

ЗМІСТ

1. ВСТУП.....	4
1.1. Значення наукових досліджень	4
1.2. Організація наукових досліджень в Україні	4
1.3. Оплата праці	5
1.4. Підвищення кваліфікації	6
1.5. Підготовка молодих наукових кадрів.....	6
1.6. Оцінка результативності науки	7
2. ОСНОВИ МЕТОДОЛОГІЇ І ВИБІР МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
2.1. Основні елементи науки	9
2.2. Визначення загальнонаукових методів	9
2.3. Послідовність виконання наукового дослідження	10
3. ТЕОРІЯ І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ	13
3.1. Основи теорії метрології	13
3.2. Засоби виміру, вимірювальна апаратура	13
4. ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ	15
4.1. Загальні положення	15
4.2. Визначення емпіричних залежностей	16
4.3. Визначення адекватності емпіричних залежностей	20
5. ПЛАНУВАННЯ АКТИВНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ	22
5.1. Мета і задачі планування експерименту	22
5.2. Плани експериментів	22
5.3. Одержання математичних моделей процесу	23
5.4. Відсівання факторів у багатофакторному процесі	27
6. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	29
6.1. Класифікація методів оптимізації	29
6.2. Метод Гаусса-Зейделя	30
6.3. Метод дослідження функцій	33
7. ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	35
7.1. Методи розрахунку нелінійних математичних моделей	36
7.2. Аналіз математичних моделей	38
8. ОФОРМЛЕННЯ І ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НДР	40
8.1. Звіт про НДР	40
8.2. Публікація наукових матеріалів	40
8.3. Приймання і впровадження результатів НДР	41
ЛІТЕРАТУРА	43

1. ВСТУП

1.1. Значення наукових досліджень

Постійна турбота про підготовку і виховання вчених – найважливіша умова науково-технічного прогресу у країні. Для забезпечення науково-технічного прогресу необхідно підвищувати ефективність наукових досліджень.

Перед вищою школою постала важлива задача – розширення методологічної і спеціальної підготовки студентів до наукової праці в процесі навчання і наступної практичної діяльності після закінчення вищого навчального закладу з метою навчання студентів методично правильним прийомам сучасного експерименту у всіх його різноманітні

На сучасному етапі науково-технічного розвитку країни значення наукових досліджень велике. Досить сказати, що у сучасних умовах один успішно діючий науковий дослідний інститут, за економічними результатами, для народного господарства частково може бути еквівалентним декільком великим промисловим підприємствам. Наприклад науково-дослідний інститут зі штатом науковців від 500 до 1000 осіб можна вважати рівноцінним підприємству, що виробляє продукцію на 25-50 млн. доларів у рік, тобто що у середньому один науковець сприяє збільшенню продукції приблизно на 50 тис. доларів у рік.

Результати наукових досліджень, які мають матеріальне втілення в нових конструкціях машин, досконалих технологічних процесах, сприяють заміні фізичної праці людини роботою машин. Таким чином, впровадження у виробництво нової техніки сприяє скороченню кількості людей, які зайняті ручною працею. З цього випливає, що наукова праця має продуктивний характер. Її результати неминуче впливають на підвищення продуктивності суспільної праці, тобто сприяють розвитку й удосконаленню людських здатностей одержувати потрібні результати шляхом все менших і менших витрат праці мускульної та нервової енергії і за проміжок часу, який постійно скорочується.

1.2. Організація наукових досліджень в Україні

Основними органами міжгалузевої координації є наукові ради з комплексних міжгалузевих науково-технічних проблем Державного комітету з науки й техніки та найважливіших проблем природних і суспільних наук Академії наук України. Наукові ради мають консультативні функції, а їхні рішення реалізуються відповідними директивними органами уряду.

Науково-дослідні й дослідно-конструкторські роботи виконуються науковими дослідними галузевими та академічними інститутами (НДІ), а також вищими навчальними закладами (ВНЗ). Основними задачами НДІ і ВНЗ є розробка нових видів продукції та прогресивних процесів її виробництва.

ВНЗ країни є могутніми науковими організаціями. Раніше більше 50% усіх господарських науково-дослідних робіт (НДР) з промисловими підприємствами виконувалися ВНЗ. Безпосереднім науково-дослідним підрозділом ВНЗ є їх науково-дослідний сектор (НДС). Очолює його начальник НДС, який є першим помічником проректора з наукової роботи. НДС поділяється на відділи за спеціальностями, які очолюють висококваліфіковані вчені, які, як правило, є заступниками завідуючих кафедр з наукової роботи. Відділи підрозділяються на лабораторії, які і являють собою первинні науково-дослідні утворення.

1.3. Оплата праці

Одним з основних методів оцінки праці та матеріального заохочення працівників науки є оплата праці.

Заробітна плата науково-педагогічних працівників ВНЗ та НДІ залежить від займаної посади, категорії ВНЗ чи НДІ, вченого ступеня, вченого звання і стажу науково-педагогічної діяльності. Відповідно до цього кожен працівник науки зацікавлений у підвищенні своєї наукової кваліфікації.

Кваліфікацію науковця визначає вчений ступінь кандидата чи доктора наук, що присуджується йому за умови виконання й успішного захисту кваліфікаційної наукової праці в одній з галузей науки.

Вчене звання – старший (ведучий, головний) науковий співробітник, доцент, професор – визначає посадову науково-дослідну чи педагогічну функцію науковця і призначається в залежності від характеру і якості роботи, яку він виконує у ВНЗ чи НДІ.

Крім названих, існують також вищі академічні вчені звання, якими удостоюються найбільш видатні вчені при обранні їх дійсними членами чи членами-кореспондентами Національної академії наук України (НАНУ).

Вчене звання і ступінь дають можливість займати за конкурсом посади керівників наукових колективів та підрозділів, доцентів і професорів у ВНЗ.

1.4. Підвищення кваліфікації

Основною формою підвищення кваліфікації науковців є аспірантура, створена у 1925 році. Поширення одержала також самостійна підготовка дисертацій в якості пошукачів працівниками ВНЗ, наукових установ та інших організацій без відриву від виробництва. Підготовка докторських дисертацій здійснюється самостійно або через докторантуру.

Іншими формами підвищення кваліфікації науковців є творчі відпустки для написання підручників або навчальних посібників. Для підготовки докторських дисертацій викладач, за рішенням вченої ради інституту, може бути звільнений від педагогічної роботи на термін до двох років з переходом на вакансію наукового співробітника.

Щодня в Україні захищається в середньому близько 10 дисертацій. В теперішній час у нашій країні більше 200 тис. науковців, у тому числі близько 40 тис. фахівців вищої кваліфікації: кандидатів наук близько - 36 тис.; докторів наук – близько 4 тис.; більше 1.5 млн. студентів ВНЗ. У післявоєнний період у середньому одній докторській дисертації відповідало вісімдесят кандидатських. Проміжок часу між захистами кандидатської і докторської дисертацій складає 10-12 років.

1.5. Підготовка молодих наукових кадрів

Студенти-металурги молодших курсів починають знайомитися з прийомами дослідницької роботи на суспільно-наукових і загально-технічних кафедрах відповідно до програми студентського наукового товариства (СНТ). Починаючи з третього курсу, студенти вивчають «Основи наукових досліджень» та освоюють основні методи постановки й проведення експериментів при виконанні учбово-дослідницьких робіт і практикумів за фахом. На четвертому і п'ятому курсах, протягом трьох - чотирьох семестрів, студенти під керівництвом викладачів виконують індивідуальні дослідження, до складу яких входять: курсові, дипломні й інші види самостійної науково-дослідної роботи.

