

Карісимо

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

МОДЕЛЮВАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

**Методичні вказівки
до проведення практичних занять**

**Методичні вказівки
до контрольних робіт**
для студентів ЗДІА денної форми навчання

*спеціальностей 7.090401 “Металургія чорних металів”,
7.090402 “Металургія кольорових металів”*

*Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри МКМ,
протокол № 8 від 26.04.2006 р.*

Модельовання металургійних процесів: методичні вказівки до контрольних робіт для студентів ЗДА денної форми навчання спеціальностей 7.090401 "Металургія чорних металів", 7.090402 "Металургія кольорових металів". Укл.: Скачков В.О., Карпенко Г.В., - Запоріжжя, 2006. - 40 с.

Методичні вказівки призначено для студентів металургійних спеціальностей, що виконують контрольні завдання з дисципліни "Модельовання металургійних процесів". Вказівки містять головні відомості та термінологію, які використовуються під час металургійних розрахунків, призначення проведення розрахунків різних видів металургійної справи, завдання щодо виконання контрольної роботи, необхідний додатковий матеріал, а також перелік рекомендованої літератури.

Укладачі: *В.О.Скачков, доцент*
Г.В. Карпенко, асистент

Відповідальний за випуск : *зав. кафедрою МКМ*
професор І.Ф. Червоний

Зміст

Вступ.....	4
1 Моделювання матеріальних потоків при виробництві глинозему.....	8
1.1 Постановка завдання.....	8
1.2 Розробка математичної моделі розгалуженого металургійного процесу.....	9
1.3 Розробка програми розрахунку розгалуженого металургійного процесу.....	11
1.4 Програмне середовище.....	12
1.5 Індивідуальні завдання.....	12
1.6 Оформлення звіту.....	12
2 Розрахунок складу шихти для виплавки заданого сплаву	13
2.1 Математична модель.....	13
2.2 Метод рішення.....	14
2.3 Індивідуальні завдання.....	15
3 Регресивний аналіз.....	16
3.1 Обчислення початкових і центральних моментів.....	16
3.2 Побудова гістограм.....	17
3.3 Кореляційний аналіз	18
3.4 Регресивний аналіз.....	19
4 Моделювання розливання металу.....	24
4.1 Початкові данні для розрахунку.....	24
4.2 Програми для моделювання розливання металу.....	25
Рекомендована література.....	27
Додаток 1.....	28
Додаток 2.....	31
Додаток 3.....	32
Додаток 4.....	34
Додаток 5.....	37
Додаток 6.....	38
Додаток 7.....	39

Вступ

Моделювання є відтворенням характеристик деякого об'єкту на іншому матеріальному або уявному об'єкті, спеціально створеному для їх вивчення і званому моделлю.

Модель - віддзеркалення істотних сторін реальної системи, що уявляє інформацію про систему в зручній формі.

Модельована система характеризується зв'язками між вхідними і вихідними параметрами, вид яких залежить від вибору межі між системою і навколишнім середовищем. Звідси витікає, що вид моделі системи певною мірою залежить від точки зору спостерігача.

При моделюванні технологічних систем ставляться наступні цілі:

- досягнення практичних результатів (встановлення функціональних зв'язків між входом і виходом системи для вирішення конкретних завдань управління, оптимізація технологічних режимів);
- навчання, демонстрація і полегшення засвоєння вже готових знань;
- дослідження технологічних систем.

У разі дослідження технологічних систем моделі використовуються для наступних цілей:

- вдосконалення або побудова теорії процесів;
 - прогноз поведінки системи;
 - заміни складної системи більш простою;
 - економія часу і засобів;
 - інтерпретація експериментальних та теоретичних результатів шляхом перенесення експериментів технологічною системою на модель;
 - перевірки істинності знань про реальну систему (об'єкті або процеси).
- Зі всього різноманіття моделей можна виділити моделі трьох типів:
- концептуальні;
 - фізичні;
 - математичні.

Концептуальні моделі є описовими образами об'єкту дослідження в словесній або феноменологічній формах, побудовані на основі спостереження за реальною системою.

Фізичні моделі - це такі моделі, в яких протікаючи фізичні процеси ідентичні процесам, що протікають в системах. При цьому математичні залежності, що описують фізичні процеси повинні бути аналогічні.

Фізичні моделі можна підрозділити на дві категорії мають однакову з об'єктом фізичну природу, моделі другої категорії за своєю природою відрізняються від природи системи.

Моделі першої категорії відрізняються від об'єкту тільки кількісними розмірами, діапазоном зміни параметрів і т.д. При цьому тотожність процесів, що протікають, в моделі і реальній системі встановлюються теорії подібності.

вибору параметрів моделі і вибору відповідних початкових і граничних умов.

В процесі моделювання завжди беруть участь і взаємодіють один з одним суб'єкт, об'єкт дослідження й модель. При побудові моделі, наближеної до реальної системи, відбувається поступовий рух від відносній системі до абсолютної системи.

Процес моделювання представляється у вигляді наступних етапів:

- 1) постановка завдання моделювання;
- 2) вибір й побудова моделі (вибір структури і опис окремих блоків);
- 3) дослідження моделі;
- 4) перенесення знань з моделі на оригінал.

На першому етапі необхідне чітке уявлення про мету моделювання, облік апріорних даних, спостереження, експериментування.

На другому етапі дуже важливо усвідомлення загальної структурної схеми моделі. При цьому велику роль грають досвід, інтуїція, професіоналізм дослідника. При побудові моделі велику користь може принести метод аналогії.

Третій етап є дуже важливим і, у разі достатнього наближення моделі до реальної системи, може дати нові цікаві результати.

Четвертий етап найбільш складний, дозволяє виносити думки про функціонування реальної системи. Цей етап безпосередньо пов'язаний з двома попередніми етапами.

Математична модель системи - це її опис на формальній мові, що дозволяє виносити думки про деякі риси поведінки цієї системи при проведенні формальних процедур над її описом. Як математичні моделі використовується графіки, рівняння, графи, таблиці, алгоритми.

Математичні моделі бувають двох категорій:

- детерміновані;
- статистичні.

Детерміновані моделі - це моделі, опис яких дається у вигляді функціональних залежностей між вхідними і вихідними параметрами об'єкту.

Припустимо, що є об'єкт з вхідними параметрами $x_1, x_2, \dots, x_n$, і вихідними -

Згідно теорії подібності процес побудови фізичної моделі зводиться до вибору параметрів моделі і вибору відповідних початкових і граничних умов.

В процесі моделювання завжди беруть участь і взаємодіють один з одним суб'єкт, об'єкт дослідження й модель. При побудові моделі, наближеної до реальної системи, відбувається поступовий рух від відносній системі до абсолютної системи.

Процес моделювання представляється у вигляді наступних етапів:

- 1) постановка завдання моделювання;
- 2) вибір й побудова моделі (вибір структури і опис окремих блоків);
- 3) дослідження моделі;
- 4) перенесення знань з моделі на оригінал.

На першому етапі необхідне чітке уявлення про мету моделювання, облік апріорних даних, спостереження, експериментування.

На другому етапі дуже важливо усвідомлення загальної структурної схеми моделі. При цьому велику роль грають досвід, інтуїція, професіоналізм дослідника. При побудові моделі велику користь може принести метод аналогії.

Третій етап є дуже важливим і, у разі достатнього наближення моделі до реальної системи, може дати нові цікаві результати.

Четвертий етап найбільш складний, дозволяє виносити думки про функціонування реальної системи. Цей етап безпосередньо пов'язаний з двома попередніми етапами.

Математична модель системи - це її опис на формальній мові, що дозволяє виносити думки про деякі риси поведінки цієї системи при проведенні формальних процедур над її описом. Як математичні моделі використовується графіки, рівняння, графи, таблиці, алгоритми.

Математичні моделі бувають двох категорій:

- детерміновані;
- статистичні.

Детерміновані моделі - це моделі, опис яких дається у вигляді функціональних залежностей між вхідними і вихідними параметрами об'єкту.

Припустимо, що є об'єкт з вхідними параметрами $x_1, x_2, \dots, x_n$, і вихідними - $y_1, y_2, \dots, y_m$. Вихідні і вхідні параметри зв'язані системою рівнянь:

$$\begin{aligned} y_1 &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_n); \\ y_2 &= f_2(x_1, x_2, \dots, x_n); \\ y_m &= f_m(x_1, x_2, \dots, x_n); \end{aligned} \tag{1}$$

Якщо з теоретичних або експериментальних даних будуть визначені функції f_k ($k = 1, m$), то система рівнянь слугуватиме моделлю об'єкту.

Статистичними називають моделі, що містять ймовірні елементи. Такі моделі мають формальніший характер і будуються для об'єктів з невідомими причинно-наслідковими зв'язками між параметрами. В цьому випадку використовуються експериментальні дані, які служать для розпізнавання цих зв'язків.

Для математичного моделювання використовуються наступні загальні підходи:

- 1) методи балансів;
- 1) методи термодинаміки рівноважних і нерівноважних процесів;
- 2) методи хімічної кінетики;
- 3) статичні методи (регресійний і кореляційний аналіз);
- 4) методи аналізу розмірностей.

Методи балансів засновані на складанні як миттєвих балансів (для нескінченно малого проміжку часу), так і балансів для певного кінцевого відрізка часу. Миттєві баланси використовуються для введення математичних рівнянь, що описують закони функціонування технологічних систем. На основі миттєвих балансів виводяться рівняння теплопровідності, конвективно-дифузійного масопереносу в рідині та газах, рівняння руху в механіці тіл і т.і.

Баланси на кінцевий відрізок часу застосовуються, наприклад, для розрахунку металургійних процесів в цілому або їх окремих технологічних стадій.

Методи термодинаміки дозволяють вирішувати дві дуже важливі групи завдань. Перша група завдань пов'язана з складанням енергетичних балансів. Друга - пов'язана з визначенням характеристик рівноваги. В т.ч. напрями і повнота протікання хімічних процесів. Ці завдання є предметом хімічної термодинаміки, заснованих на двох фундаментальних законах природи: першому і другому початках термодинаміки.

Методи хімічної кінетики мають велике значення при створенні динамічних моделей, відтворюючих поведінку технологічних систем в часі. Такі моделі дозволяють прогнозувати майбутній стан процесу, визначити оптимальні траєкторії його протікання, а отже, знаходити шляхи підвищення продуктивності і екологічності.

Методи хімічної кінетики базуються на законах хімічної кінетики і оперують кінетичними рівняннями хімічних процесів.

Швидкості протікання хімічних реакцій залежать від концентрації реагуючих речовин, температури, тиску, наявності каталізаторів, стану поверхонь розділу фаз і записуються у вигляді

$$V = -\frac{dC}{dt} = k(T, P)f(C), \quad (2)$$

де C - концентрація реагуючої речовини; k - константа швидкості;
 T, P - температура і тиск в системі;
 $f(C)$ - деяка функція, залежна від концентрації C .

