990 | 3,0755 |
| 6 | 1325 | 0,7782 | 3,1222 |

На рисунку 1б представлено графік цієї залежності в координатах lg x – lg у. Графік є прямою залежністю, тому вибір загального виду формули проведено правильно.

Для визначення числових значень а і b підставляємо в рівняння лінійного зв'язку координати будь-яких двох крапок і отримуємо систему з двох лінійних рівнянь:

2,8451 = lg а + 0,3010∙b (11)

3,0755 = lg а + 0,6990∙b (12)

а

б

Рисунок 1 – Експериментальна (а) і випрямлена (б) криві.

Вирішуючи приведену систему рівнянь відносно lg а и b, отримуємо, відповідно, значення 2,6708 і 0,5789, звідки а = 468,6. Отже, емпірична формула має вигляд

 (13).

**2.3 Варіанти контрольного завдання №2**

Вибрати емпіричну формулу наступних залежностей металургійного виробництва.

Варіант 1. Швидкість нагріву зразків металу, град/хв. Ряд вимірювань в інтервали часу (∆τ = 20 хв):

Варіант 1а: 42; 46; 48; 53; 58; 60; 68; 74; 86; 92.

Варіант 1б: 41; 42; 42; 45; 47; 48; 50; 54; 58; 60.

Варіант 2. Залишковий тиск у вакууматорі, Па. Ряд вимірювань в інтервали часу (∆τ = 15 хв):

Варіант 2а: 36; 30; 27; 25; 20; 19; 18; 14; 14; 12.

Варіант 2б: 92; 74; 66; 56; 48; 39; 34; 29; 26; 20.

Варіант 2в: 76; 57; 46; 37; 28; 23; 18; 11; 7; 3.

Варіант 3. Натікання газів у вакуумну систему, (л/Па)∙с. Ряд вимірювань в інтервали часу (∆τ = 10 хв):

Варіант 3а: 73; 82; 88; 91; 94; 98; 99; 100; 101; 100.

Варіант 3б: 65; 72; 74; 78; 82; 84; 88; 90; 92; 91.

Варіант 3в: 62; 64; 69; 72; 71; 74; 76; 76; 78; 77.

Варіант 4. Швидкість переливу металу з розливного ковша в проміжний ківш МНЛЗ, кг/с. Ряд вимірювань в інтервалі часу (∆τ = 5 хв):

Варіант 4а: 60; 61; 59; 57; 56; 53; 50; 49; 45; 41.

Варіант 4б: 58; 58; 53; 50; 48; 44; 42; 39; 33; 28.

Варіант 4в: 56; 51; 46; 40; 38; 31; 24; 18; 7; 0.

Варіант 5. Швидкість окислення жаростійкого сплаву на нікелевій основі, мг.град/с. Ряд вимірювань в інтервалу часу (∆τ = 5 хв):

Варіант 5а: 21; 34; 44; 53; 59; 64; 68; 72; 74; 75.

Варіант 5б: 85; 68; 58; 46; 40; 33; 29; 24; 18; 16.

Варіант 5в: 31; 39; 45; 52; 55; 57; 60; 62; 62; 63.

Вріант 6. Зміна коефіцієнту розподілу сірки залежно від підвищення вмісту кремнезему у складі шлаку. Ряд вимірювань по ходу плавки:

Ls: 70; 62; 55; 48; 45; 41; 37; 36; 34; 33.

SiО2: 23; 25; 30; 32; 35; 37; 40; 42; 45; 46.

Варіант 7. Зв'язок між потужністю трансформатора і добовою продуктивністю печей при виплавці феросиліцію марки ФС45:

W, МВА: 16,5 24 33 48 63

Пс, т/сут: 73,6 701,1 147,2 214,2 290,7.

Варіант 8. Зв'язок між вмістом марганцю в шлаку і концентрацією кремнію в металі при виплавці високовуглецевого феромарганцю:

Si, % 1,54 1,64 1,70 1,75 1,78

Mn, % 13,4 13,3 13,3 13,2 13,2.

Варіант 9. Зв'язок між місткістю дугової сталеплавильної печі і потужністю пічного трансформатора:

G, т 12 25 50 100 200

W, МВА 8 12,5 25 75 125

Варіант 10. Зв'язок між тривалістю плавлення шихти в дуговій електропечі і питомій потужності пічного трансформатора:

τ пл, хв. 180 140 120 100 80 75

Р, кВА/т 250 300 350 400 450 500.

Варіант 11. Зв'язок між місткістю дугової сталеплавильної печі і питомою поверхнею металевої ванни

G, т 1 5 25 50 100 200

Fуд, м2/т 1.76 1,03 0,60 0,48 0,37 0,30.

Варіант 12. В'язкість марганцевого шлаку в діапазоні температур 1623-1873 К, η. Ряд вимірювань в інтервалі температур ∆t = 25°):

Варіант 12а: 101; 88; 82; 75; 72; 65; 60; 61; 59; 57.

Варіант 12б: 91; 74; 60; 55; 51; 45; 40; 37; 38; 35.