Студенти, які виявили схильність до дослідницької роботи, можуть брати участь (за сумісництвом і на штатних посадах: лаборантів, техніків, інженерів-стажистів) у виконанні держбюджетних і госпрозрахункових НДР, які розробляють кафедри. Найбільш здібні студенти-дослідники, які

добре виявили себе при виконанні НДР, за поданням наукового керівника можуть бути рекомендовані кафедрою для вступу до аспірантури безпосередньо після закінчення ВНЗ. Схильності до наукової праці враховуються також при розподілі студентів-випускників у науково-дослідні інститути, конструкторські бюро й наукові підрозділи промислових підприємств.

1.6. Оцінка результативності науки

Ефективність науки може бути здійснена за комплексом тісно пов'язаних, але різних за природою показників. До найважливіших з них відносяться показники, що характеризують діяльність як окремих вчених, так і цілих наукових колективів: кількість опублікованих наукових праць, отриманих патентів з обліком їх реальної цінності; розмір фактичної економії від впровадження результатів наукових досліджень у виробництво; величина фактичної економії на грошову одиницю витрат; чисельність і якість підготовки наукових кадрів; питома вага того, як часто цитують опубліковані роботи; кількість виконаних НДР.

Найбільш ефективними показниками результативності наукових досліджень прийнято вважати економічні оцінки. За даними різних авторів, одна грошова одиниця витрат на наукові дослідження дає приріст національного доходу 1.5 - 5 одиниць. Статистика показує, що проміжок часу від лабораторного дослідження до промислового впровадження його результатів різний: у перший рік реалізується близько 16% результатів; протягом двох, трьох і чотирьох років відповідно – 28, 34 і 49%.

2. ОСНОВИ МЕТОДОЛОГІЇ І ВИБІР МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Основні елементи науки

Факт (від лат. *faktum* – зроблене) – дійсна (невигадана) подія, що має одиничний характер. (Приклад – яблуко упало на голову Ньютонові).

Факт – фундамент науки. Зв'язок між фактами зумовлений законами. Тобто на основі аналізу фактів відкриваються закони (приклад – чим вище висить яблуко, тим болючіше буде голові, на яку воно впаде).

Закон – порядок причинного, необхідного і стійкого зв'язку між фактами явищами і властивостями матеріальних об'єктів.

Класифікація законів.

Приватні закони (специфічні) – виражають відносини між порівняно вузьким колом явищ, конкретними специфічними явищами чи окремими властивостями матеріальних об'єктів (приклади: закон додавання швидкостей; газові закони: Шарля, Гей-Люссака, Бойля-Маріотта, Менделєєва-Клапейрона й ін.)

Загальні закони – виражають відношення між загальними властивостями великих сукупностей об'єктів і явищ (приклади – закон збереження і перетворення енергії; закон природного відбору; закон розвитку великих систем й ін.)

Загальні закони (універсальні) – описують основні діалектичні закономірності світу, що виражають відносини між загальними властивостями чи тенденціями розвитку матерії (приклади – закони філософії: єдність і боротьба протилежностей; перехід кількісних змін у якісні; заперечення заперечень).

Закони створюються на основі гіпотез, теорій.

Гіпотеза (від грецьк. *υποθεσις* - припущення) – наукове припущення, висунуте для пояснення наявності зв'язку між сукупністю фактів і явищ. Гіпотеза завжди носить імовірний характер і має потребу у перевірці і доказі (приклад – гіпотеза Дарвіна про походження людини від мавпи).

Гіпотеза, підтверджена фактами – теорія.

Теорія (від грецьк. *θεωρία* - спостереження) – логічне узагальнення досвіду, суспільної практики; опис визначеної сукупності явищ, подій, фактів на основі відомих законів (приклад – теорія завантаження доменної печі; теорія термодинаміки й ін.).

Проблема (від грецьк. *προβλημα* – задача, утруднення) – теоретичне чи практичне питання, яке потребує вирішення. Проблема – основний фактор, що сприяє розвитку науки, як системи знань. Проблеми виникають з потреб практики й у результаті природного розвитку науки (узгодження окремих результатів і напрямків у науковому дослідженні, доказу конкуруючих гіпотез й ін.).

Метод (від грецьк. μεθοδος – спосіб пізнання) – спосіб пізнання дійсності і відображення його в мисленні; спосіб, прийом чи система прийомів для досягнення будь-якої мети, чи виконання визначеної операції.

Методика – узагальнення досвіду, способів, прийомів доцільного здійснення будь-якого завдання.

Методологія – навчання про метод наукового пізнання й перетворення світу.

Методи дослідження підрозділяються на три групи:

Спеціальні методи, в основі яких лежать специфічні закономірності з будь-якої області знань, галузі науки (приклад: пряме і непряме відновлення в доменному процесі).

Загальнонаукові методи – традиційні, сформовані раніше в науці: дедукція й індукція, аналіз і синтез, порівняння й аналогія, спостереження й експеримент; і **нові методи**: аксиоматично-дедуктивний, моделювання, ідеалізації, системно-структурний, формально-математичний та ін.

Філософські методи – всеосяжні, засновані на діалектичних законах філософії.

2.2. Визначення загальнонаукових методів

Дедуктивний (від лат. deductio – виведення) – метод, при якому окремі положення виводяться з загальних. Приклади: усі метали електропровідні; мідь – метал, значить - мідь електропровідна; із загального рівняння руху $m d^2 L / dt^2 = \sum F_i$, виводяться окремі підстановкою конкретних сил.

Індуктивний (від лат. inductio – наведення) – метод, який з окремих фактів і явищ встановлює загальні принципи і закони (приклад: Д.І. Менделєєв з окремих фактів і властивостей відкритих елементів сформулював періодичну систему елементів)

Аналіз (від грецьк. αναλυσις – розкладання) – метод наукового дослідження, при якому явище розчленовується на складові частини і розглядається автономно (приклад: аналіз крові; доменний процес розподіляється на підпроцеси, які окремо описуються й ін.).

Синтез (від грецьк. συνθεσις – з'єднання) – дослідження явища або процесу в цілому на основі об'єднання один з одним елементів у єдине ціле (приклад: набір фізичних законів – теорія процесу).

Експеримент (від лат. experior – випробую) буває пасивний і активний.

Пасивний експеримент – дослідження якого-небудь явища або процесу, що протікає спонтанно (самопливом), шляхом спостереження та реєстрації його параметрів з метою аналізу і наступної математичної обробки експериментальних даних.

Активний експеримент – дослідження яких-небудь явищ чи процесів шляхом активного впливу на них, або зміни протікання процесу в потрібному напрямку.

Активний експеримент найчастіше застосовується в лабораторних і напівпромислових дослідженнях, пасивний – на виробництві.

Моделювання (від лат. modulus – міра, зразок) – дослідження яких-небудь явищ, процесів або систем об'єктів шляхом побудови й вивчення їх моделей; використання моделей для визначення чи уточнення об'єктів, які наново конструюються. Моделювання – одна з основних категорій теорії пізнання: на ідеї моделювання, власне кажучи, базується будь-який метод наукового дослідження – як теоретичний (який використовує різного роду знакові, абстрактні моделі), так і експериментальний (який використовує предметні - фізичні моделі).