Хімічні реакції поділяються на два основні класи: гомогенні і гетерогенні реакції. Гомогенні реакції реалізуються в об'ємі реакційного простору (твердого тіла, газу, рідини), а гетерогенні - на поверхні розділу фаз тверде тіло - тверде тіло, рідина - тверде тіло, газ - тверде тіло, газ - рідина.

Всі хімічні реакції бувають оборотними і необоротними, паралельними, послідовними, послідовно-паралельними, одностадійними й багатостадійними. Кожен вид хімічних реакцій описується відповідною системою кінетичних рівнянь, що дозволяють визначити швидкості перетворення хімічних реагуючих речовин у будь-який момент часу, кількість речовини, що прореагувала до даного моменту часу і кількість освічених продуктів.

Гетерогенні реакції мають складну фізико-хімічну природу. Їм відповідають наступні процеси:

- дифузія початкових речовин до поверхні розділу фаз;
- адсорбція реагентів на поверхні розділу фаз;
- хімічна реакція на поверхні;
- адсорбція продуктів реакції на поверхні розділу фаз;
- дифузія продуктів реакції від реакційної поверхні в об'єм контактуючих середовищ.

Статистичні методи припускають використання регресійного або кореляційного аналізу.

Регресійний аналіз використовується для систем, у яких вхідні величини детерміновані, а вхідні - випадкові. Кореляційний аналіз застосовується для моделювання систем, у яких вхідна і вихідна величини - випадкові.

У основу регресійного аналізу покладені наступні припущення. Випадкова величина Y розподілена для кожного значення змінної X за законом Гауса. Дисперсія вихідної величини Y у всьому інтервалі зміни X постійні або пропорційні відомій функції від X . Вид функції, що пов'язує вихідну величину Y з вхідною величиною X , передбачається відомою:

$$y = f(x, \beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n) \quad (3)$$

де $\beta_i (i = \overline{1, n})$ - невідомі випадкові параметри.

Завдання регресійного аналізу полягає у визначенні оцінок невідомих параметрів $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ в (3). При цьому використовуються апріорні дані про вигляд функції (3), одержані на основі теоретичних або експериментальних міркувань.

Контрольна робота призначена для практичного засвоєння студентами основних розділів дисципліни "Моделювання металургійних процесів", закріплення знань з математичних і програмних засобів системного моделювання, розвитку практичних навиків комплексного рішення задач дослідження і проектування моделей на базі сучасних персональних комп'ютерів (ПК).

У завдання контрольної роботи входять:

Хімічні реакції поділяють на два основні класи: гомогенні і гетерогенні реакції. Гомогенні реакції реалізуються в об'ємі реакційного простору (твердого тіла, газу, рідини), а гетерогенні - на поверхні розділу фаз тверде тіло - тверде тіло, рідина - тверде тіло, газ - тверде тіло, газ - рідина.

Всі хімічні реакції бувають оборотними і необоротними, паралельними, послідовними, послідовно-паралельними, одностадійними й багатастадійними. Кожен вид хімічних реакцій описується відповідною системою кінетичних рівнянь, що дозволяють визначити швидкості перетворення хімічних реагуючих речовин у будь-який момент часу, кількість речовини, що прореагувала до даного моменту часу і кількість освічених продуктів.

Гетерогенні реакції мають складну фізико-хімічну природу. Їм відповідають наступні процеси:

- дифузія початкових речовин до поверхні розділу фаз;
- адсорбція реагентів на поверхні розділу фаз;
- хімічна реакція на поверхні;
- адсорбція продуктів реакції на поверхні розділу фаз;
- дифузія продуктів реакції від реакційної поверхні в об'єм контактуючих середовищ.

Статистичні методи припускають використання регресійного або кореляційного аналізу.

Регресійний аналіз використовується для систем, у яких вхідні величини детерміновані, а вихідні - випадкові. Кореляційний аналіз застосовується для моделювання систем, у яких вхідна і вихідна величини - випадкові.

У основу регресійного аналізу покладені наступні припущення. Випадкова величина Y розподілена для кожного значення змінної X за законом Гауса. Дисперсія вихідної величини Y у всьому інтервалі зміни X постійні або пропорційні відомій функції від X . Вид функції, що пов'язує вихідну величину Y з вхідною величиною X , передбачається відомою:

$$y = f(x, \beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n) \quad (3)$$

де $\beta_i (i = \overline{1, n})$ - невідомі випадкові параметри.

Завдання регресійного аналізу полягає у визначенні оцінок невідомих параметрів $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ в (3). При цьому використовуються апріорні дані про вигляд функції (3), одержані на основі теоретичних або експериментальних міркувань.

Контрольна робота призначена для практичного засвоєння студентами основних розділів дисципліни "Моделювання металургійних процесів", закріплення знань з математичних і програмних засобів системного моделювання, розвитку практичних навиків комплексного рішення задач дослідження і проектування моделей на базі сучасних персональних комп'ютерів (ПК).

У завдання контрольної роботи входять:

- розвиток у студентів навички науково-дослідної та проектно-конструкторської роботи у області дослідження і розробки складних систем;
- постановка і проведення імітаційних експериментів з моделями процесів металургійного виробництва на різного типу ПК ;
- ухвалення економічно і технічно обґрунтованих інженерних рішень ;
- аналіз науково-технічної літератури в області системного моделювання, а також використання стандартів, довідників, інструкцій по математичному і програмному забезпеченню. При виконанні контрольної роботи слід керуватися загальними вказівками методичних матеріалів.

В пропонованих методичних вказівках з єдиних методологічних позицій системного машинного моделювання розглядаються питання організації виконання контрольної роботи, даються конкретні вказівки на виконання основних етапів моделювання: побудова концептуальної моделі досліджуваної системи і її формалізація, алгоритмізація і машинна реалізація моделі, отримання і інтерпретація результатів моделювання.

Контрольна робота готує студента до рішення складнішої задачі, що завершує навчання, - дипломному проектуванню на базі використання методу моделювання на ПК для ухвалення обґрунтованих проектних рішень.

1. Моделювання матеріальних потоків при виробництві глинозему.

1.1. Постановка завдання

Системою називається сукупність об'єктів, об'єднаних регулярною взаємодією, що діють спільно з метою виконання поставленого завдання. У визначенні системи головне значення відводиться меті і взаємодіям об'єктів.

Мета - це сукупність результатів, визначуваних призначенням системи. Взаємодія між об'єктами здійснюється за допомогою зв'язків. Зв'язки можуть існувати між окремими елементами системи, між її окремими підсистемами, а також між різними системами. В реальних технологічних системах зв'язку є передавальними ланками матеріальних потоків, потоків енергії, потоків інформації і їх комбінації.

Кожна реальна система взаємодіє з іншими системами, сукупність яких називається зовнішнім середовищем. Взаємодія зовнішнього середовища з реальною системою виявляється через зв'язки.

Зв'язки, що встановлюють дію зовнішнього середовища на систему, називаються входами в систему. Входи в систему позначаються векторами $\bar{X}$, що містить K елементів $x_i (i = \overline{1, K})$.

Зв'язки, що встановлюють дію реальної системи на зовнішнє середовище, називаються виходами системи. Виходи позначаються вектором $\bar{y}$ що містить M елементів $y_j (j = \overline{1, M})$. Кожна реальна система має безліч зв'язків опис яких не є можливим. Тому для кожної системи необхідно виділяти зв'язки першого, другого і третього порядку. Зв'язки першого порядку - це функціонально необхідні

зв'язки, порушення яких приводить до припинення функціонування системи. Зв'язки другого порядку - це додаткові зв'язки, які не є функціонально необхідними, але їх присутність істотно змінює характеристики системи. Зв'язки третього порядку - це зайві, суперечливі зв'язки.

При розробці завдання контрольної роботи необхідно:

- дати опис технологічної системи;
- виділити цілі технологічної системи;
- визначити елементи та окремі підсистеми, що включаються в технологічну систему;
- розробити структуру технологічної системи;
- визначити входи і виходи внутрішніх зв'язків;
- описати фізичне наповнення елементів системи і всіх видів зв'язків.

1.2. Розробка математичної моделі розгалуженого металургійного процесу

Математична модель системи - це опис системи на формальній мові, дозволяє виносити думки про деякі риси поведінки цієї системи.

Процес моделювання представляється у вигляді реалізації наступних етапів:

- постановка завдання;
- вибір структури моделі;
- математичний опис;
- дослідження моделі;
- перенесення знань з моделі на оригінал системи.

Списання розгалуженого металургійного процесу виробництва глинозему за способом Байера приводиться в (І).

Основними цілями модельованої системи є:

- визначення об'єму речовин, що подаються у відповідні стадії процесу Байера для випуску заданого об'єму глинозему;
- визначення розподілу матеріальних потоків по всім стадіям процесу Байера;
- визначення кількості продуктів тих, що поступають у відвал зі всіх стадій процесу.

Процес виробництва глинозему по методу Байера можна представити у вигляді окремих стадій, пов'язаних один з одним за допомогою зв'язків. Структури процесу виробництва глинозему у вигляді сукупності окремих стадій представлені технологічними схемами в роботі (1).

Входами ($\bar{X}$) технологічної системи є об'єкти речовин, що завантажуються для реалізації виробництва глинозему в різні стадії:

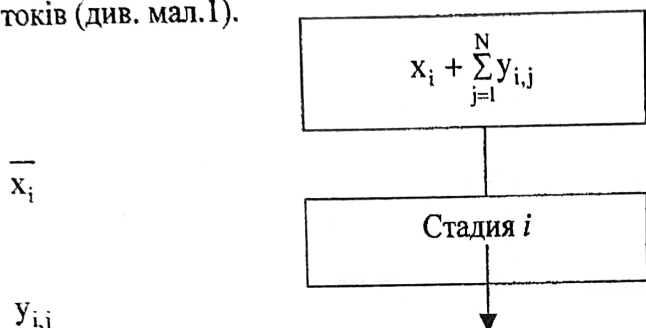
- бокситу;
- вапна;
- води;
- вапняного молока;
- вапняку;
- соди;

Виходами ($\vec{Y}$) даної металургійної системи є об'єми продуктів, що поступають у відвал і споживачу:

- глинозему;
- шламів (що подаються у відвал).

Зв'язки між окремими статтями процесу ($\vec{Y}$) реалізуються у вигляді матеріальних потоків, що передаються із стадії в інші стадії та на вхід цієї ж стадії.

Для побудови математичного опису розгалуженого металургійного процесу необхідно виділити окрему стадію і розглянути реалізацію в ній матеріальних потоків (див. мал.1).



Мал. 1. Схема формування матеріальних потоків на стадії i .