Варіант 12в: 75; 54; 42; 35; 28; 23; 21; 18; 17.

Варіант 12г: 54; 34; 21; 15; 11; 8; 6; 3; 4; 3.

Варіант 12д: 101; 80; 68; 62; 56; 53; 51; 48; 44; 45.

**3 Визначення коефіцієнтів лінійного рівняння регресії і тісноти зв'язку кореляційним методом**

**3.1 Методичні вказівки**

Метою будь-якого дослідження зазвичай є встановлення кількісної залежності між факторами, коливання яких в реальних умовах випадкові. Такий зв'язок має статистичний характер і називається кореляційною.

Визначення коефіцієнтів емпіричних формул при кореляційній залежності проводиться за допомогою методу найменших квадратів. Сутність цього методу полягає у визначенні такої залежності, при якій сума квадратів відхилень фактичних значень *yi* від середніх значень , обчислених по рівнянню, мінімальна, тобто .

Постійні коефіцієнти *а* і *b* в лінійному рівнянні регресії типу *y=a+b∙x* по методу найменших квадратів розраховується по формулах:

 (14),

 (15),

де *n* – число парних вимірювань величин *x* і *у*.

Критерієм близькості кореляційної залежності між *x* і *у* до рівняння прямої лінії є коефіцієнт кореляції, визначений з виразу:

 (16).

Величина коефіцієнта кореляції указує на тісноту зв'язку між змінними, а знак на характер впливу. Значення коефіцієнта кореляції можуть знаходитися в межах *-1 ≤ r ≤ +*. Якщо *r<0*, то збільшення *x* викликає зменшення *у*; при *r>0* спостерігається зворотна закономірність. Якщо *|r| =1*, то зв'язок є чисто лінійним; якщо *|r| =0*, то кореляційному зв'язку між *x* і *у* немає або вона не лінійна. Зазвичай вважають тісноту зв'язку задовільною при *|r| =0,5*.

При малому числі парних вимірювань (*n≤50*) оцінюється достовірність зв'язку шляхом розрахунку дисперсії коефіцієнта кореляції по рівнянню:

 (17).

Зв'язок вважають достовірним з довірчою вірогідністю 0,95, якщо виконується відношення:

 (18).

При нелінійному кореляційному зв'язку зазвичай використовують рівняння у вигляді многочлена

 (19).

Визначення коефіцієнтів *а, b* і *з* проводять методами множинної кореляції. Тісноту нелінійного зв'язку між *x* і *у* оцінюють в цьому випадку кореляційним відношенням

 (20),

де  - загальна середня величина *у*;  - середнє значення *у*, відповідне інтервалу (групі) значень *x*; *у* – значення *у* в групі.

Значення кореляційного відношення знаходяться в межах 0 % *з* % 1. Кореляційне відношення служить мірою тісноти нелінійного зв'язку, проте воно не дозволяє судити, наскільки близько досвідчені крапки розташовані до кривої регресії (параболі, гіперболі і ін.).

Для приведення нелінійної кореляційної залежності до простішого лінійного вигляду зручніше розглядати не самі змінні, а деякі їх функції, наприклад, зворотні величини – логарифми і т.п. Наприклад, нелінійне кореляційне рівняння вигляду

 (21)

логарифмуванням можна перетворити в лінійне

 (22).

Таке перетворення дозволяє для знаходження коефіцієнтів *а, b* і *с* і тісноти зв'язку скористатися методом найменших квадратів для лінійної залежності.

Для рівняння регресії вигляду:

 (23)

постійні коефіцієнти розраховують по формулах множинної кореляції:

 (24),

 (25),

 (26),

де, ,  - коефіцієнти кореляції між чинниками *у* і *x1*, *x1* и *x2*, відповідно;  - середнє квадратичне відхилення *у*;  і  - середньо квадратичні відхилення факторів *x1* і *x2*.

Якщо кількість змінних в рівнянні регресії рівна трьом і більш, то тісноту лінійного зв'язку оцінюють за допомогою коефіцієнта множинної кореляції R. Цей коефіцієнт зміняться в межах 0 ≤ R ≤ 1 і розраховують по формулі:

 (27).

Метод множинної кореляції дозволяє виявити вплив якого-небудь одного фактору при закріпленні значень решти факторів на постійному рівні за допомогою приватних значень кореляції *r'*. Наприклад, для двох факторів приватні коефіцієнти кореляції між *у* і *x*1 і *у* і *x2* відповідно визначаються з виразів:

 (28)

 (29)

**3.2 ПРИКЛАД**

Методом найменших квадратів визначити коефіцієнти лінійного рівняння, тісноту і достовірність зв'язку між довжиною електричної дуги L і напругою на дузі U (сила струму 10 кА) при наступних вихідних даних:

|  |
| --- |
| L (x), мм 10,0 14,3 20.0 27,0 34,1 40 |
| U (y), *b*  58 65 75 90 100 110 |

Заносимо вихідні значення x і у і проміжні розрахункові величини в звідну таблицю.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | x | y | x∙y | x2 | y2 |
| 1 | 10,0 | 58 | 580 | 100 | 3364 |
| 2 | 14,3 | 65 | 929,5 | 204,49 | 4225 |
| 3 | 20,0 | 75 | 1500 | 400 | 5625 |
| 4 | 27,0 | 90 | 2430 | 729 | 8100 |
| 5 | 34,1 | 100 | 3410 | 1162,81 | 10000 |
| 6 | 40,0 | 110 | 4400 | 1600 | 12100 |
| ∑ | 145,4 | 498 | 13249,5 | 4196,3 | 43414 |

Визначаємо значення постійних коефіцієнтів в лінійному рівнянні регресії:

,

.