2.3. Послідовність виконання наукового дослідження (рішення проблеми)

Вибір теми дослідження здійснюється виходячи з потреб виробництва, можливостей дослідника й розвитку теорії і технології даної галузі.

Вивчення стану проблеми здійснюється шляхом огляду технічної літератури з обраної теми.

Огляд літератури – стиснутий виклад сучасного стану питання, проблеми з висновками, рекомендаціями і рішеннями.

Огляд літератури намічає шляхи подальшого дослідження проблеми. Вважається, що гарний (кваліфікований) огляд технічної літератури відповідає 60% рішення всієї проблеми. Огляд літератури ґрунтується на рефератах та анотаціях технічних книг і статей, опублікованих у різних джерелах, що звичайно відшукують на «глибину» пошуку 5-10 років, оскільки кількість публікацій подвоюється через 10-15 років.

Анотація (від лат. annotatio – зауваження) – коротка характеристика змісту надрукованого витвору або рукопису.

Реферат (від лат. refero – повідомляю) – короткий виклад у письмовому виді чи у формі публічної доповіді змісту наукової праці (праць) та літератури за темою.

Уся світова інформація з усіх галузей науки й техніки проробляється, анотується і публікується у *реферативних журналах* інститутів наукової і технічної інформації (ІНТІ) кожен місяць – 12 журналів за рік. Усього у світі видається близько 1,5 тис. реферативних журналів.

Реферативний журнал (Р.Ж.), який публікує інформацію з чорної металургії, називається «*Металургія, 15В. Виробництво чавуну і сталі*». У ньому розміщені анотації статей, прізвища авторів, назва і джерело (журнал, книга й ін.), де вона опублікована. Таким чином, необхідно переглянути від 60 до 120 реферативних журналів. Вибрати анотації, які Вас цікавлять. Знайти джерело в бібліотеці чи інтернеті й зреферувати його.

Склад реферату: бібліографічні дані; ціль статті; короткий її зміст; методика дослідження; основні висновки; переваги і недоліки статті; список використаної літератури за темою.

З отриманих рефератів статей скласти огляд літератури з історичної, технологічної чи іншої ознаки. Зробити висновки про те, що зроблено і чого ще немає, про повноту і напрямок подальших досліджень.

Вибір методики дослідження здійснюється на основі аналізу процесу, огляду літератури шляхом уточнення чи поліпшення відомої методики, а також створення нової оригінальної методики на основі сучасних технологій, відкриттів і власних логічних міркувань.

Методики, які звичайно застосовуються в наукових статтях, наступні:

- аналітична – аналіз літературних чи виробничих даних;
- розрахункова – використання розрахунків для підтвердження своїх концепцій з урахуванням відомих законів природи;
- моделювання на фізичних моделях;
- математичне моделювання (створення моделі процесу і дослідження на її основі);

- комбінована: аналіз – розрахунок - перевірка на промислових агрегатах; аналіз – моделювання – промислові дослідження; розрахунок – промислові дослідження; аналіз – промислові дослідження й ін.

Проведення експерименту. Повний експеримент звичайно проводиться у чотири стадії:

- *логічна стадія* – якісне рішення задачі (проблеми): створення концептуальної моделі;
- *лабораторна* – моделювання фізичне, математичне;
- *дослідно-промислова* – створення напівпромислової установки, робота на ній;
- *промислова* – кінцевий експеримент на промисловому агрегаті.

Друга і третя стадії можуть бути проігноровані в залежності від умов і можливостей дослідника.

Обробка та інтерпретація результатів експерименту:

- складання таблиць у зручній для аналізу формі;
- побудова графіків, пояснення їхньої технологічної сутності з погляду причинно-наслідкових зв'язків;
- статистична обробка даних, одержання математичних залежностей (моделей);
- оцінка їхньої адекватності (відповідність експериментальним даним);
- оптимізація (визначення оптимальних умов технологічних процесів).

Інтерпретація (від лат. interpretatio – роз'яснення) – тлумачення, пояснення, переклад на більш зрозумілу мову.

Висновки і практичні рекомендації повинні містити наступні положення:

- основні тенденції зміни параметрів та їх причини;
- оптимальні межі зміни факторів та їхня технологічна основа;
- передбачувані або реальні поліпшення параметрів процесу у кількісному виді.

Впровадження результатів експерименту в промисловість. Коли результати погоджені з виробничниками, необхідно підготувати наступні документи:

- розрахунок економічної ефективності ваших пропозицій;
- акт про здачу і приймання науково-дослідної роботи.

3. ТЕОРІЯ І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

3.1. Основи теорії метрології

Метрологія (від грецьк. *μετρον* - міра) – наука про виміри, методи досягнення їх єдності і необхідної точності.

Проблеми метрології:

- створення загальної теорії вимірів;
- утворення одиниць фізичних величин та систем одиниць;
- розробка методів і засобів виміру, методів визначення їх точності;
- створення еталонів, зразкових засобів вимірів та їх перевірка.

У 1893 р. з ініціативи Д.І. Менделєєва була створена «Головна палата вимірів і ваг», яка пізніше була перетворена у науково-дослідний інститут метрології (НДІМ). У 1960 р. друга генеральна конференція розробила *основні одиниці Міжнародної системи одиниць (СІ)*:

Примечание [A1]:

- довжина – метр, м;
- маса – кг;
- час – секунда, с;
- сила струму – амперів, А;
- температура – градус Кельвіна, К;
- сила світла – кандела, кд;
- кількість речовини – моль.

3.2. Засоби виміру, вимірювальна апаратура

При проведенні досліджень інформацію про хід процесів одержують шляхом вимірів. *Виміром* називають визначення значень деякої фізичної величини за допомогою технічних засобів. У металургійних дослідженнях обумовлені величини вимірюють за допомогою електричних засобів.

Вимірювальний прилад містить у собі три основні вузли:

- датчик, розташований безпосередньо на об'єкті;
- вимірювальний пристрій (перетворювач сигналу);
- показчик інформації (вимірювальний прилад).

Характеристики приладу:

- чутливість – розмірна величина, яка дорівнює приросту вимірюваного параметра;
- точність – характеристика якості виміру, що відбиває ступінь наближення до нуля похибок;

▪ *похибка* – відхилення знайденого значення величини від її дійсного значення: $\delta = (a - \bar{a}) / \bar{a}$, де δ - відносна похибка виміру; a , \bar{a} - знайдене і дійсне значення вимірюваної величини.

Похибки бувають наступними:

- *інструментальні*, пов'язані з недосконалістю вимірювальних приладів;
- *методичні*, обумовлені недоліками методики;
- *систематичні*, обумовлені незвичайністю градування;
- *прогресуючі*, які змінюються з часом, обумовлені старінням апаратури;
- *випадкові* – невизначені за величиною і не мають закономірності.

Основні параметри вимірів у металургії та прилади:

- *температура*, °C (термометри опору, термопари, пірометри);
- *тиск*, Па (манометри, диференціальні манометри: мембранні, сильфонні, пружинні);
- *витрата*, кг/с, м³/с, моль/с; *швидкість*, м/с (за перепадом тисків, порційні, крильчаті);
- *консистенція* (в'язкість), Па·с (віскозиметри ротаційні, вібраційні, кулькові й ін.);
- *склад газу*, % (газоаналізатори, хроматографи, мас-спектрометри);
- *маса*, кг (ваги: підйомні, пружинні, динамометри, тензодатчикові, механотроні).

4. ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

4.1. Загальні положення

Первинна обробка експериментальних даних полягає у їх систематизації (розміщення даних у вигляді таблиць або на окремі картки), визначенні діапазону функції (параметра) і аргументу (фактора), середніх значень величин та їх частотних характеристик (тип розподілу), побудові графіків (для наочності), підборі емпіричних формул, оцінці точності експериментальних даних та виключенні грубих помилок.

Параметр (від грецьк. *παράμετρος* - який порівнює) – величина, що характеризує будь-яку властивість процесу, явища або системи технічного пристрою.

Функція (від лат. *functio* – виконання) – залежна змінна величина.

Аргумент (від лат. *argumentum* – довід, підстава) – незалежна змінна величина, від якої залежить значення функції.

Фактор (від лат. *faktor* – той, що виготовляє) – причина, рушійна сила будь-якого процесу чи явища, що визначає його характер або окремі риси.

Кількісна оцінка експериментальних даних спочатку виконується наближеними методами (наприклад, графічний, метод обраних точок [1]), а потім методами математичної статистики (найменших квадратів, Чебишева й ін.), що засновані на теорії ймовірностей. Статистична обробка результатів спостережень (пасивний експеримент) дає можливість замінити суб'єктивну оцінку процесу чи явища об'єктивною.

За допомогою методів математичної статистики виконуються наступні роботи:

- визначаються основні фактори і ступінь їх впливу на процес, що досліджується (*дисперсійний аналіз*);
- на базі експериментальних даних здійснюється вибір математичних залежностей - моделей (*регресійний аналіз*);
- встановлюється вірогідність отриманих залежностей та їх адекватність процесам, які досліджуються (*кореляційний аналіз*).

4.2. Визначення емпіричних залежностей

Підбір формул за даними експерименту (експериментальними даними) називають підбором емпіричних формул.

Для визначення залежностей (формул) наближеними методами виконують наступні операції:

- будують графіки, де на вертикальній осі (ординат) відкладають параметр (функцію), а на горизонтальній осі (абсцис) – фактор (аргумент);
- з'єднують точки прямими лініями (емпірична лінія регресії) і здійснюють процедуру згладжування, яка полягає у вирівнюванні емпіричної ламаної лінії у гладку криву;
- визначають вид кривої і формулу для апроксимації (наближення виду експериментальної кривої до виду, описаному відомою формулою). Формулу для апроксимації вибирають з розрахунку більшої простоти, вихо-

дячи з того, що *будь-які залежності будь-якої складності можуть бути описані відомими формулами*, наприклад степеневим однофакторним поліномом (ряд Тейлора, Маклорена):

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n \quad (4.1)$$

чи багатofакторним:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + \dots + b_{kk}x_k^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + \dots; \quad (4.2)$$

- визначають постійні коефіцієнти формул різними методами (обраних точок, найменших квадратів та ін.);
- встановлюють адекватність отриманої моделі за допомогою кореляційного аналізу.

4.2.1. Графічний метод

Цей метод придатний тоді, коли *залежність, яку аналізуємо, є прямою лінією*. У такому разі пряма лінія описується поліномом (4.1), який має тільки два члени рівняння у правій частині: $y = a_0 + a_1x$, де коефіцієнти a_0 та a_1 мають простий геометричний зміст: a_0 - величина відрізка, що відтинається прямою на осі Y ; a_1 - тангенс кута нахилу цієї прямої до осі X (рис.4.1(а)).

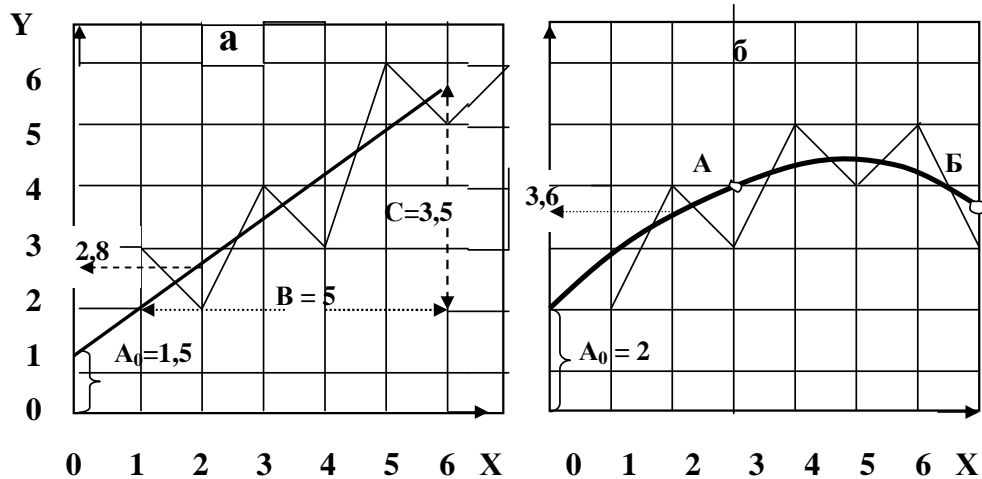


Рис. 4.1. Графіки лінійної (а) та криволінійної (б) залежностей.

На графіку $a_0 = 1.5$, $a_1 = c/v = 3.5 / 5 = 0.7$, отже загальна формула для всіх прямих ліній $y = a_0 + a_1 x$ перетворюється у формулу окремої, конкретної лінії даного графіка

$$y = 1.5 + 0.7 x. \quad (4.3)$$

Таким чином, знайдена залежність, яку аналізуємо.

Перевіримо правильність отриманої формули, для чого підставимо в неї будь-яке значення аргументу x , наприклад, 2: $y = 1.5 + 0.7 \cdot 2 = 2.9$. Перевіримо отримане значення функції ($y=2.9$) і на графіку 4.1 (а) ($y=2.9$). Значення функції (y) збігаються, значить залежність (4.3) знайдена вірно.

Для визначення формули кривої лінії, необхідно взяти у поліномі (4.1) тільки три члени

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2, \quad (4.4)$$

але ввести нові перемінні величини так, щоб у цих перемінних залежність, яка нас цікавить, ставала лінійною [2].

4.2.2. Метод обраних точок

Для криволінійних залежностей простіше застосовувати метод обраних точок, суть якого полягає у тому, що на згладженій кривій графіка (рис. 4.1(б)) довільно вибирають точки А та Б (дві для квадратичної залежності, три для кубічної і т.д.) з таким розрахунком, щоб крива поділялася на дві (для кубічної на три) приблизно рівні частини. Для кожної точки складаємо рівняння (4.4) з чисельними координатами з графіка:

- для точки А: $4.0 = 2 + a_1 \cdot 3 + a_2 \cdot 3^2$;
- для точки Б: $3.5 = 2 + a_1 \cdot 7 + a_2 \cdot 7^2$.