Ефективний вхід на стадію i визначається

$$\bar{x}_i = x_i + \sum_{j=1}^N y_{ji}, \quad (1)$$

де

x_i - сполука, що подається на стадію i з складу;

y_{ij} - внутрішні зв'язки (матеріальні потоки речовини із стадії з номерами i на стадію з номером j ;

N - кількість технологічних стадій;

$N+1$ - номер стадії, що представляє накопичувач відходів (відвал)

Взаємозв'язок між y_{ij} і ефективним входом (1) представляється у вигляді

$$y_{ij} = B_{i,j} \cdot \bar{x}_i, \quad (2)$$

де

$B_{i,j}$ - відносні коефіцієнти, що визначають частку матеріального потоку на стадії з номером i , направленою на стадію з номером j .

На кожній стадії необхідно забезпечувати умову матеріального балансу, математичне представлення якого записується у вигляді:

$$\sum_{j=1}^{N+2} B_{i,j} = 1, \quad (3)$$

Загальна модель розгалуженого металургійного процесу представиться шляхом розповсюдження моделі (2) для всіх технологічних стадій (шляхом зміни i від 1 до N). Виход готового продукту визначатиметься сумою

$$Q = \sum_{i=1}^N y_{i,N+2}, \quad (4)$$

де

N+2- номер умовному стадії (складу готової продукції)

Загальна маса речовин і проектів процесу, що надходять у відвал визначиться:

$$Q^{omn} = \sum_{i=1}^N y_{i,N+1}, \quad (5)$$

де

N+1- номер умовної стадії (відвала).

1.3. Розробка програми розрахунку розгалуженого металургійного процесу

Розробляючи програму необхідно виконати наступні етапи:

- 1) глибоко осмислити математичну модель процесу, задану співвідношеннями (1) -(5); виявити вхідні данні, вихідні параметри і внутрішні зв'язки ;
- 2) розробити блок-схему алгоритму;
- 3) призначити всім простим змінним і змінним з індексом відповідні ідентифікатори;
- 4) виявити в алгоритмі найбільш часто обчислюванні співвідношення (окремі блоки формул, що мають ідентичну структуру) і призначити їх типи у вигляді оператор-функції; підпрограми функції або підпрограми;
- 5) написати програми для призначених типів, виділяючи вхідні і вихідні значення у вигляді формальних параметрів;
- 6) вирішити питання про введення загальних блоків, що задаються оператором *соттон*;
- 7) написати програму;
- 8) набрати програму і перенести її на програмний носій;
- 9) виявити і усунути на початку синтаксичні помилки, а потім помилки програмного характеру;
- 10) перевірити працездатність розробленої програми шляхом порівняння результатів розрахунку за програмою з відомими аналогічними результатами тестових прикладів.

При розробці блок-схеми алгоритму розрахунку розгалуженого металургійного процесу необхідно врахувати наступні зауваження:

1. При визначенні ефективного входу по формулі (1) початкові значення $y_{i,j}$ не

де

$N+2$ - номер умовному стадії (складу готової продукції)

Загальна маса речовин і проектів процесу, що надходять у відвал визначиться:

$$Q^{отв} = \sum_{i=1}^N y_{i,N+1}, \quad (5)$$

де

$N+1$ - номер умовної стадії (відвала).

1.3. Розробка програми розрахунку розгалуженого металургійного процесу

Розробляючи програму необхідно виконати наступні етапи:

- 1) глибоко осмислити математичну модель процесу, задану співвідношеннями (1) -(5); виявити вхідні данні, вихідні параметри і внутрішні зв'язки;
- 2) розробити блок-схему алгоритму;
- 3) призначити всім простим змінним і змінним з індексом відповідні ідентифікатори;
- 4) виявити в алгоритмі найбільш часто обчислюванні співвідношення (окремі блоки формул, що мають ідентичну структуру) і призначити їх типи у вигляді оператор-функції; підпрограми функції або підпрограми;
- 5) написати програми для призначених типів, виділяючи вхідні і вихідні значення у вигляді формальних параметрів;
- 6) вирішити питання про введення загальних блоків, що задаються оператором *common*;
- 7) написати програму;
- 8) набрати програму і перенести її на програмний носій;
- 9) виявити і усунути на початку синтаксичні помилки, а потім помилки програмного характеру;
- 10) перевірити працездатність розробленої програми шляхом порівняння результатів розрахунку за програмою з відомими аналогічними результатами тестових прикладів.

При розробці блок-схеми алгоритму розрахунку розгалуженого металургійного процесу необхідно врахувати наступні зауваження:

1. При визначенні ефективного входу по формулі (1) початкові значення y_{ij} не відомі. Тому спочатку необхідно всім значенням y_{ij} , привласнити будь-які значення, наприклад рівні 1,0. Потім після обчислення всіх нових значень по формулі (2) здійснити процедуру порівняння всіх значень y_{ij} та y_{ij}^n :

$$\frac{y_{ij}^n - y_{ij}}{y_{ij}} \leq \epsilon_{ps}, \quad (6)$$

де

ϵ_{ps} - мала, наперед задана величина.

Якщо умова (6) виконується, то значення, обчислені достатнє точно.

При невиконанні умови (6) здійснюється процедура уточнення, яка полягає в переприсвоєнні значень $y''_{i,j}$ значенням та використанні цих значень для обчислення ефективних входів (1).

2. Враховуючи лінійність моделі (1) і (2), для визначення матеріальних потоків між всіма стадіями процесу, відповідних заданому плановому випуску продукції необхідно реалізувати наступну процедуру. Після визначення розрахункового виходу продукції Q (формула 4) визначається коефіцієнт K

$$K = \frac{Q_{ге}}{Q}, \quad (7)$$

де

Q - вихід продукції, розрахований для початкових заданих значень входів $\bar{x}$.

Умножуючи всі значення вектора входів ($\bar{x}$ ($x_i, i = \overline{1, N}$)) і зв'язків

($y_{i,j}$ ($i = \overline{1, N}, j = \overline{1, N+2}$)) на коефіцієнт K отримаємо розподіл матеріальних потоків по технологічній схемі відповідно заданої продуктивності системи $Q_{пл}$.

Блок-схема, алгоритм процесу та розрахунок матеріальних потоків розгалуженого металургійного процесу наведена в додатку 1.

1.4 Програмне середовище

Для розробки програми припускається використання алгоритмічних мов Паскаль, Бейсик та інші. (2,3,додаток 3).

1.5 Індивідуальні завдання

У контрольній роботі пропонується використання чотирьох схем розгалужених процесів отримання глинозему:

1 схема - виробництво глинозему за способом Байера (мал. 1, стор. 5 [1], додаток 2);

2 схема - виробництво глинозему з бокситів способом спікання (рис.2, стр 22 [1]);

3 схема - виробництво глинозему за способом Байера- спікання (паралельний варіант, мал. 3, стор. 43 [1]);

4 схема - виробництво глинозему за способом Байер-спікання (послідовний варіант, мал. 4, стор. 67 [1]).

Для визначення коефіцієнтів $B_{i,j}$ необхідно розглянути інтегральний матеріальний баланс на кожній стадії із забезпеченням умови (3). З аналізу матеріальних балансів всіх стадій заповнюється таблиця 1.

Початкові значення вектора входів вибираються з аналізу схеми процесів виробництва глинозему для одиничної продуктивності, вказаної в описах схем [1]. Продуктивність процесу для індивідуальних завдань вказана в табл. 2.

Таблиця 1 Розрахунок коефіцієнтів розподілу матеріальних потоків по стадіях

Номера стадії	1	2		i		N+1	N+2	Сума
1	B_{11}	B_{12}		B_{1i}		B_{1N+1}	B_{1N+2}	$\sum_{i=1}^{N+2} B_{1i} = 1$
2	B_{21}	B_{22}		B_{2i}		B_{2N+1}	B_{2N+2}	$\sum_{i=1}^{N+2} B_{2i} = 1$
j	B_{j1}	B_{j2}		B_{ji}		B_{jN+1}	B_{jN+2}	$\sum_{i=1}^{N+2} B_{ji} = 1$
N	B_{N1}	B_{N2}		B_{Ni}		B_{NN+1}	B_{NN+2}	$\sum_{i=1}^{N+2} B_{Ni} = 1$

Таблиця 2. Планова продуктивність випуску глинозему по всіх схемах виробництва

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Продуктивність, т	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55

1.6. Оформлення звіту

У звіті необхідно представити в відповідній формі наступні розділи:

- введення;
- постановка завдання;
- математична модель технологічної системи за індивідуальним завданням;
- розробка алгоритму з описом блок-схеми;
- програма на ПК;
- розрахунок коефіцієнтів B_{ij} і вхідних велич $\bar{x}$;
- результати розрахунку на ПК;
- висновок за курсовим проектом;

використовувана література

2. Розрахунок складу шихти для виплавки заданого сплаву

2.1. Математична модель

Хай хімічний склад сплаву, що виплавляється, заданий векторами виходу $\bar{y} \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_n\}$. Для отримання цього сплаву використовується N компонентів шихтових матеріалів, для яких відомий хімічний склад. Якщо відносна кількість компоненту шихти з номером i узяти x_i , тоді хімічний склад сплаву можна визначити:

$$y_i = \sum_{j=1}^N B_{ij} \cdot x_j, \quad (2.1)$$

де y_i - відносний вміст в сплаві хімічного елементу з номером i ;

x_j - відносний вміст в шихті компоненту з номером j ;

B_{ij} - відносний вміст в компоненті шихти з номером i хімічного елементу з номером j .

У (2.1) i змінюється від 1 до N (кількість компонентів в шихті), а j - від 1 до M (кількість хімічних елементів в сплаві).

На значення вектора входу $(\bar{x})$ накладається обмеження у вигляді

$$\sum_{i=1}^N x_i = 1. \quad (2.2)$$

В процесі плавки шихти можлива зміна її хімічного складу за рахунок чаду, тому величину в (2.1) необхідно обчислювати з урахуванням поправки

$$y_i^m = \frac{y_i}{1 - z_i}, \quad (2.3)$$

де z_i - величина чаду i -того хімічного елементу.

2.2. Метод рішення

Основним завданням при розрахунку шихти є визначення вектора, тобто визначення відносного вмісту в шихті кожного компоненту з тим, щоб одержати сплав необхідного складу $\bar{y}$ з урахуванням чаду - $\bar{z}$.

Для визначення необхідно вирішити (2.1) з обліком (2.2) і (2.3). Модель (2.1) є системою рівнянь, алгебри, для N невідомих, що складається з M рівнянь ($M \geq N$).

Рішення таких систем рівнянь здійснюється наближеними методами. Для цього необхідно (2.1) привести до стандартного вигляду, при якому число рівнянь рівне числу невідомих. В цьому випадку (2.1) перетвориться до вигляду

$$\bar{y}_j = \sum_{i=1}^N A_{ji} \cdot x_i, \quad (2.4)$$

$$\text{де } \bar{y}_i = \sum_{j=1}^M B_{ij} \cdot B_j; \quad A_{ji} = \sum_{\alpha=1}^M B_{i\alpha} \cdot B_{j\alpha}.$$

Рішення системи (2.4), що містить N невідомих x_i ($i = \overline{1, N}$) і M , може здійснюватися будь-яким методом (методом Гауса, методом ітерацій і т.п.).