Таким чином, рівняння лінійного зв'язку має вигляд:

.

Визначаємо коефіцієнт кореляції:

.

Набуте значення *r* близько до 1, що свідчить про чисто лінійний характер зв'язку. У зв'язку з малим числом вимірювань перевіряємо достовірність зв'язку розрахунком дисперсії коефіцієнта кореляції:

, , тобто зв'язок достовірний.

**3.3 Варіанти контрольного завдання №3**

Варіант 1. Визначити зв'язок між вмістом кремнію і вуглецю у феросилікохромі при:

|  |
| --- |
| Si, % 18 20 26 33 40 48 |
| С, % 6,0 4,5 3,0 0,9 0,2 0,1 |

Варіант 2. Знайти зв'язок між вмістом кремнію і уявної щільності феросиліцію

|  |
| --- |
| Si, % 20 25 45 65 75 90 |
| Ρх103, кг/м3 6,7 5,8 5,1 3,3 3,0 2,5 |

Варіант 3. Виявити зв'язок між вмістом кремнію у феросиліції і питомою витратою електроенергії при виплавці в закритих печах

|  |
| --- |
| Si, % 20 25 45 65 75 90 |
| А, кВт∙г/б.т. 1930 2700 4650 7000 8600 11600 |

Варіант 4. Визначити зв'язок між вмістом кремнію і алюмінію у феросиліції

|  |
| --- |
| Si, % 20 25 45 65 75 90 |
| Al, % 0,6 0,7 1,2 1,3 1,6 2,3 |

Варіант 5. Знайти зв'язок між вмістом кремнію і вуглецю у феросиліції

|  |
| --- |
| Si, % 20 25 45 65 75 90 |
| С, % 0,60 0,41 0,06 0,05 0,04 0,03 |

Варіант 6. Встановити зв'язок між вмістом кремнію і вуглецю в силікомарганці

|  |
| --- |
| Si, % 14.2 16 17,6 18 18,4 19,8 20.0 |
| С, % 2,0 1,7 1,5 1,4 1,3 1,0 0,9 |

Варіант 7. Визначити зв'язок між вмістом кремнію у феросилікомарганці і питомій витраті електроенергії при виплавці водностадійним способом

|  |
| --- |
| Si, % 13 23 33 43 50 |
| А, кВт∙г/т, % 4470 5660 7040 7770 8870 |

Варіант 8. Встановити залежність між вмістом MgO перед випуском залежно від тривалості відновного періоду при виплавці стали ШХ15

|  |
| --- |
| MgO % 8,9 9,6 10,6 11,2 12,8 |
| τ, хв 30 40 50 60 70 |

Варіант 9. Знайти зв'язок між вмістом алюмінію в сталі ШХ15 і довговічністю підшипників (L90')

|  |
| --- |
| Al % 0,005 0,01 0,015 0,02 0,03 |
| τ, хв 324 610 678 730 790 |

Варіант 10. Визначити зв'язок між значеннями середнього балу по глобулярних включеннях в сталі ШХ15 (Б гл) і основністю шлаку (В) при вмісті алюмінію 0,02%

|  |
| --- |
| Б гл 2,07 2,42 2,57 2,98 3,01 |
| В 2,1 2,4 2,5 2,8 3,0 |

Варіант 11. Встановити зв'язок між тиском кисню в системі (РО2) і тривалості продування корозійностійкої сталі типу Х18Н10Т

|  |
| --- |
| РО2, МПа 0,04 0,55 0,75 1,0 1,2 |
| τ, хв 27 20 17 14 12 |

Варіант 12. Знайти зв'язок між витратою відновника (коксика) і вмістом кремнію у феросиліції при виплавки в закритих печах

|  |
| --- |
| Si, % 20 25 45 65 75 90 |
| Р кокс, кг 200 260 490 700 820 930 |

Варіант 13. Визначити зв'язок між вмістом кремнію у феромарганці і коефіцієнтом використання марганцю

|  |
| --- |
| К вик 82,0 83,1 84,2 84,7 85,0 |
| Si, % 1,45 1,65 2,25 2,50 2,85 |