Одержуємо 2 рівняння з двома невідомими a_1 та a_2 у яких a_0 , із графіка, дорівнює числу 2 у точці перетинання кривої з ординатою (вісь y). Вирішимо ці рівняння щодо невідомих a_1 та a_2 , визначивши з першого рівняння a_2 і підставивши його у друге:

$$a_2 = (2 - 3a_1) / 9; \quad 3.5 = 2 + 7a_1 + 49 \cdot (2 - 3a_1) / 9.$$

Знаходимо з другого рівняння $a_1 = 1.005$. Підставивши це значення a_1 у перше рівняння, отримуємо $a_2 = -0.113$. Тепер, якщо у загальне рівняння (4.4) підставити знайдені значення постійних величин a_1 та a_2 (коефіцієнтів рівняння), одержимо конкретне рівняння, яке описує дану криву:

$$y = 2 + 1.005 x - 0.113 x^2 \quad (4.5)$$

Перевіримо правильність розрахунку, підставивши у рівняння (4.5) будь-яке значення x , наприклад 2: $y = 2 + 1.005 \cdot 2 - 0.113 \cdot 2^2 = 3.558$. Порівнюємо одержане значення функції ($y = 3.558$) зі значенням графіка ($y = 3.6$). Значення функції (y) збігаються. Констатуємо: рівняння (4.5) дійсно описує дану криву. Формула вірна.

4.2.3. Метод найменших квадратів.

Метод найменших квадратів (МНК) – основний метод, який дозволяє вирішити, яке з довільних рівнянь дає найкраще наближення до фактичної залежності.

Сутність МНК полягає в тім, що найкраще наближення до фактичної залежності дає таке рівняння, для якого сума квадратів відхилень (S^2) експериментальних точок від розрахункових даних має мінімальне значення:

$$S^2 = \sum (y_i - f(x_i))^2 \rightarrow \min \quad (4.6)$$

Для порівняння звичайно вибирають рівняння типу (4.1). Величину S розглядають, як функцію постійних коефіцієнтів вибраного рівняння.

Необхідною умовою мінімуму є рівність нулю перших частинних похідних:

$$\partial S / \partial a_1 = 0; \quad \partial S / \partial a_2 = 0; \dots; \partial S / \partial a_k = 0 \dots \quad (4.7)$$

Ці рівності розглядаються як система нормальних рівнянь, які розв'язуються щодо постійних коефіцієнтів a_1, a_2, \dots, a_k обраного рівняння.

Метод найменших квадратів, а також інші методи (наприклад, метод Чебишева) є складовою частиною регресійного аналізу.

Регресійний аналіз – розділ математичної статистики, який дає можливість на базі експериментальних даних здійснити вибір математичних залежностей - моделей.

Регресія (від лат. regressio – повертаюся) – ймовірна залежність середнього значення будь-якої величини від деякої іншої величини або від декількох величин.

Основними задачами регресійного аналізу є:

- установлення кількісного зв'язку між випадковими величинами;
- вибір виду рівняння регресії, за допомогою якого апроксимується досліджувана залежність.

При встановленні кількісного зв'язку спочатку вибирають лінійне рівняння $y = a_0 + a_1 x$ (частку полінома (4.1)), постійні коефіцієнти якого a_0 та a_1 розраховуються за допомогою методу найменших квадратів (див. п. 4.2.3) за формулами:

$$a_1 = (N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i) / (N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2); \quad a_0 = (\sum y_i - a_1 \sum x_i) / N, \quad (4.8)$$

де N – кількість точок іспитів, а суми (\sum) беруться з таблиць початкових даних.

Для прикладу скористаємося даними рис. 4.1(а). На графіку маємо 7 експериментальних точок. Запишемо координати цих точок у вигляді таблиці початкових даних (табл.4.1).

Таблиця 4.1

№ №	y	x	x · y	x ²	y ²	y (розрах.)
1	3	1	3	1	9	
2	2	2	4	4	4	
3	4	3	12	9	16	
4	3	4	12	16	9	
5	6	5	30	25	36	
6	5	6	30	36	25	
7 (N)	6	7	42	49	36	
Сума (Σ)	29	28	133	140	135	

Розрахуємо для цих даних рівняння зв'язку y з x :

$$a_1 = (7 \cdot 133 - 28 \cdot 29) / (7 \cdot 140 - 28^2) = 119 / 196 = 0.607;$$

$$a_0 = (29 - 0.607 \cdot 28) / 7 = 12.004 / 7 = 1.715.$$

Рівняння лінії графіка (рис. 4.1(а)) прийме наступний вид:

$$y = 1.715 + 0.607 x. \quad (4.9)$$

У порівнянні з рівнянням (4.3) воно точніше відбиває експериментальний зв'язок функції y з аргументом x .

Якщо лінійне рівняння (4.9) не задовольняє вимогам точності (це буде показано в наступному параграфі: див. кореляційний аналіз), то вибирають квадратичне рівняння (4.4), де коефіцієнти a_0 , a_1 і a_2 розраховуються вже за більш складними формулами (див. наприклад, [1,2,3]).

4.3. Визначення адекватності емпіричних залежностей

Адекватність (відповідність емпіричних даних розрахунковим) визначається тісністю зв'язку між параметрами процесу, що у свою чергу вирішується за допомогою кореляційного аналізу.

Кореляційний аналіз – розділ математичної статистики, що поєднує практичні методи дослідження кореляційної залежності між двома (або великим числом) випадкових ознак чи факторів.

Кореляція (від лат. correlatio – співвідношення) – ймовірна чи статистична залежність між величинами, які не мають чіткого функціонального характеру.

Кореляційний зв'язок займає проміжне положення між функціональним зв'язком і повною відсутністю його.

Найважливішою практичною задачею кореляційного аналізу є оцінки тісноти зв'язку між випадковими величинами x та y . Чим тіснота зв'язку вище, тим точніше математичний опис. Тіснота зв'язку при лінійній залежності характеризується коефіцієнтом кореляції

$$r_p = (N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i) / \sqrt{(N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)(N \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)} = a_1 \sqrt{(N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2) / (N \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}, \quad (4.10)$$

а при криволінійній – кореляційним відношенням

$$\theta_p = \sqrt{\sum (\xi_i^2 - \bar{y})^2 / \sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (4.11)$$

де \bar{y} – середнє значення функції $\sum y_i / N$, ξ_i – розрахункові значення функції, що відповідають x_i . Значення коефіцієнта кореляції (або кореляційного відношення) порівнюють з його табличним значенням $r_t(\theta_t)$ і якщо воно більше табличного $r_p > r_t$ ($\theta_p > \theta_t$), то кореляційний зв'язок вважається достовірним, якщо ж менше - зв'язок не достовірний. Табличні значення коефіцієнтів кореляції можна знайти в додатках літературних джерел [1,3,4].

Надійність самого коефіцієнту кореляції залежить від кількості експериментальних точок (дослідів). Якщо точок мало - менше 10 на кожен член рівняння, то розраховують показник надійності коефіцієнту кореляції

$$\eta = r_p \sqrt{(N-1) / \sqrt{(1-r^2)}} \geq 2.7. \quad (4.12)$$

Якщо показник надійності більше 2.7, то коефіцієнт кореляції (кореляційне відношення) вважається достовірним.

Спробуємо оцінити вірогідність знайдених нами рівнянь у параграфах 4.2.1 – 4.2.3. Розрахуємо коефіцієнт кореляції для рівняння (4.9) за формулами (4.10, 4.12), скориставшись даними табл. 4.1:

$$r_p = 0.607 \cdot \sqrt{(7 \cdot 140 - 28^2) / (7 \cdot 135 - 29^2)} = 0.833.$$

Оцінимо вірогідність коефіцієнта кореляції:

$$\eta = 0.833 \cdot \sqrt{(7-1)/(1-0.833^2)} = 2.04/0.553 = 3.69.$$

Це більше 2.7, отже, коефіцієнт кореляції надійний (достовірний). Визначимо вірогідність кореляційного зв'язку, порівнявши розрахунковий коефіцієнт кореляції $r_p = 0.883$ з його табличним значенням $r_t = 0.667$. Бачимо, що розрахунковий коефіцієнт кореляції вище табличного, значить рівняння (4.9) $y = 1.715 + 0.607x$, вірогідно і їм можна користатися для необхідних розрахунків.