У контрольній роботі необхідно:

- 1) описати математичну модель;

- 2) описати методи рішення;
- 3) побудувати алгоритм визначення x_i ;
- 4) скласти програму на ПК для обчислення x_i ($i = \overline{1, N}$);
- 5) провести розрахунок x_i за індивідуальним завданням.

2.3. Індивідуальні завдання

Компоненти шихти й чаду хімічних елементів для всіх варіантів викладені в таблиці 2.1. Марки сплавів по варіантах наступні (табл. 2.2).

Варіанти	1 16	2 17	3 18	4 19	5 20	6 21	7 22	8 23	9 23	10 25	11 26	12 27	13 28	14 29	15 30
Марки сплавів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Таблиця 2.1. Компоненти шихти

Компоненти шихти	Mg	Si	Mn	Zn	Fe	Cu	Ti	Al	При-м.	Всього
1. Лом 1	0,4	5,0	0,1	0,5	0,5	2,0	0	90,5	1,0	100
2. Лом 2	0,8	0,7	0,2	0,3	0,7	4,8	0,7	91,4	0,4	100
3. Лом 3	1,8	0,7	0,1	0,3	0,7	4,9	0	92,0	0,5	100
4. Лом 4	0,6	13,0	0,1	0,5	1,5	1,5	0,15	82,0	0,6	100
5. Лом 5	0,8	8,0	0,2	0,6	1,6	6,0	0	82,5	0,3	100
6. Лом 6	6,8	0,8	0,2	0,2	0,5	0,2	0	91,1	0,2	100
Угар (z_i)	0,04	0,02	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,18

Таблиця 2.2. Марки сплавів для індивідуальних завдань

	Mg	Si	Mn	Zn	Fe	Cu	Ti	Al	Доміш-ки	Разом	Марка сплаву
1	0,40	5,00	0,10	2,00	0,50	0,50	0	90,50	1,00	100	AK5M
2	0,50	6,00	0,60	0,40	1,00	3,20	0	87,00	1,30	100	AK5M2
3	0,20	7,00	0,20	1,00	0,60	2,50	0,15	87,90	0,45	100	AK8M3
4	0,30	7,00	0,60	0,50	1,00	1,50	0	85,20	1,41	100	AK7Y
5	0,35	7,00	0,60	0,50	1,00	1,50	0	85,15	3,60	100	AK7П
6	0,40	5,00	0,40	0,40	0,80	7,00	0	85,50	0,50	100	AK-4
7	1,05	12,0	0,20	0,20	0,70	1,15	0,01	83,50	1,20	100	AK12MMH
8	0,30	7,00	3,50	0,50	0,80	1,00	0	84,20	2,40	100	AK-9
9	3,50	5,50	0,40	0,40	0,80	7,00	0	81,90	0,50	100	AK6M7
10	0,40	7,25	0,40	1,00	0,80	1,50	0,20	87,70	0,75	100	AK7M
11	0,50	4,00	0,40	2,00	1,10	4,25	0,10	88,15	0,10	100	AK4MY
12	0,50	9,25	0,35	0	0,30	1,75	0,10	87,30	0,80	100	AK9M2
13	0,03	4,55	0,55	0,01	0,01	2,30	0	82,47	2,90	100	AK4M2Ц6
14	0,40	7,00	0,40	0,50	1,00	2,20	0	86,90	1,60	100	AK7M2
15	0,40	7,00	0,40	0,30	1,00	2,25	0	88,30	0,35	100	AK7M2П

3. Регресивний аналіз

3.1 Обчислення початкових і центральних моментів

Одновимірний масив з N цифрових даних x ($i = 1, 2, \dots, N$) характеризується сукупністю статистичних характеристик: початковими і центральними моментами, порядком, дисперсією, коефіцієнтами асиметрії та ексцесу. Початкові моменти k -го порядку. Початкові моменти обчислюються за формулами

$$m_k(x) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N x_i^k. \quad (3.1)$$

Звичайно $k = 1, 2, 3$ і 4 . Точність обчислення моментів вище за четвертий порядок є досить низькою.

Центральні моменти k -го порядку. Центральні моменти обчислюються за формулами

$$M_k(x) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N [x_i - m_1(x)]^k. \quad (3.2)$$

З формули (6.2) виходить, що $M_1(x) = 0$.

Центральні моменти пов'язані з початковими моментами такими співвідношеннями (аргумент « x » в дужках є відсутнім):

$$\begin{aligned} M_2 &= m_2 - m_1^2; \quad M_3 = m_3 - 3m_1 \cdot m_2 + 2m_1^3; \\ M_4 &= m_4 - 4m_1 \cdot m_3 + 6m_1^2 \cdot m_2 - 3m_1^4. \end{aligned} \quad (3.3)$$

Співвідношення (6.3) дозволяють обчислювати центральні моменти за мірою введення значень x_i без запам'ятовування всього масиву.

Найбільш імовірним числом в масиві є середнє значення, що обчислюється за формулою

$$\bar{X} = m_1 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N x_i. \quad (3.4)$$

Найбільш імовірною мірою відхилення x від середнього значення є дисперсія зміщення

$$D = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2. \quad (3.5)$$

Середньоквадратичну погрішність x_i за точним значенням $\bar{x}$ визначає стандартне відхилення зміщене

$$\sigma = \sqrt{D} . \quad (3.6)$$

Під час статистичної обробки масиву x_i з нормальним законом розподілу застосовується незміщена дисперсія:

$$D_0 = M_2 \cdot \frac{N}{N-1} = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 . \quad (3.7)$$

Скошеність графічній функції щільності розподілу імовірності $P(x)$ характеризує коефіцієнт асиметрії

$$A = \frac{1}{N} \cdot D^{3/2} \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3 = \frac{M_3}{M_2^{3/2}} . \quad (3.8)$$

Коли $A = 0$, то щільність розподілу є симетричним, коли $A > 0$, то витягнутою є права ділянка спаду кривої $P(x)$, а коли $A < 0$, - то витягнутою є ліва ділянка спаду даної кривої.

Міру гостроти піку кривої $P(x)$ порівняно з $P(x)$ для нормального розподілу характеризує коефіцієнт ексцесу:

$$E = \frac{1}{N} \cdot D^2 \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4 = \frac{M_4}{M_2^2 - 3} . \quad (3.9)$$

Якщо $E > 0$, то крива $P(x)$ має гостріший пік, ніж за нормального розподілу, а якщо $E < 0$ - то пік кривої $P(x)$ є менш гострим.

3.2 Побудова гістограми

Гістограма розподілу характеризує кількість чисел x_i , що потрапляють до інтервалів змінювання x з межами $d_1, d_2, d_3, \dots, d_N$.

Гістограма графічно будується у вигляді стовпців, висота яких відповідає кількості x_i , що потрапили до інтервалу зміни x , на який спирається стовпчик за віссю x .

Простий алгоритм підготовки гістограм полягає в порівнянні x_i із сіткою меж $d_1, d_2, d_3, \dots, d_N$ за допомогою операцій умовних переходів і підрахунку кількості попадань x_i до кожного інтервалу. Програма обчислень за значною кількістю інтервалів виходить громіздкою, тому в більшості випадків відрізки $[d_i, d_{i+1}]$ мають однакову ширину

$$C = \Delta x = \frac{x_m - x_0}{N}, \quad (3.10)$$

де

x_m - максимальне значення x ;

x_0 - мінімальне значення x ;

N - кількість інтервалів.

Алгоритм побудови гістограм буде таким:

- вводять значення x_0 , x_m і N ;
- задається масив лічильників $A(N)$;
- за формулою (6.10) обчислюється C ;
- задається значення $i = 1$;
- вводять значення x_i та обчислюють $i = i + 1$;
- обчислюють номер того відрізка, до якого потрапляє введене значення x_i :

$$y = \text{int}[C \cdot (x - x_0)]$$
- вносять одиницю до вмісту лічильника $A(y)$ і повертаються до п.5.
- кількість попадань x_i до j -того відрізка одержують виведенням значень $A(j)$, номер інтервалу визначається значенням j .

3.3 Кореляційний аналіз

Кореляція є ознакою, що вказує на взаємозв'язок низки випадкових послідовностей. Парна кореляція характеризує взаємозв'язок двох випадкових послідовностей x_i та y_i .

Коефіцієнт парної кореляції обчислюється:

$$R = \frac{\left[\sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i - \left(\sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N y_i \right) / N \right]}{\left[\sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2 / N \right]^{0,5} \cdot \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N y_i \right)^2 / N \right]^{0,5}}.$$

Коефіцієнт кореляції характеризує ступінь зв'язку між параметрами x і y .

Якщо модуль коефіцієнта кореляції є близьким до одиниці, тоді зв'язок параметрів x і y наближається до функціональної, а якщо до нуля - то зв'язок стає незначним.

Порядкова кореляція за Спірменом оцінюється коефіцієнтом порядкової кореляції

$$R = 1 - \frac{6}{[N \cdot (N-1)]} \cdot \sum_{k=1}^N (A_k - B_k),$$

де

A_k і B_k - місця (ранг), яке займають x_k і y_k під час убування x_k .

РРР № 2

3.4 Регресивний аналіз

Регресивний аналіз застосовують для побудови математичної моделі об'єкту дослідження за наслідками пасивного експерименту і статистичної оцінки одержаного рівняння.

Головні умови проведення регресивного аналізу:

- вихідна змінна є випадковою згідно із законом розподілу Гауса; вхідні змінні є невідповідними величинами;
 - кореляція між вхідними змінними є відсутньою.
 - дисперсія вихідної змінної не залежить від її абсолютного значення;
 - об'єкт, що досліджується, є позбавленим динамічних властивостей.
- Рівняння регресії звичайно задається як лінійний поліном

$$Y = \sum_{i=0}^n b_i \cdot x_i \quad (3.11)$$

або в матричній формі

$$Y = XN. \quad (3.12)$$

Коефіцієнти рівняння регресії обчислюють методом найменших квадратів.