Варіант 14. Встановити зв'язок між основністю шлаку () і вмістом марганцю у феромарганці

|  |
| --- |
| Mn, % 72,5 72,0 71,8 71,1 |
| В 1,40 1,45 1,55 1,65 |

Варіант 15. Знайти зв'язок між щільністю розплаву системи CaF2 – CаO при 1600 °С залежно від змісту СаО

|  |
| --- |
| ρ, г/см3 2,51 2,55 2,63 2,68 2,75 |
| ХСaO 10 20 30 40 50 |

Варіант 16. Визначити щільність розплаву системи CаO – SiО2 при 1700 °С залежно від мольної частки СаО

|  |
| --- |
| ρ, г/см3 2,48 2,52 2,54 2,58 2,62 |
| ХСaO 0,30 0,35 0,40 0,45 0,50 |

Варіант 17. Встановити зв'язок між основністю шлаку () електродугової плавки і вмістом в ній водню [H]

|  |
| --- |
| [H], % 0,0015 0,0020 0,0030 0,0045 0,0065 0,0090 |
| В 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0 3,5 |

Варіант 18. Знайти зв'язок між активністю закису заліза (а FeО) і мольною частки закису заліза в розплаві системи CaF2 – FeO при 1500 °С

|  |
| --- |
| а FeО  0,20 0,40 0,53 0,65 0,94 |
| В 0,005 0,010 0,015 0,020 0,025 |

Варіант 19. Визначити зв'язок міжфазного натягнення (σ, Мн/м) розплаву 70% CaF2 і 30% Al2O3 і сталі в температурному діапазоні

|  |
| --- |
| σ, Мн/м 1491 1492 1470 1420 |
| t, °С 1500 1550 1600 1650 |

Варіант 20. Знайти залежність між вилученням марганцю у феромарганці і вмістом в нім кремнію

|  |
| --- |
| Mn, % 65,2 66,0 70,0 71,4 75,0 |
| Si, % 1,0 2,0 3,0 4,0 4,5 |

Варіант 21. Виявити зв'язок між питомою витратою кварциту (Р, кг/т) при виплавці феросиліцію в закритих печах і вмістом кремнію у феросплаві

|  |
| --- |
| Si, % 20 25 45 65 75 90 |
| Р, кг/т 470 552 900 1570 1930 2150 |

Варіант 22. Знайти зв'язок міжфазного натягнення (σ, Мн/м) розплаву Al2O3 – MnO – SiO2 і рідкій сталі при різній температурі

|  |
| --- |
| σ, Мн/м 1420 1390 1375 1350 1330 1300 |
| t, °С 1500 1520 1540 1560 1580 1600 |

Варіант 23. Визначити зв'язок в'язкості (η) синтетичного шлаку складу 45% CaО – 55% Al2O3 при різних температурах

|  |
| --- |
| σ, пз 12,5 11,0 9,0 7,5 7,4 6,8 6,0 |
| t, °С 1380 1400 1420 1440 1460 1480 1500 |

Варіант 24. Знайти зв'язок розчинності вуглецю (%С) в чистому залізі залежно від температури

|  |
| --- |
| С, % 4,12 5,20 5,24 5,25 5,27 5,30 |
| t, °С 1550 1560 1570 1580 1590 1600 |

Варіант 25. Визначити зв'язок між питомим електроопіром рідкого марганцю (ρ) і температурою

|  |
| --- |
| ρ∙108, Ом∙м 45 44 43 43 42 |
| t, °С 1400 1450 1500 1550 1600 |

**4 Оцінка значущості дії фактору на досліджуваний процес методом дисперсійного аналізу**

**4.1 Методичні вказівки**

У дослідженнях, що особливо проводяться в промислових умовах, часто ставиться завдання оцінки достовірності впливу на досліджуваний процес фактору, який може бути врахований лише якісно. Рішення такої задачі забезпечує застосування дисперсійного аналізу.

Метод дисперсійного аналізу передбачає, у разі однофакторного експерименту, порівняння двох серій вимірювань якого-небудь параметра одного і того ж процесу. Одна з серії приймається як базова, інша отримана в умовах дії досліджуваного фактору. У кожній серії виконується n вимірювань параметра.

За даними порівнюваних серій вимірювань розраховується сума квадратів відхилень від загального середнього між серіями Q1 і усередині серії Q2.

 (30)

 (30),

де  - середньоарифметичне для n вимірювань в серії;  - середньоарифметичне для обох серій (загальне середнє значення);  - окреме вимірювання в серії; m – число порівнюваних серій.

Таким чином величина Q1 характеризує розсіювання досліджуваного параметра між серіями, а величина Q2 – розсіювання цього параметра в серії.

Оцінка достовірності впливу фактору на вибраний параметр процесу проводиться по критерію Фішера

 (31),

де  – дисперсія між серіями, обумовлена фактором, що вивчається; і  – дисперсія усередині серії, обумовлена випадковими причинами.

Якщо фактор, що вивчається, надає істотний вплив на параметр, що вивчається, то >>. Чим більше величина критерію F, тим більше міра достовірності цього впливу. Для перевірки статистичної значущості досліджуваного впливу розрахункове значення критерію Fр порівнюють з табличними Fт, вибираним залежно від числа мір свободи f1=m–1 і f2=m(n–1) при даній довірчій вірогідності Рд=0,95. Якщо Fр > Fт, то вплив фактору на досліджуваний параметр процесу значущо. Табличні значення критерію Фішера приведені в додатку 3.