При необхідності можна оцінити і рівняння (4.5), отримане методом обраних точок, скориставшись даними графіка 4.1(б) та формулою (4.11).

Необхідно відзначити, що крім парної лінійної та криволінійної кореляцій, розглянутих нами у даному розділі, існує множинна лінійна і криволінійна кореляції, коли визначається спільний вплив множини факторів на параметр. Математичний апарат, що застосовується для цього, такий же, як і у випадках парної лінійної та криволінійної кореляцій. Познайомитися з ним можна в спеціальній літературі, наприклад [5].

5. ПЛАНУВАННЯ АКТИВНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

5.1. Мета і задачі планування експерименту

Основна мета планування досліджень – одержання максимум інформації при мінімально можливих витратах на експериментування. Планування експерименту дозволяє визначати методику, кількість і порядок проведення дослідів, а також вирішувати наступні задачі:

- відсівати малозначні фактори при дослідженні багатофакторних процесів;
- описувати невідомий процес поліномом (математичною моделлю);
- систематизувати експериментальний матеріал;
- відшукувати оптимум процесу чи технології.

Математичне планування базується на **активному** експерименті, що дозволяє раціонально розподіляти дослідні точки у факторному просторі, забезпечивши цим високу надійність кінцевих результатів при порівняно малій кількості дослідів. **Пасивне** експериментування вимагає значного збільшення кількості дослідів (у 2-5 разів), але навіть у цьому випадку надійність кінцевих залежностей не завжди буває високою через випадковий і нерациональний розподіл дослідних точок у факторному просторі.

Факторний простір – абстрактний простір, по координатних осях якого відкладаються значення функції (параметра) відповідні значенням змінюваних факторів.

5.2. Плани експериментів

Для проведення серії активних експериментів для будь-яких задач вибирають стандартний план.

Планом експерименту називається фіксована послідовність дослідів з визначеними рівнями факторів. Стандартні плани для будь-якої кількості факторів наведені в спеціальній літературі [1,3,4,7].

Рівень фактора – це фіксоване значення фактора у стандартних одиницях: мінімальне значення -1 , максимальне $+1$, середнє 0 (іноді просто $-$, $+$, 0).

Співвідношення між натуральними і стандартними значеннями факторів визначаються наступною формулою:

$$x_i = (H_i - \bar{H}_{i0}) / J, \quad (5.1)$$

де x_i і H_i – кодоване $(+1, -1, 0)$ і натуральне значення факторів;

\bar{H}_{i0} – натуральне значення фактора на середньому (нульовому) рівні;

J – інтервал варіювання, рівний половині різниці максимального і мінімального натуральних значень факторів.

Для одержання лінійної моделі типу $y = b_0 + \sum b_j x_j$ (лінійна частина полінома (4.2)) необхідний повний факторний експеримент (ПФЕ), у якому реалізуються всі можливі сполучення рівнів факторів. Кількість дослідів у плані, заснованому на ПФЕ, визначається за формулою:

$$N = u^k, \quad (5.2)$$

де u – число рівнів факторів, k – число факторів.

Для одержання лінійної моделі достатньо кожен фактор варіювати на двох рівнях (верхньому $+1$ і нижньому -1). Тоді кількість дослідів у ПФЕ, відповідно до формули (5.2), буде залежати тільки від числа факторів k . Для двох факторів $N = 2^2 = 4$, для трьох $N = 2^3 = 8$ і т.д. Вид плану формується простим перерахуванням усіх можливих сполучень рівнів факторів. Наприклад, план повного двофакторного експерименту для одержання лінійної моделі буде мати вигляд:

N	x_1	x_2	y	
1	-1	-1	y_1	
2	+1	-1	y_2	(5.3)
3	-1	+1	y_3	
4	+1	+1	y_4	

Кожен рядок плану являє собою умови дослідів $(+1, -1)$, а кожному досліді відповідає своє значення параметра (функції $y_1 \div y_4$). Отриманий план *реалізують*: виконують кожен дослід, дотримуючись *рандомізації* (випадковість у виборі послідовності дослідів) і одержують параметри оптимізації, що відповідають кожному досліді.

5.3. Одержання математичних моделей процесу

5.3.1. Лінійні моделі

Коефіцієнти лінійної моделі визначають за результатами реалізованого плану:

$$b_0 = (\sum y_i) / N; \quad b_j = (\sum x_{ji} y_i) / N; \quad (5.4)$$

де i, j – номери, відповідно, дослідів (i – від 1 до N) і фактора (j – від 1 до k).

Підставляють визначені коефіцієнти у поліном першого ступеня

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k \quad (5.5)$$

і одержують лінійну математичну модель, яку шукали.

Далі варто довести адекватність (відповідність) моделі реальним умовам експерименту. Адекватність визначається порівнянням ефектів взаємодії факторів на параметр з помилкою експерименту. Ефекти взаємодії розраховуються за наступною формулою:

$$b_{jk} = (\sum x_{ji} x_{ki} y_i) / N, \quad (5.6)$$

де j, k – номери факторів.

Якщо хоча б один ефект взаємодії з абсолютної величини більше помилки експерименту, то лінійна модель неадекватна. Помилка технічного експерименту звичайно дорівнює 5-10% від середнього значення функції - b_0 і розраховується з урахуванням повторних дослідів за формулою:

$$S = \sqrt{(\sum \sum (y_{ij} - y_{сер})^2) / n_1 \cdot (m-1)}, \quad (5.7)$$

де n_1 – кількість дослідів з повтореннями, m – кількість повторів кожного дослідів.

У випадку неадекватності лінійної моделі, необхідно збільшувати ступінь апроксимуючого полінома, а для цього необхідно додавати дослідів до наявних повних факторних експериментів [1,3,4].

Проілюструємо вищесказане на прикладі одержання лінійної моделі залежності використання газового потоку η_{co} , % (y) доменної печі корисним об'ємом 2000 м³ від маси подачі M , т (x_1) і кількості прямих подач A , % (x_2). Маса подачі змінювалася від 25 до 30 т, а прямі подачі – від 50 до 100 %. Оскільки факторів два, то скористаємося стандартним планом (5.3). Занесемо обраний план у табл. 5.1 разом з натуральними значеннями факторів.