Початкова матриця X вхідних змінних і матриця Y вихідної змінної мають вигляд:

$$X = \begin{vmatrix} X_{01} & X_{02} & \dots & X_{0N} \\ X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1N} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nN} \end{vmatrix} \quad Y = \begin{vmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \dots \\ y_N \end{vmatrix} \quad (3.13)$$

Для одержання системи нормальних рівнянь необхідно мати матриці $X^T X$ і $Y^T Y$:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{X}^T \mathbf{X} &= \begin{vmatrix} x_{01} & x_{02} & \dots & x_{0N} \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nN} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x_{01} & x_{11} & \dots & x_{n1} \\ x_{02} & x_{12} & \dots & x_{n2} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{0N} & x_{1N} & \dots & x_{nN} \end{vmatrix} = \\
 &= \begin{vmatrix} \sum_{u=1}^N x_{0u} x_{0u} & \sum_{u=1}^N x_{0u} x_{1u} & \dots & \sum_{u=1}^N x_{0u} x_{nu} \\ \sum_{u=1}^N x_{1u} x_{0u} & \sum_{u=1}^N x_{1u} x_{1u} & \dots & \sum_{u=1}^N x_{1u} x_{nu} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{u=1}^N x_{nu} x_{0u} & \sum_{u=1}^N x_{nu} x_{1u} & \dots & \sum_{u=1}^N x_{nu} x_{nu} \end{vmatrix} \quad (3.14)
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{X}^T \mathbf{Y} = \begin{vmatrix} x_{01} & x_{02} & \dots & x_{0N} \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nN} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \dots \\ y_N \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sum_{u=1}^N x_{0u} y_u \\ \sum_{u=1}^N x_{1u} y_u \\ \dots \\ \sum_{u=1}^N x_{nu} y_u \end{vmatrix} \quad (3.15)$$

Система нормальних рівнянь має вигляд

$$(\mathbf{X}^T \mathbf{X}) \mathbf{B} = \mathbf{X}^T \mathbf{Y}. \quad (3.16)$$

Розв'язання системи (6.16) можна записати як

$$(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} (\mathbf{X}^T \mathbf{X}) \mathbf{B} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} (\mathbf{X}^T \mathbf{Y}) \quad (3.17)$$

$$\mathbf{B} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} (\mathbf{X}^T \mathbf{Y})$$

Зворотну матрицю $(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1}$ можна подати як

$$(X^T X)^{-1} = [c_{ij}] = \begin{vmatrix} c_{00} & c_{10} & \dots & c_{n0} \\ c_{01} & c_{11} & \dots & c_{n1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{0n} & c_{1n} & \dots & c_{nn} \end{vmatrix}$$

Розв'язання нормальних рівнянь запишеться:

$$\begin{vmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} c_{00} & c_{10} & \dots & c_{n0} \\ c_{01} & c_{11} & \dots & c_{n1} \\ c_{02} & c_{12} & \dots & c_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{0n} & c_{1n} & \dots & c_{nn} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \sum_{u=1}^N x_{0u} y_u \\ \sum_{u=1}^N x_{1u} y_u \\ \dots \\ \sum_{u=1}^N x_{nu} y_u \end{vmatrix} \quad (3.18)$$

Елементи зворотної матриці визначаються співвідношенням

$$c_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ki} x_{ji}}{\det X^T X}, \quad (3.19)$$

де

$\det(X^T X)$ - визначник інформаційної матриці $X^T X$;

$\sum_{i=1}^N (x_{ki} x_{ji})$ - алгебраїчне доповнення елемента $\sum (x_{ki} x_{ji})$, в матриці $X^T X$.

Якщо матриця $(X^T X)^{-1}$ є діагональною

$$(X^T X)^{-1} = \begin{vmatrix} c_{00} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_{11} & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & c_{nn} \end{vmatrix},$$

то коефіцієнти рівняння регресії визначаються незалежно один від одного

$$b_i = c_{ii} \cdot \sum_{u=1}^N x_{iu} y_u; \quad (3.20)$$

$$c_{ii} = \frac{1}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2}.$$

Оцінка значущості коефіцієнтів рівняння регресії. Оцінку здійснюють дослідженням математичного очікування різниці між вектором - стовпцем дійсних значень коефіцієнтів регресії та їх оцінками **B**:

В результаті одержують кореляційну матрицю

$$M[(B - \beta)(B - \beta)^T] = M \begin{vmatrix} b_0 - \beta_0 \\ b_1 - \beta_1 \\ \dots (b_0 - \beta_0 \cdot b_1 - \beta_1 \dots b_n - \beta_n) \\ \dots \\ b_n - \beta_n \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} \sigma_{b_0}^2 & \text{cov } b_0 b_1 & \text{cov } b_0 b_2 & \dots & \text{cov } b_0 b_n \\ \text{cov } b_1 b_0 & \sigma_{b_1}^2 & \text{cov } b_1 b_2 & \dots & \text{cov } b_1 b_n \\ \text{cov } b_2 b_0 & \text{cov } b_2 b_1 & \sigma_{b_2}^2 & \dots & \text{cov } b_2 b_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \text{cov } b_n b_0 & \text{cov } b_n b_1 & \dots & \dots & \sigma_{b_n}^2 \end{vmatrix}$$

де

$\sigma_{b_i}^2$ - дисперсії коефіцієнтів регресії;

$\text{cov } b_i b_j$ - кореляційні моменти між коефіцієнтами $b_i, b_j - M[(b_i - \beta_i)(b_j - \beta_j)]$.

Вводиться вектор-стовпець

$$Y = [Y - M(Y)] = \begin{vmatrix} y_1 - m(y_1) \\ y_2 - m(y_2) \\ \dots \\ y_N - m(y_N) \end{vmatrix}$$

З урахуванням цього вектора **Y** можна одержати

$$M[(B - \beta)(B - \beta)^T] = M \{ [X^T X]^{-1} X^T Y [(X^T X)^{-1} X^T Y]^T \}.$$

Вважаючи, що дисперсії всіх значень σ_y^2 є такими, які дорівнюють одна одній і враховуючи статистичну незалежність помилок, можна записати

$$M(Y Y^T) = \begin{vmatrix} \sigma_{y_1}^2 & \dots & 0 \\ \dots & \sigma_{y_2}^2 & \dots \\ 0 & \dots & \sigma_{y_N}^2 \end{vmatrix} = E \cdot \sigma_0^2 = E \cdot S_0^2$$

Отже, кореляційна матриця має вигляд

$$M[(B - \beta)(B - \beta)^T] = (X^T X)^{-1} \cdot E S_0^2. \quad (3.21)$$

Звідси

$$S_{b_i}^2 = c_{ii} \cdot S_0^2; \quad \text{cov } b_i b_j = c_{ij} \cdot S_0^2.$$

Оцінка адекватності рівняння регресії. Оцінка адекватності здійснюється порівнянням дисперсії адекватності з помилкою дослідів. Дисперсію адекватності розраховують за формулами

$$S_{ag}^2 = (\hat{Y} - Y)^T (\hat{Y} - Y)^{-1} = Y^T Y - Y^T Y - Y^T Y + Y^T Y = Y^T Y - B^T X^T Y \quad (3.22)$$

У звичайній формі дисперсія адекватності для міри свободи $f = N - \ell$, може бути записаною

$$S_{ag}^2 = \sum_{u=1}^N y_u^2 - \sum_{i=1}^n b_i \sum_{u=1}^N x_{iu} y_u, \quad (3.23)$$

де

ℓ - кількість членів рівняння регресії.

Адекватність рівняння регресії оцінюється за співвідношенням

$$F_p = \frac{S_{ag}^2}{S_0^2} < F_T, \quad (3.24)$$

де

F_p - табличне значення критерію Фішера.

Коли умова (6.24) виконується, то рівняння регресії визнається таким, що є адекватним.

Блок-схема алгоритму побудови лінії регресії подано в додатку 4.

4. Моделювання розливання металу.

Дана виробнича ділянка, що складається з печей для плавки, кранів, розливних каналів з достатньою кількістю кристалізаторів і з достатньою кількістю вагонеток для вивозу злитків.

4.1. Початкові дані для розрахунку:

1. Закон розподілу тривалості плавки в печі - рівномірний на інтервалі від T_1 до T_2 .

$$f(T_{1i}) = \begin{cases} \frac{1}{T_2 - T_1} & T_{1i} \in [T_1, T_2] \\ 0 & T_{1i} \notin [T_1, T_2] \end{cases}$$

Закон розподілу часу звільнення крана - експоненціальний.

$$f(T_{2i}) = \begin{cases} \lambda_2 e^{-\lambda_2 T} & T_{2i} \geq 0 \\ 0 & T_{2i} < 0 \end{cases}$$

де λ_2 - параметр розподілу; $\lambda_2 = 0,3$

3. Закон розподілу часу звільнення розливної каналу - експоненціальний.
 $\lambda_3 = 0,1$
4. Час випуску металу з печі $T_4 = 0,5$ години.
5. Час розливання металу $T_5 = 1,0$ час.
6. Час охолодження і кристалізації злитка $T_6 = 6$ годин.
7. Час вантаження злитка $T_7 = 2$ години.
8. Час вивозу злитків у вагонетках $T_8 = 0,1$ години.

$$F(x) = \int_{-\infty}^{x_i} f(x) dx = Z_i - \text{рівномірний розподіл на відрізку } [1; 0].$$

Випадкова величина x_i визначається з рішення рівняння для випадкового числа Z_i , яке вибирається генератором випадкових чисел за вбудованою програмою в ПК.

$$\int_{-\infty}^{T_{1i}} \frac{1}{T_2 - T_1} dT = \frac{T_{1i} - T_1}{T_2 - T_1} = Z_i$$

$$T_{1i} = Z_i (T_2 - T_1)$$

$$\int_{-\infty}^{T_{2i}} \lambda_2 e^{-\lambda_2 T} dT = 1 - e^{-\lambda_2 T_{2i}} = Z_i$$

$$T_{2i} = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - Z_i) = -\frac{1}{\lambda} \ln Z_i$$

Рішення поставленої задачі реалізується методом статичних випробувань. У цьому методі розігруються всі випадкові величини, задаються дискретні значення і проводиться перший експеримент. Потім знову розігруються всі випадкові величини, і проводиться другий експеримент. Такий цикл повторюється до тих пір, поки не отримаємо результати, що задовольняють необхідній точності.