**4.2 ПРИКЛАД**

Оцінити значущість впливу заміни традиційних легуючих сплавів (ферохром, феромарганець, феросиліцій, алюміній) комплексним сплавом ФХMnСФ на ударну в'язкість сталі 30ХГСА (ак, кгм/см2) при наступних початкових даних.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №п/п | Технологія, що діє (*ХА*) | Досвідна технологія (*ХВ*) |
| 1 | 23 | 32 |
| 2 | 24 | 32 |
| 3 | 24 | 34 |
| 4 | 25 | 35 |
| 5 | 25 | 35 |
| 6 | 27 | 36 |
| 7 | 28 | 36 |

Розрахунок суми квадратів відхилень між серіями і всередині серії представлено в таблиці.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №п/п | *ХА* | *ХВ* |  |  |  |  |
| 1 | 23 | 32 | -2,14 | 4,5796 | -2,28 | 5,1984 |
| 2 | 24 | 32 | -1,14 | 1,2996 | -2,28 | 5,1984 |
| 3 | 24 | 34 | -1,14 | 1,2996 | -0,28 | 0,0784 |
| 4 | 25 | 35 | -0,14 | 0,0196 | +0,72 | 0,5184 |
| 5 | 25 | 35 | -0,14 | 0,0196 | +0,72 | 0,5184 |
| 6 | 27 | 36 | +1,86 | 3,4596 | +1,72 | 2,9584 |
| 7 | 28 | 36 | +2,86 | 9,1796 | +1,72 | 2,9584 |

 = 25,14;  = 34,28;  = 29,71;  = 18,8572;  = 17,4288.

Q1 = 7/(25,14 – 29,71)2 + (34,28 – 29,71)2 = 292,388.

Q2 = 18,8572 + 17,4288 = 36,286.

Визначаємо дисперсії між серіями і всередині серії:

,

.

Розрахункове значення критерію Фішера:

.

По таблицях (додаток 3) для РД =0,95 f1=2 – 1=1 і f2=2∙(7 – 1)=12 знаходимо значення Fт =4,75. Оскільки Fр >> Fт, то вплив заміни традиційних феросплавів на комплексний сплав на ударну в'язкість сталі 30ХГСА слід вважати значущим.

**4.3 Варіанти контрольного завдання №4**

Варіант 1. Оцінити вплив підвищення вмісту вуглецю в дослідних розплавах на зменшення чаду хрому після продування ванни киснем при виплавки корозійностійкої сталі Х18Н9Т

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | [С],% | Чад хрому, % | | | | | | |
| 1 | 0,44 | 5,32 | 4,31 | 4,84 | 5,18 | 5,05 | 5,22 | 5,26 |
| 2 | 0,70 | 5,11 | 4,65 | 4,71 | 4,36 | 4,56 | 4,80 | 4,68 |

Варіант 2. Оцінити вплив питомої витрати кремнію при розкислюванні металу і шлаку на відновлення хрому зі шлаку після продування ванни киснем

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Si, % | Чад хрому, % | | | | | |
| 1 | 1,0 | 1,03 | 1,13 | 1,89 | 0,92 | 1,76 | 1,96 |
| 2 | 3,0 | 3,32 | 3,12 | 3,06 | 4,0 | 2,36 | 3,43 |

Варіант 3. Оцінити вплив збільшення витрати алюмінію при розкислюванні металу на забрудненість стали ШХ15 оксидними включеннями

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Al, кг/т | Чад хрому, % | | | | | | |
| 1 | 0,20 | 5,32 | 4,31 | 4,84 | 5,18 | 5,05 | 5,22 | 5,26 |
| 2 | 0,45 | 5,11 | 4,65 | 4,71 | 4,36 | 4,56 | 4,80 | 4,68 |

Варіант 4. Оцінити вплив способу розкислювання хромистої сталі на вміст в ній водню перед випуском

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Спосіб розкислювання | Зміст водню [H], мл/100 г | | | | | | |
| У печі | 5,6 | 6,0 | 6,4 | 5,8 | 5,8 | 6,0 | 6,2 |
| У ковші | 5,8 | 4,6 | 5,5 | 4,8 | 5,2 | 5,4 | 5,2 |

Варіант 5. Визначити вплив способу розливання сталі 40ХНМА на ураженість металу поверхневими дефектами

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Спосіб розливання | Кількість злитків, підданих зачистці поверхні, % | | | | | | | |
| Сифоном | 0,8 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,4 | 2,0 | 1,8 | 1,6 |
| Зверху | 6,2 | 7,5 | 8,5 | 7,3 | 6,9 | 8,1 | 8,6 | 6,8 |

Варіант 6. Оцінити вплив технології розливання сталі 07Х25Н13 на вихід придатного