Таблиця 5.1

№ № (N)	Фактор				Параметр (функція), y (η_{co}), %			
	x_1 (M, т)		x_2 (A, %)		$y_{експ}$	$y_{повт}$	$\bar{y}_{сер}$	$y_{розн}$
	Код	Натура	Код	Натура				
1	-1	25	-1	50	39.0	-	39	39.325
2	+1	30	-1	50	40.0	40.8	40.4	40.075
3	-1	25	+1	100	38.1	39.1	38.6	39.325
4	+1	30	+1	100	38.7	-	38.7	39.025

Розрахуємо коефіцієнти регресії за формулами (5.4) полінома першого ступеня (5.5):

$$b_0 = (39 + 40.4 + 38.6 + 38.7) / 4 = \mathbf{39.175};$$

$$b_1 = (-1 \cdot 39 + 1 \cdot 40.4 - 1 \cdot 38.6 + 1 \cdot 38.7) / 4 = \mathbf{0.375};$$

$$b_2 = (-1 \cdot 39 - 1 \cdot 40.4 + 1 \cdot 38.6 + 1 \cdot 38.7) / 4 = \mathbf{-0.525}.$$

Таким чином, математична модель (лінійний двофакторний поліном) впливу маси подачі і кількості прямих подач на використання газового потоку буде мати вигляд:

$$y = \mathbf{39.175 + 0.375 x_1 - 0.525 x_2}.$$

Підрахуємо розрахункові значення функції $y_{розр}$ для кожного досліді і підставимо у табл. 5.1:

$$y_1 = 39.175 + 0.375 \cdot (-1) - 0.525 \cdot (-1) = 39.325;$$

$$y_2 = 40.075; \quad y_3 = 39.325; \quad y_4 = 39.025.$$

Порівнюючи розрахункові дані $y_{расч}$ з експериментальними $y_{експ}$ бачимо, що збіг між ними поганий. Отже, необхідно перевірити адекватність лінійної моделі.

Розрахуємо помилку досліді, використовуючи повторні досліді № 2 і № 3 за формулою (5.7):

$$S = \sqrt{(2(40 - 40.4)^2 + 2(38.1 - 38.6)^2) / 2 \cdot (2 - 1)} = 0.64$$

і порівняємо її з коефіцієнтами регресії моделі. Бачимо, що вони порівнянні величини з помилкою експерименту. Отже, лінійна модель неадекватна. Для збільшення ступеня полінома, з метою одержання адекватної моделі, необхідно додавати кількість дослідів з використанням нового стандартного плану.

5.3.2. Нелінійні моделі

Для одержання моделі другого ступеня скористаємося симетричним композиційним ортогональним трирівневим планом [7], що складається з ядра (ПФЕ), чотирьох дослідів у «зоряних точках» і одного у нульовій (центральної) точці. Причому у вигляді ядра скористаємося вже наявним планом попереднього параграфа.

Таблиця 5.2

№ № (N)	Фактор				Параметр (функція), у (η_{co}), %			
	$x_1 (M, m)$		$x_2 (A, \%)$		$y_{експ}$	$y_{повт}$	$\bar{y}_{сер}$	$y_{розр}$
	Код	Натура	Код	Натура				
1	-1	25	-1	50	39.0	-	39	38.5
2	+1	30	-1	50	40.0	40.8	40.4	41.0
3	-1	25	+1	100	38.1	39.1	38.6	38.05
4	+1	30	+1	100	38.7	-	38.7	39.23
5	-1	25	0	75	40.2	-	40.2	41.48
6	+1	30	0	75	44.8	43.6	44.2	43.31

7	0	27.5	-1	50	40.7	-	40.7	40.85
8	0	27.5	+1	100	39.5	-	39.5	39.75
9	0	27.5	0	75	43.7	-	43.7	43.5

Повний квадратичний поліном (частина ряду Тейлора (4.2)) для даного плану наступний:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2 \quad (5.8)$$

Коефіцієнти регресії до нього підраховуються за більш складними формулами:

$$\begin{aligned} b_0 &= P_1 \sum y_i - P_2 \sum \sum x_{ji}^2 y_i; & b_j &= P_3 \sum x_{ji} y_i; \\ b_{jj} &= P_4 \sum x_{ji}^2 y_i + P_5 \sum \sum x_{ji}^2 y_i - P_2 \sum y_i; & b_{jk} &= P_6 \sum x_{ji} x_{ki} y_i, \end{aligned} \quad (5.9)$$

де P_1, \dots, P_6 – постійні коефіцієнти, властиві обраним планам.

Отже, розраховуємо коефіцієнти полінома (5.8):

$$\begin{aligned} b_0 &= 0.556 \cdot (39 + 40.4 + 38.6 + 38.7 + 40.2 + 44.2 + 40.7 + 39.5 + 43.7) - 0.333 \cdot \\ & \quad (39 + 40.4 + 38.6 + 38.7 + 40.2 + 44.2 + 39 + 40.4 + 38.6 + 38.7 + 40.7 + 39.5) = \mathbf{43.5}; \\ b_1 &= 0.1667 \cdot (-39 + 40.4 - 38.6 + 38.7 - 40.2 + 44.2) = \mathbf{0.917}; & b_2 &= \mathbf{-0.55}; \\ b_{11} &= 0.5 \cdot (39 + 40.4 + 38.6 + 38.7 + 40.2 + 44.2) - 0.333 \cdot (39 + 40.4 + 38.6 + 38.7 + \\ & \quad + 40.2 + 44.2 + 40.7 + 39.5 + 43.7) = \mathbf{-1.11}; & b_{22} &= \mathbf{-3.21}; \\ b_{12} &= 0.25 \cdot (39 - 40.4 - 38.6 + 38.7) = \mathbf{-0.325}. \end{aligned}$$

Таким чином, нелінійна математична модель залежності використання газового потоку від маси подачі і системи завантаження буде відображуватись поліномом другого ступеня

$$\eta_{co} = 43,5 + 0,917 x_1 - 0,55 x_2 - 1,11 x_1^2 - 3,21 x_2^2 - 0,325 x_1 x_2. \quad (5.10)$$

Визначимо адекватність (відповідність експериментальним даним) отриманої моделі за критерієм Фішера:

$$F_{розр} = S_{ад}^2 / S_{екс}^2 \quad (5.11)$$

де $S_{ад}^2$ і $S_{екс}^2$ – дисперсія адекватності й експерименту відповідно.

Розрахуємо дисперсію адекватності за формулою

$$S_{ад}^2 = \sum (\bar{y} - \bar{y})^2 / (n - k - 1), \quad (5.12)$$

де \bar{y} і \bar{y} – розрахункові і середні значення параметра, n і k – кількість дослідів і факторів відповідно. Для цього попередньо розрахуємо за формулою (5.10) значення параметра і занесемо їх в останній стовпець табл. 5.2.

Дисперсія адекватності:

$$S_{ad}^2 = (38.5-39)^2 + (41-40.4)^2 + (38.05-38.6)^2 + (39.23-38.7)^2 + (41.48-40.2)^2 + \\ + (43.31-44.2)^2 + (40.85-40.7)^2 + (39.75-39.5)^2 + (43.5-43.7)^2 / (9-6-1) = 1.79$$

Дисперсію експерименту розрахуємо по трьох повторених дослідах 2, 3 і 6-му:

$$S_{екс}^2 = 2(40.4-40)^2 + 2(38.6-38.1)^2 + 2(44.2-44.8)^{2/3} \cdot (2-1) = 0.513.$$

Розрахунковий критерій Фішера дорівнює $F_{розн} = 1.79/0.513 = 3.49 < 4.28 = F_{табл.}$

Робимо **висновок**: оскільки розрахунковий критерій Фішера менший табличного, значить модель адекватна.

5.4. Відсівання факторів у багатфакторному процесі

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

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

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

$$\Delta b_j = \pm t_{\alpha N-1} S / \sqrt{N}, \quad (5.13)$$

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

Якщо за абсолютною величиною $b_j \leq \Delta b_j$, то коефіцієнт мало значимий, а відповідний йому фактор не робить істотного впливу на процес. Такий фа-

ктор повинен бути відсіяний (виключений) або зафіксований на визначеному рівні.