Блок-схема алгоритму розливу метала подана в додатку 5

Завдання моделювання:

1. Визначити сумарний час проведення плавки.
2. Визначити сумарний час простою печей із-за зайнятості крана.
3. Визначити сумарний час простою із-за зайнятості каналу

4.2. Програма для моделювання розливання металу

```

Program K2;
Var TЧ1, TЧ2, L2, L3, T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, Z, TPKR, TPKN, TS:real;
n, K, i: integer;
T1M, T2M, T3M: array [1..4] of real;
Label M1;
Begin
read (n, L2, L3, TЧ1, TЧ2, T4, T5, T6, T7, T8);
K:= 0;
TPKR:= 0;
TPKN:= 0;
TS:= 0;
M1:
for i:=1 to 3 do
Begin
Z:= random;
end;
for i:= 1 to 2 do
Begin
Z:= random;
T2M [i]:= -1/L2*ln(1-Z);
end;
if T2M [1]> T2M [2] then T2:=T2M [2]
else T2:=T2M [1];
for i:= 1 to 2 do
Begin
Z:= random;
T3M [i]:= -1/L3*ln(1-Z);

```

```

end;
if T3M [1] > T3M [2] then T3:= T3M [2]
else T3:=T3M [1]
if T2 > T3 then TPKN:= T2 - T3 + TPKN
else TPKR: = T3 - T2 + TPKR
if T1M [1]> T1M [2] then
Begin
if T1M [2] > T1M [3] then T1:= T1M [3]
elseT1: = T1M [2]
end;
else
Begin
if TIM [1] > T1M [3] then T1:=T1M [3]
else T1:=T1M [1];
end;
if T2 > T3 then T41 := T1 + T2
else T41: = T1 + T3;
for i: = 1 to 2 do
Begin
Z: = random;
T2M [i]: = -1/L2*ln(1 - Z);
end;
if T2M [1] > T2M [2] then T2: = T2M [2]
else T2: = T2M [1];
TS: = TM1 + T2 + T4 + T5 + T6 + T7 + T8 + TS;
K: = K + 1;
if K < n then go to M1;
Writeln ('TPKR = ',TPKR, 'TPKN = ',TPKN, 'TS = ', TS)
end.

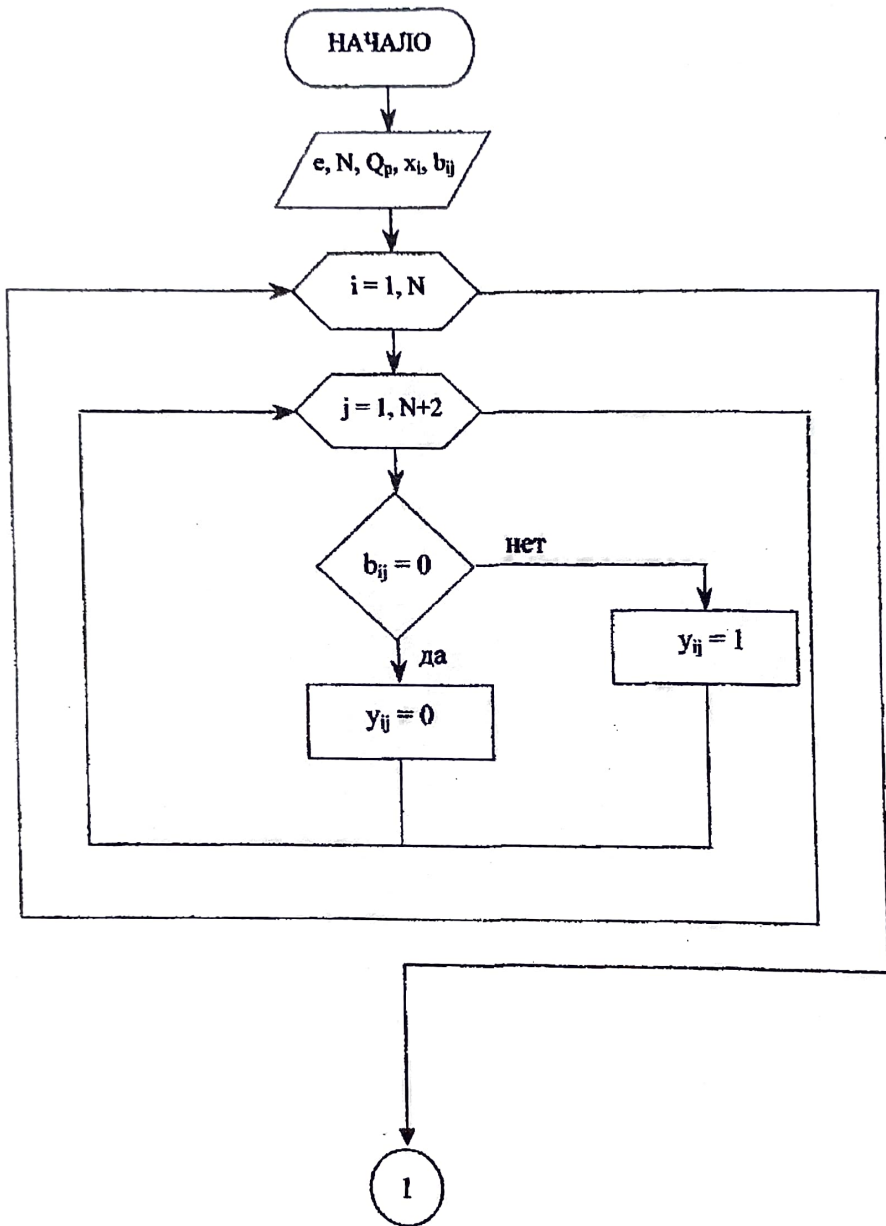
```

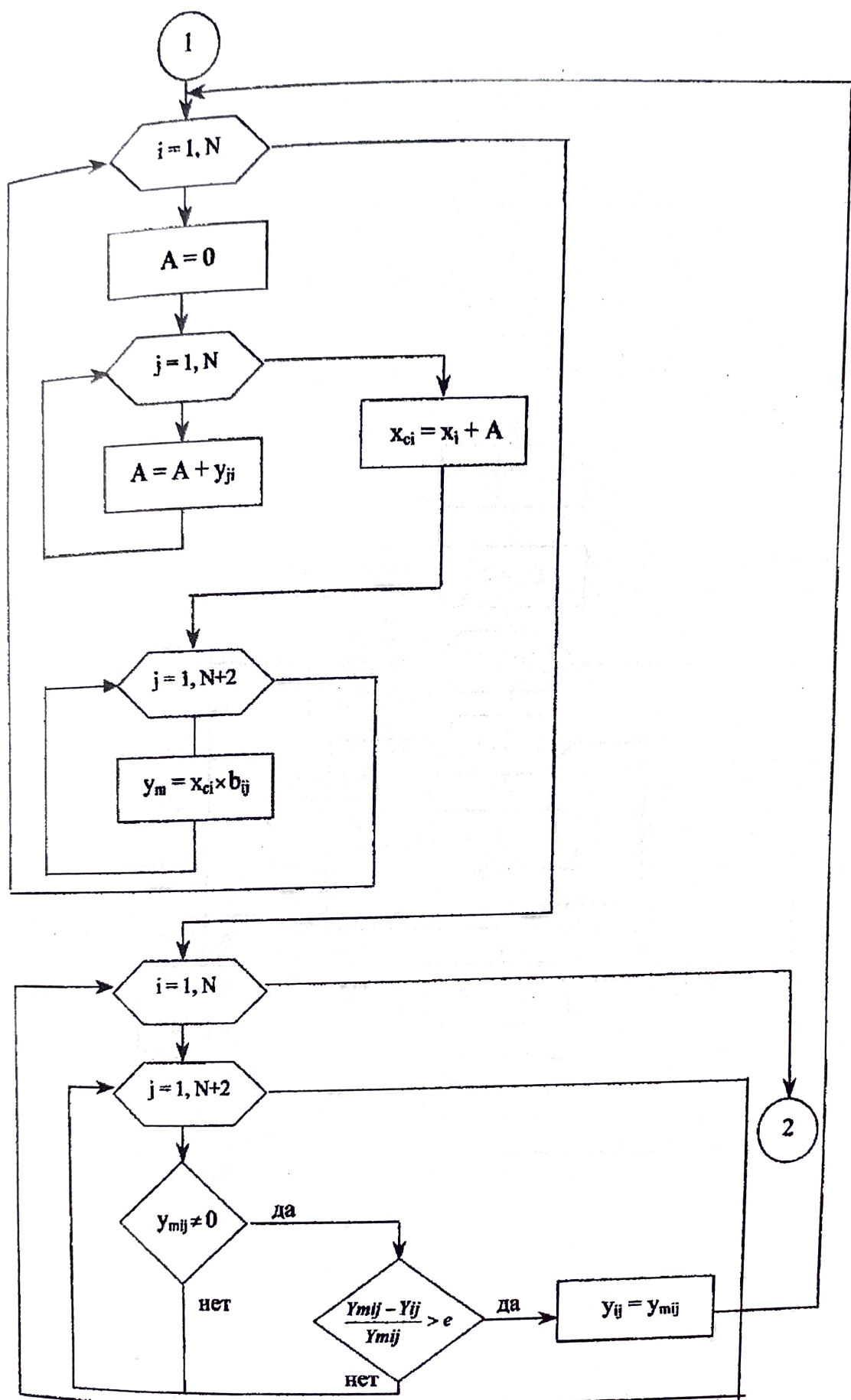
Рекомендована література

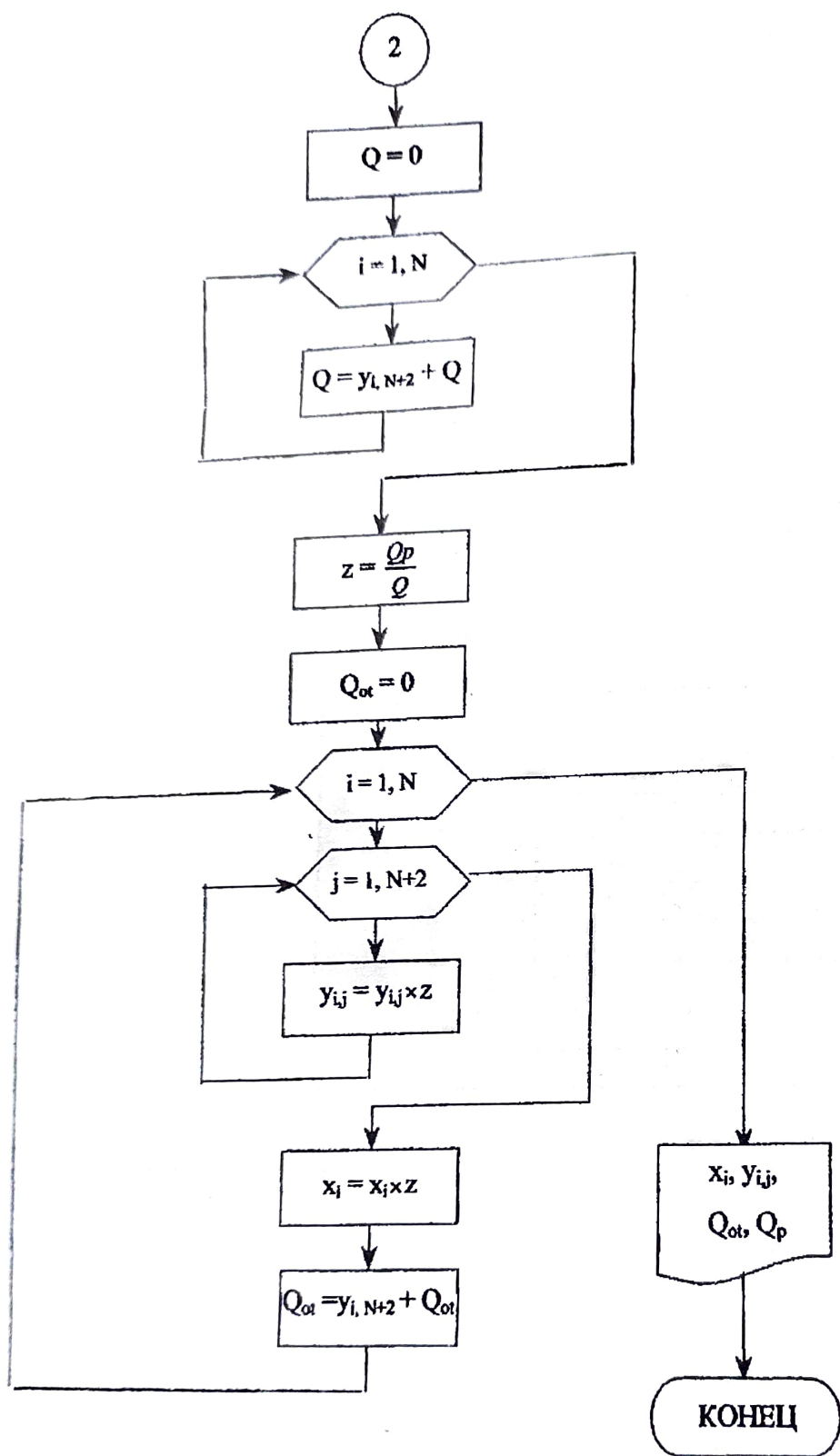
1. Саморянова Л.Б., Лайнер А.І. Технологічні розрахунки у виробництві глинозему. - М.: Металургія, 1988. - 255 с.
2. Пярнпуу А.А. Програмування на сучасних алгоритмічних мовах. - М.: Наука, 1990. - 383 с.
3. Петров А.В. і ін. Обчислювальна техніка і програмування М.: Вища школа, 1990.-480 с.