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Спосіб розливання | Вихід придатного прокату на 1 т злитка, т | | | | | | |
| Звичайна | 0,470 | 0,450 | 0,750 | 0,675 | 0,750 | 0,690 | 0,544 |
| Під шлаком | 0,640 | 0,553 | 0,780 | 0,807 | 0,752 | 0,761 | 0,633 |

Варіант 7. Визначити вплив обробки сталі ШХ15 в ковші під час випуску шлаками різної основності (В = СаО/SiO2)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Технологія виробництва | Величина середнього балу глобулей по шкалах ГОСТ 801-78 | | | | | |
| Що діє (В = 2,5÷3) | 2,35 | 2,40 | 2,46 | 2,24 | 2,60 | 2,44 |
| Досвідна (В = 0,7÷1.4) | 1,78 | 1,75 | 1,83 | 1,78 | 1,97 | 2,26 |

Варіант 8. Оцінити вплив вологості вапна на вихід придатного при виплавки корозійностійкої сталі

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Кількість вологи у вапну, % | Плавки, уражені газовими міхурами % | | | | | |
| 1÷3 | 21,4 | 36,0 | 42,8 | 50,6 | 28,3 | 33,9 |
| > 3 | 60,0 | 72,0 | 82,0 | 66,2 | 73,1 | 56,5 |

Варіант 9. Оцінити вплив застосування металевого кальцію на показники ударної в'язкості сталі Р6М5 при температурі випробування 1373 К

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Технологія виробництва | Ударна в'язкість, МДж/м2 | | | | |
| Що діє | 0,147 | 0,132 | 0,150 | 0,140 | 0,147 |
| Досвідна (витрата Са 1,5кг/т) | 0,196 | 0,158 | 0,163 | 0,177 | 0,170 |

Варіант 10. Оцінити вплив використання нагрітих до 900 °С марганцевих феросплавів при виплавці стали 14Г2 на зниження кількості плавок з невідповідністю хімічному складу

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Спосіб розкислювання в ковші | Кількість плавок, не відповідних хімічному складу, % | | | | | |
| Холодні феросплави | 2,03 | 2,01 | 2,32 | 2,00 | 1,94 | 2,40 |
| Нагріті феросплави | 1,85 | 1,80 | 1,75 | 1,84 | 2,01 | 1,80 |

Варіант 11. Оцінити вплив способу розливання феросиліцію ФС65 на вміст в нім водню

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Спосіб розливання | Вміст водню, см3/100 г | | | | | |
| Машинна | 15,6 | 14,2 | 17,1 | 16,3 | 17,8 | 15,8 |
| У піддони | 12,3 | 15,0 | 15,1 | 14,6 | 11,8 | 12,0 |

Варіант 12. Оцінити вплив розкислювання сталі 30Л на ступінь витягання марганцю з відвального шлаку металевого марганцю (20% MnO; 46% CaO; 27% SiO2; 3,5% MgO; 3,0% Al2O3; 0,02% P2O5; 0,12% S)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Режим розкислювання | Ступінь витягання марганцю, % | | | | | |
| Вуглець | 80,5 | 81,0 | 79,7 | 80,6 | 79,0 | 80,0 |
| Вуглець + ФС75 (2:1) | 89,4 | 90,0 | 85,6 | 87,4 | 88,1 | 89,0 |

Варіант 13. Оцінити вплив офлюсованого доломітом марганцевого агломерату на механічні властивості (міцність)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Агломерат | Зміст фракції менше 20 мм, % | | | | | | |
| Офлюсований доломітом | 8,0 | 7,5 | 8,6 | 8,4 | 8,3 | 8,0 | 8,2 |
| Неофлюсований | 20,0 | 19,6 | 21,0 | 20,1 | 15,6 | 20,0 | 19,8 |

Варіант 14. Оцінити вплив збагачення марганцевої руди промиванням

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Стан | Вміст марганцю, % | | | | | |
| Початкова руда | 28,9 | 28,1 | 27,9 | 29,2 | 28,5 | 28,5 |
| Після промивки | 39,0 | 38,5 | 39,1 | 39,0 | 39,1 | 39,0 |

Варіант 15. Оцінити вплив офлюсованого доломітом марганцевого концентрату на показники роботи печі РПЗ63М2, при виплавці високовуглецевого феромарганцю

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Агломерат | Питома витрата електроенергії, кВт∙г/т | | | | | |
| Офлюсований | 3750 | 3700 | 3820 | 3780 | 3700 | 3650 |
| Неофлюсований | 4100 | 4050 | 4120 | 4000 | 3980 | 4000 |

Варіант 16. Оцінити вплив вмісту марганцю в карбонатному (25%) і оксидному I сорту (43%) концентратах на питому витрату електроенергії при виплавці високовуглецевого феромарганцю

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Концентрат | Питома витрата електроенергії, кВт∙г/т | | | | |
| Карбонатний | 6670 | 6700 | 6720 | 6750 | 6700 |
| Оксидний I сорту | 3900 | 3950 | 3800 | 3850 | 3900 |

Варіант 17. Оцінити вплив вмісту марганцю в карбонатному (25%) і оксидному II сорту (36%) концентратах на витрату малофосфористого шлаку при виплавці високовуглецевого феромарганцю

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Концентрат | Витрата малофосфористого шлаку, кг/т | | | | | |
| Карбонатний | 990 | 970 | 985 | 980 | 985 | 990 |
| Оксидний II сорту | 820 | 815 | 800 | 810 | 815 | 817 |

Варіант 18. Оцінити вплив вмісту марганцю в карбонатному (25%) і оксидному II сорту (36%) концентратах на кратність шлаку при виплавці високовуглецевого феромарганцю

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Концентрат | Кратність шлаку | | | | |
| Карбонатний | 3,40 | 3,20 | 3,27 | 3,18 | 3,35 |
| Оксидний II сорту | 1,83 | 1.80 | 1,72 | 1,75 | 1,80 |

Варіант 19. Оцінити вплив якості вживаної сировини на показники процесу виплавки силікомарганця

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Концентрат | Кратність шлаку | | | | | |
| Карбонатний (25% Mn) | 1,32 | 1,30 | 1,28 | 1,36 | 1,27 | 1,30 |
| Оксидний II сорту (36%Mn) | 1,03 | 1,00 | 0,97 | 0,98 | 0,97 | 1,00 |

Варіант 20. Оцінити вплив якості початкової сировини на показники витягання марганцю при виплавці силікомарганця

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Концентрат | Витягання марганцю | | | | |
| Карбонатний | 71,50 | 71,47 | 71,51 | 71,52 | 71,54 |
| Оксидний II сорту | 72,60 | 72,40 | 72,48 | 72,63 | 0,97 |

Варіант 21. Оцінити вплив добавок лужних алюмосилікатів (пегматити) до складу шихти для виплавки силікомарганця

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Технологія | Продуктивність печі, т/сут. | | | | | |
| Що діє | 320 | 315 | 325 | 323 | 321 | 319 |
| Із застосуванням пегматитів | 350 | 345 | 355 | 360 | 352 | 343 |

Варіант 22. Оцінити вплив добавок відходів графитації електродів на питому витрату електроенергії при виробництві ферослилікохрому ФСХ40 безшлаковим способом

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Склад шихти | Питома витрата електроенергії, кВт∙г/т | | | | | |
| Що діє | 4600 | 4580 | 4570 | 4610 | 4580 | 4600 |
| З добавкою відходів графитації (40 кг/т) | 4200 | 4250 | 4180 | 4200 | 4210 | 4220 |

Варіант 23. Оцінити вплив добавок шлаку феросилікохрому, використовуваного як флюс, на показники виплавки вуглецевого ферохрому

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Шихта | Витягання хрому % | | | | | |
| Що діє | 86,0 | 85,3 | 86,1 | 85,8 | 85,5 | 86,0 |
| З добавкою шлаку феросилікохрому | 87,4 | 88,0 | 87,1 | 87,4 | 87,0 | 87,1 |

Варіант 24. Оцінити вплив якості марганецьвмісної сировини на виробництво силікомарганця

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Концентрат | Питома витрата електроенергії, кВт∙г/т | | | | |
| Оксидний I сорту (43 % Mn) | 5360 | 5300 | 5400 | 5320 | 5310 |
| Оксидний II сорту (36 % Mn) | 5700 | 5650 | 5700 | 5600 | 5680 |

Варіант 25. Визначити вплив підвищення швидкості розливання феромарганцю на утворення некондиційних злитків феросплавів

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Продуктивність розливної машини, т/г | Кількість некондиційного сплаву, % | | | | |
| 60,0 | 0,12 | 0,13 | 0,11 | 0,12 | 0,11 |
| 70,0 | 0,16 | 0,15 | 0,15 | 0,16 | 0,14 |

ДОДАТОК 1

Критерій βmax

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| n | βmax при Р*Д* | | |
| 0,90 | 0,95 | 0,99 |
| 3 | 1,41 | 1,41 | 1,41 |
| 4 | 1,64 | 1,39 | 1,72 |
| 5 | 1,79 | 1,87 | 1,90 |
| 6 | 1,89 | 2,00 | 2,13 |
| 7 | 1,97 | 2,09 | 2,26 |
| 8 | 2,04 | 2,17 | 2,37 |
| 9 | 2,10 | 2,24 | 2,46 |
| 10 | 2,15 | 2,29 | 2,54 |
| 15 | 2,33 | 2,49 | 2,80 |
| 20 | 2,45 | 2,69 | 2,96 |

ДОДАТОК 2

Критерій Стьюдента t

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| n | t при Р*Д* | | |
| 0,90 | 0,95 | 0,99 |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 2 | 2,919986 | 4,302653 | 9,924843 |
| 3 | 2,353363 | 3,182446 | 5,840909 |
| 4 | 2,131847 | 2,776445 | 4,604095 |
| 5 | 2,015048 | 2,570582 | 4,032143 |
| 6 | 1,94318 | 2,446912 | 3,707428 |
| 7 | 1,894579 | 2,364624 | 3,499483 |
| 8 | 1,859548 | 2,306004 | 3,355387 |
| 9 | 1,833113 | 2,262157 | 3,249836 |
| 10 | 1,812461 | 2,228139 | 3,169273 |
| 15 | 1,75305 | 2,13145 | 2,946713 |
| 20 | 1,724718 | 2,085963 | 2,84534 |
| 25 | 1,708141 | 2,059539 | 2,787436 |
| 30 | 1,697261 | 2,042272 | 2,749996 |