Додаток № 1

Блок-схема алгоритму за розрахунком матеріальних потоків розгалуженого металургійного процесу

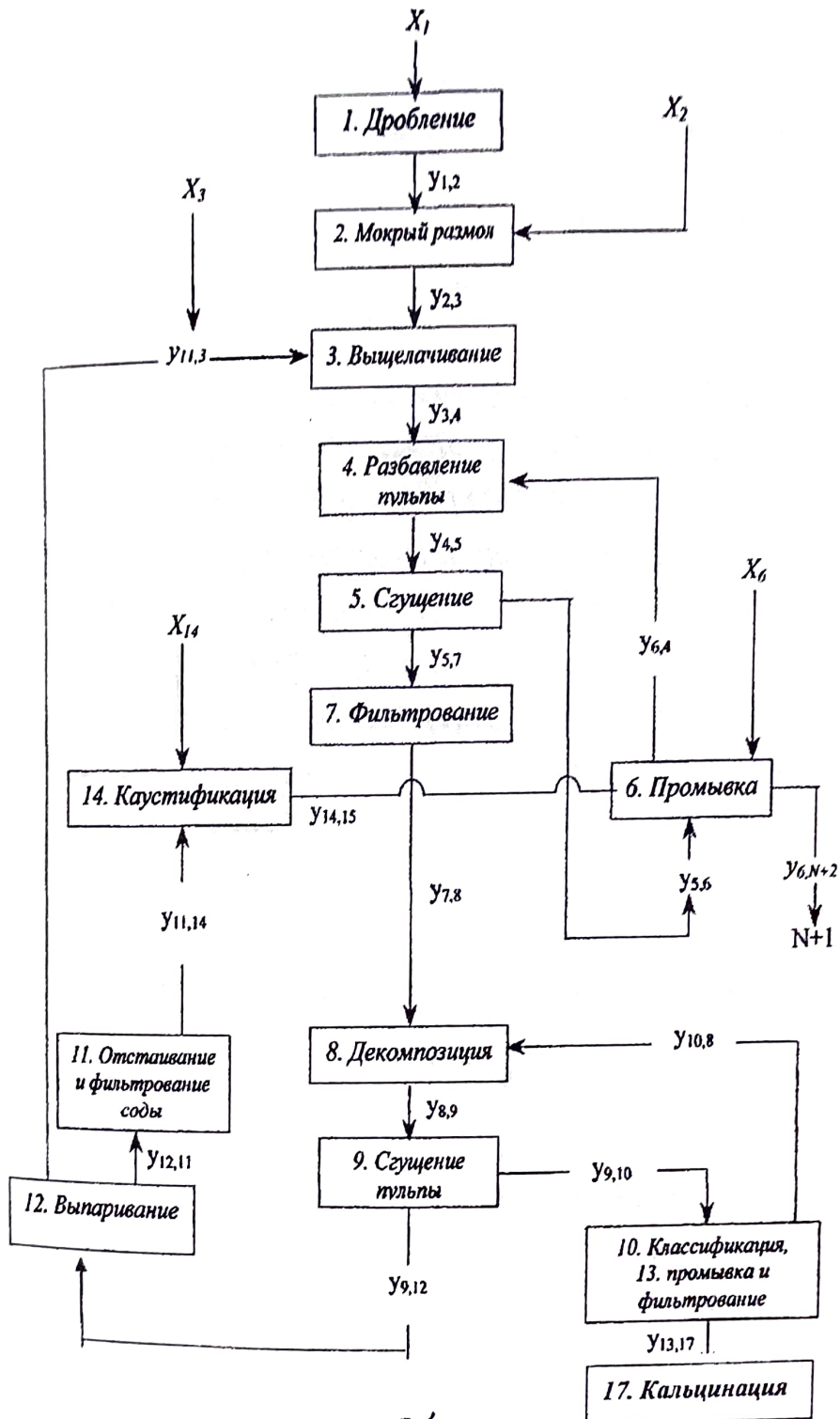






Додаток № 2

Схема виробництва глинозему по способу Байера



Додаток № 3

Програма для планової продуктивності випуску глинозему

Program Pr-1;

Const e=0.001; N=17; Q_p=15000;

Label tuda;

Var i, j: integer;

b: array [1...N, 1...N+2] of real;

x_c, x: array [1...N] of real;

y_m, y: array [1...N, 1...N+2] of real;

Q_{ob}, A, Q, z: real;

b[1,2]:=0.998; b[1,19]:=0.002; b[2,3]:=0.9981; b[2,19]:=0.0019;

b[3,4]:=0.99996; b[3,19]:=0.0004; b[4,5]:=1; b[5,6]:=0.1952; b[5,7]:=0.8048;

b[6,4]:=0.7018; b[6,19]:=0.2982; b[7,8]:=1; b[8,9]:=0.9994; b[8,19]:=0.0006;

b[9,10]:=0.3087; b[9,12]:=0.6162; b[9,13]:=0.0751; b[10,8]:=1;

b[11,14]:=0.0156; b[11,3]:=0.9844; b[12,19]:=0.004; b[13,12]:=0.3743;

b[13,17]:=0.6257; b[14,15]:=1; b[15,12]:=0.804; b[15,19]:=0.1989;

b[17,19]:=0.4033; b[17,18]:=0.5967; x[1]:=2059.92; x[2]:=61.67; x[3]:=203.04;

x[6]:=7396.48;

Begin

for i:=1 to N do

begin for j:=1 to N+2 do

begin if b[i,j]=0 then y[i,j]=0 else y[i,j]=1 end; end;

tuda: for i:=1 to N do

begin A:=0;

for j:=1 to N+2 do

begin A:=y[i,j]+A; end;

x_c[i]:=x[i]+A;

for j:=1 to N+2 do

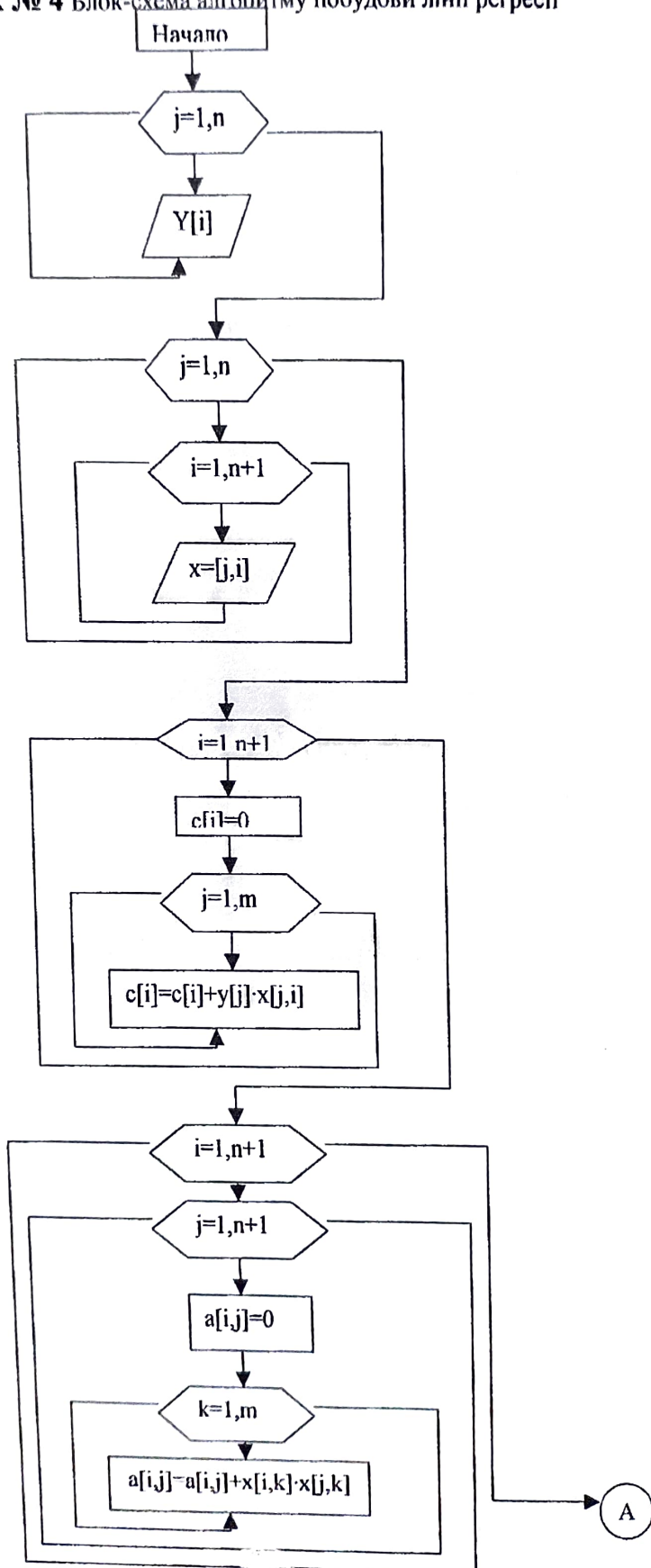
begin y_m[i,j]:=x_c[i]·b[i,j]; end; end;