ДОДАТОК 3

Критерій Фишера

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f2 | Значення FТ при РД =0,95 при різних f1 | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 161,45 | 199,50 | 215,71 | 224,58 | 230,16 | 233,99 | 236,77 | 238,88 | 240,54 |
| 2 | 18,51 | 19,00 | 19,16 | 19,25 | 19,30 | 19,33 | 19,35 | 19,37 | 19,39 |
| 3 | 10,13 | 9,55 | 9,28 | 9,12 | 9,01 | 8,94 | 8,89 | 8,85 | 8,81 |
| 4 | 7,71 | 6,94 | 6,59 | 6,39 | 6,26 | 6,16 | 6,09 | 6,04 | 6,00 |
| 5 | 6,61 | 5,79 | 5,41 | 5,19 | 5,05 | 4,95 | 4,88 | 4,82 | 4,77 |
| 6 | 5,99 | 5,14 | 4,76 | 4,53 | 4,39 | 4,28 | 4,21 | 4,15 | 4,10 |
| 7 | 5,59 | 4,74 | 4,35 | 4,12 | 3,97 | 3,87 | 3,79 | 3,73 | 3,39 |
| 8 | 5,32 | 4,46 | 4,07 | 3,84 | 3,69 | 3,58 | 3,50 | 3,44 | 3,39 |
| 9 | 5,12 | 4,26 | 3,86 | 3,63 | 3,48 | 3,37 | 3,29 | 3,23 | 3,18 |
| 10 | 4,96 | 4,10 | 3,71 | 3,48 | 3,33 | 3,22 | 3,14 | 3,07 | 3,02 |
| 11 | 4,84 | 3,98 | 3,59 | 3,36 | 3,20 | 3,09 | 3,01 | 2,95 | 2,90 |
| 12 | 4,75 | 3,89 | 3,49 | 3,26 | 3,11 | 3,00 | 2,91 | 2,85 | 2,80 |
| 13 | 4,67 | 3,81 | 3,41 | 3,18 | 3,03 | 2,92 | 2,83 | 2,77 | 2,71 |
| 14 | 4,60 | 3,74 | 3,34 | 3,11 | 2,96 | 2,85 | 2,76 | 2,70 | 2,65 |
| 15 | 4,54 | 3,68 | 3,29 | 3,06 | 2,90 | 2,79 | 2,71 | 2,64 | 2,59 |
| 16 | 4,49 | 3,63 | 3,24 | 3,01 | 2,85 | 2,74 | 2,66 | 2,59 | 2,54 |
| 17 | 4,45 | 3,59 | 3,20 | 2,96 | 2,81 | 2,70 | 2,61 | 2,55 | 2,49 |
| 18 | 4,41 | 3,55 | 3,16 | 2,93 | 2,77 | 2,66 | 2,58 | 2,51 | 2,46 |
| 19 | 4,38 | 3,52 | 3,13 | 2,89 | 2,74 | 2,63 | 2,54 | 2,48 | 2,42 |
| 20 | 4,35 | 3,49 | 3,10 | 2,87 | 2,71 | 2,60 | 2,51 | 2,45 | 2,39 |

ДОДАТОК 4 Деякі функції і способи їх лінеаризації

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вид графіка | Рівняння | Спосіб лінеаризації |
|  | або | X=x    X=x                    X=x  X=x |

**2 Рекомендована література**

1. Налимов В.В. Теория эксперимента. - М.: Наука, 1971. - 208 с.
2. Основы научных исследований в черной металлургии / Под общей редакцией Ю.Н. Яковлева. - Киев-Донецк: Вища школа. Головное изд-во, 1985. - 205 с.
3. Ковшов В.Н. Постановка инженерного эксперимента. - Киев-Донецк: Вища школа, 1982. - 120 с.
4. С.И. Пинчук. Организация эксперимента при моделировании и оптимизации технических систем. - Учебное пособие. - Днепропетровск: ООО Независимая издательская организация "Дива". - 2008. - 248с.
5. Кучер А.Г. Программа, методические указания и контрольные задания по дисциплине «Основы научных исследований для студентов специальности 11.01 - металлургия черных металлов. - Днепропетровск: ДметИ, 1992. - 40с.
6. Чуйко Н.М., Чуйко А.Н. Теория и технология электроплавки стали. - Киев-Донецк: Вища школа, 1983. - 248 с.
7. Белай Г.Е., Дембовский В.В., Соценко О.В. Организация металлургического эксперимента. Учебн. пособие для вузов. - М.:Металлургия, 1993. - 256 с.