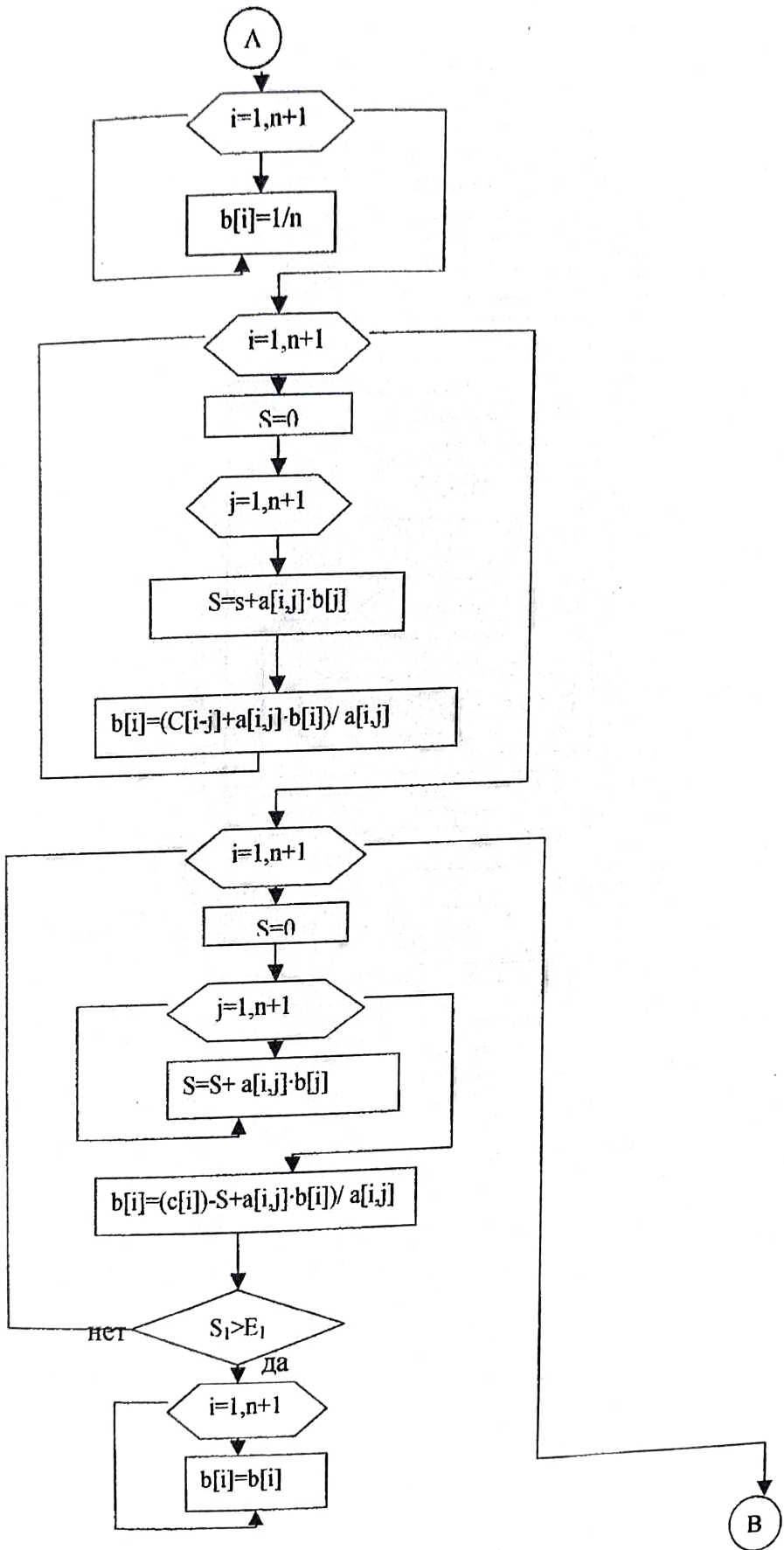
```

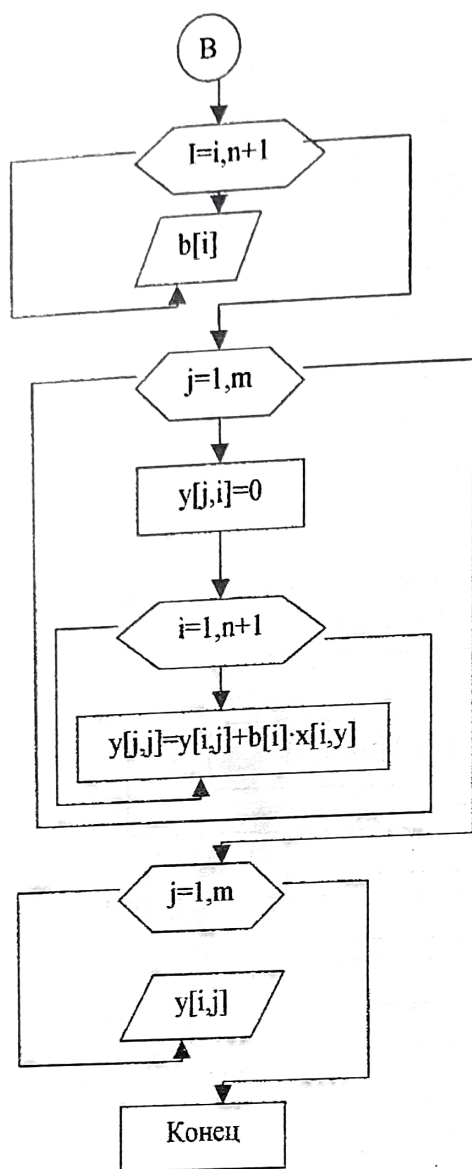
for i:=1 to N do
  for j:=1 to N+2 do
    begin if  $y_m[i,j] \neq 0$  then begin if  $ABS((y[i,j]-y_m[i,j])/y[i,j]) \leq e$ 
then  $y[i,j] := y_m[i,j]$ ; goto tuda; end; end;
    begin  $Q := 0$ ;
    for i:=1 to N do
      begin  $Q := y_m[i,j] + Q$ ; end; end;
 $z := \frac{Q_p}{Q}$ ;  $Q_{ot} := 0$ ;
    for i:=1 to N do
      begin
        for j:=1 to N+2 do
          begin
 $y[i,j] := y_m[i,j] \cdot z$ ; end;
 $x[i] := x[i] \cdot z$ ;  $Q_{ot} := y[i, N+2] + Q_{ot}$ ; end;
        for i:=1 to N do
          begin
            for j:=1 to N+2 do
              begin if  $y[i,j] \neq 0$  then writeln ('y(' , i , ' , j ' , ' = ' ,  $y[i,j]$  )); end; end;
            for i:=1 to N do
              begin if  $x[i] \neq 0$  then writeln ('x(' , i , ' ) = ' ,  $x[i]$  ); end;
            Writeln (' $Q_{ot} =$  ' ,  $Q_{ot}$  ');
          end.

```

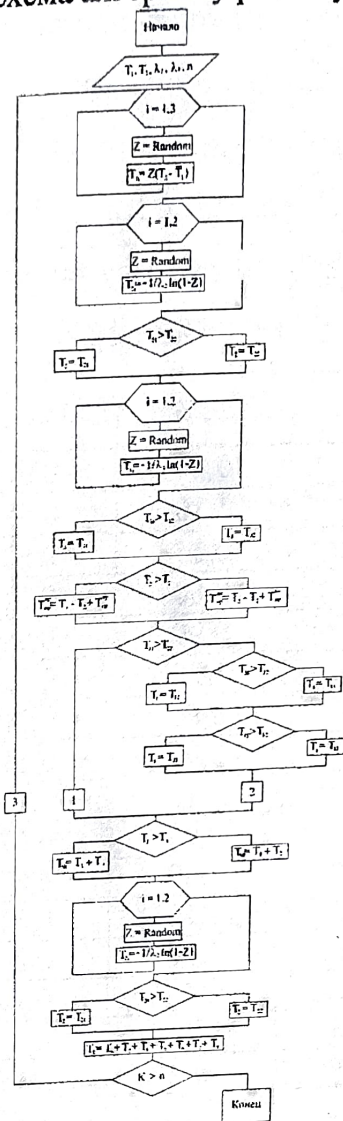
Додаток № 4 Блок-схема алгоритму побудови лінії регресії







Блок-схема алгоритму розливу метала



Додаток №6

Завдання до контрольної роботи

Побудувати регресивну модель залежності твердості робочого слою. У крупних валків прокатних станів із легованого чугуна з шаровидним графітом від наступних факторів, X1 - діаметр валка, X2 - вміст углероду, X3 - кремнія, X4 - марганцю, X5 - нікелю. Модель побудувати у вигляді:

$$Y = b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + b_3 * X_3 + b_4 * X_4 + b_5 * X_5 + b_6 * X_6$$

№ п/п	Д, см	C, %	Si, %	Mn, %	Ni, %	Y, ед. Шора
1	45	3,6	0,84	0,61	3,68	76
2	45	3,57	1,10	0,55	3,70	77
3	45	3,75	0,85	0,60	3,44	75
4	40	3,64	0,80	0,62	3,48	79
5	40	3,75	0,99	0,58	3,15	68
6	40	3,15	1,28	0,65	3,75	81
7	40	3,95	0,86	0,71	3,43	79
8	40	3,65	0,97	0,61	3,54	76
9	40	3,91	1,12	0,75	3,54	78
10	40	3,75	0,98	0,69	3,90	81
11	40	3,43	0,89	0,67	3,87	68
12	40	3,89	1,23	0,64	3,36	83
13	40	3,69	1,20	0,84	3,94	77
14	45	3,50	1,15	0,79	3,86	78
15	45	3,33	0,75	0,47	3,90	82
16	45	3,79	0,76	0,62	3,60	81
17	45	3,78	0,67	0,45	3,26	68
18	45	3,35	0,56	0,42	3,13	66
19	45	3,98	1,32	0,67	3,87	82
20	50	3,12	1,28	0,32	3,98	79
21	50	3,70	1,10	0,79	3,56	73
22	50	3,67	1,05	0,78	3,67	83
23	50	3,98	1,34	0,15	3,15	76
24	55	3,46	0,83	0,35	3,47	76
25	55	3,56	1,12	0,54	3,56	78
26	55	3,01	0,13	0,78	3,98	83
27	55	3,20	0,98	0,40	3,18	68
28	60	3,56	0,65	0,65	3,43	78
29	60	3,78	0,73	0,54	3,34	79
30	60	3,42	0,81	0,63	3,51	84

Додаток №7

ТАБЛИЦА РОЗПОДІЛУ РЕЧОВИН ПО СТАДИЯХ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Від вал	Склад	сума
1	0,998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,002	0	
2	0	0,998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,002	0	
3	0	0	0,998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,002	0	
4	0	0	0	0,998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,002	0	
5	0	0	0	0	0,475	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,525	0	
6	0	0	0	0	0	0,21	0	0,79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0,03	0	0,02	0,95	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0,61	0	0	0	0	0	0	0	0,39	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,99	0,01	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0,06	0,9	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,52	0	0	0	0	0	
14	0	0	0,61	0	0	0	0	0	0	0	0	0,39	0	0	0	0	0	0	
15	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,32	0	0,68	0	0	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,57	0,63	

стр 19-24 розреш

стр. 34-37

стр. 38 и сс.