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

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

Скористаємося напівреплікою повного факторного експерименту $2^3/2 = 4$ досліди і побудуємо розрахункову таблицю 5.3.

Таблиця 5.3.

№ пп	Фактор			Параметр (функція) – питома продуктивність, Π , $\text{т/м}^2 \cdot \text{год}$		
	X_1	X_2	X_3	Y	$Y_{\text{повт}}$	$Y_{\text{сер}}$
1	-	-	+	1.61	1.63	1.62
2	+	-	-	1.47	1.49	1.48
3	-	+	-	1.51	-	1.51
4	+	+	+	1.54	-	1.54

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

$$b_0 = (1.62 + 1.48 + 1.51 + 1.54) / 4 = 1.54;$$

$$b_1 = (-1.62 + 1.48 - 1.51 + 1.54) / 4 = -0.0275;$$

$$b_2 = (-1.62 - 1.48 + 1.51 + 1.54) / 4 = -0.0125;$$

$$b_3 = (+1.62 - 1.48 - 1.51 + 1.54) / 4 = 0.0425.$$

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

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

та довірчий інтервал коефіцієнтів регресії за формулою (5.13):

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

Тут 3.182 – табличне значення критерію Стюдента при ступеню волі $4 - 1 = 3$.
Усі коефіцієнти регресії $b_0 - b_3$ порівнюємо з довірчим інтервалом: видно,

що тільки фактор x_2 (накат палива наприкінці огрудкування) є мало значимим, тобто не впливає на продуктивність аглопроцесу, отже, відсівається.

6. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

6.1. Класифікація методів оптимізації

Удосконалювання металургійних процесів найчастіше пов'язане з визначенням екстремальних значень техніко-економічних показників.

Екстремум (від лат. *extremum* – край, кінець) – найбільше чи найменше значення будь-якої функції.

Ціль таких досліджень – пошук оптимальних: умов технологічних процесів, складу сплавів, конструкцій.

Оптимізація (від лат. *optimus* – найкращий) – математична процедура пошуку найвигідніших характеристик будь-якої системи.

За кількістю апріорної (перед дослідної) інформації про процес дослідження, *оптимізація* може бути *експериментальна*, коли невідомий зв'язок факторів з параметром оптимізації, і *теоретична*, коли є математична модель процесу. До експериментальних методів відносяться всі крокові методи (Бокса-Уілсона, ПСМ, Гаусса-Зейделя й ін.), до теоретичних – математичного програмування (дослідження функцій, множників Лагранжа й ін.).

За способом реалізації спробних впливів методи пошуку екстремуму поділяються на *детерміновані* та *випадкові*.

Детермінанта (від лат. *determinans* – визначальний) – причина, що визначає виникнення явища.

При детермінованому пошуку спробні рухи здійснюються за визначеним *алгоритмом*, а напрямки і знаки збільшень залежать від попереднього руху, тобто попереднє визначає наступне.

Алгоритм (від лат. *Algorithms* – аль Хорезмі) – схема рішення даної задачі, яка може бути представлена у вигляді блоків або переліком пунктів.

До детермінованих методів пошуку екстремуму відносяться методи: крутого сходження, найшвидшого спуску, умовного екстремуму, послідовний симплексний (ПСМ) та ін.

У випадкових стратегіях пошуку напрямку збільшень керуючих впливів напрямки задаються випадково, причому, всі напрямки рівноймовірні, а рух

до екстремуму здійснюється у тому випадку, коли результат призводить до поліпшення параметра оптимізації. До цих методів відносяться: випадковий перебір усіх можливих значень, чисто випадковий пошук, Гаусса-Зейделя, статистичний градієнт та ін.

Як приклад експериментальної оптимізації розглянемо самий найпростіший – метод Гаусса-Зейделя, а теоретичної – метод дослідження функцій.

6.2. Метод Гаусса-Зейделя.

Оптимум процесу за цим методом визначається почерговим варіюванням кожного фактора при фіксованому значенні інших. Послідовність операцій наступна:

- вибирають крок варіювання кожного фактора (приблизно 10% області визначення фактора);
- вибирається нульова (стартова) точка (нульова точка вибирається таким чином, щоб значення факторів були близькі до звичайних, які найчастіше використовують);
- виконуються спробні експерименти зі зміною значення кожного з факторів, порівнюються значення параметрів оптимізації і при зміні їх в кращу сторону помічається фактор і напрямок наступних експериментів;
- виконуються наступні експерименти до тих пір, поки значення параметра не буде погіршуватися;
- повертаються до умов дослідів з кращим значенням параметра, змінюють другий фактор і проводять дослід до погіршення.

Процедура повторюється доти, поки не буде знайдений екстремум параметра оптимізації або параметр оптимізації буде обмежений границями факторного простору.

Приклад. Методом Гаусса-Зейделя вибрати оптимальні значення маси подачі (M) і кількості прямих подач (A) для доменної печі корисним об'ємом 2000 м³ (див. приклад п.п. 5.2, 5.3).

Як цільовий параметр оптимізації виберемо використання газового потоку $\eta_{co} = 100 \cdot CO_2 / (CO_2 + CO)$. Кількість прямих подач може змінюватися від 50 до 100%, тому крок варіювання вибираємо, відповідно до рекомендації (10-20% від області визначення фактора), 10 %. Маса подачі для печей

такого об'єму змінюється, у залежності від якості сировини, від 25 до 30 т, отже крок для цього фактора буде 1т. Нульова (стартова) точка відповідає параметрам звичайної роботи печі, тобто $M = 26 \text{ т}$, $A = 60\%$. Взаємно кореляційні функції ($M, A \rightarrow \eta_{co}$) показали, що час одного експерименту на печі складає не менше 2-х годин.

Отже, проводимо двогодинний експеримент на печі з масою подачі 26 т і кількістю прямих подач 60 %. Реєструємо використання газового потоку $\eta_{co} = 41\%$ за аналізом загального колошникового газу і заносимо у табл.6.1.

Таблиця 6.1.

<i>№ дослід</i>	<i>Фактор завантаження</i>		<i>Параметр</i>
	<i>A, %</i>	<i>M, т</i>	<i>η_{co}, %</i>
0	60	26	41.0
1	50	26	39.7
2	70	26	41.7
3	80	26	41.5
4	70	27	42.6
5	70	28	43.7
6	70	29	44.3
7	70	30	44.0
8	60	29	43.0
9	80	29	45.0
10	90	29	43.0
11	80	30	44.2
12	80	28	44.0

Наступний дослід (1-й) проводимо зі зміною кількості прямих подач до 50% – використання газу погіршилося (39.7 %). Виходить, що треба повернутися у вихідну точку (0-ий дослід) і у 2-му досліді збільшуємо кількість прямих подач до 70%, залишаючи масу подачі колишньою – 26 т. Бачимо, що використання газового потоку збільшується (41.7%). Робимо ще крок у цю ж сторону (3-ій дослід)– погіршення (41.5%). Повертаємося в умови другого досліді і збільшуємо масу подачі до 27т – використання газового потоку поліпшується (4-й дослід). У наступних дослідіх (5-7) збільшуємо масу подачі, не змінюючи кількості прямих подач до тих пір, доки використання газового потоку не погіршиться (дослід 7 - $\eta_{co} = 44 \%$).

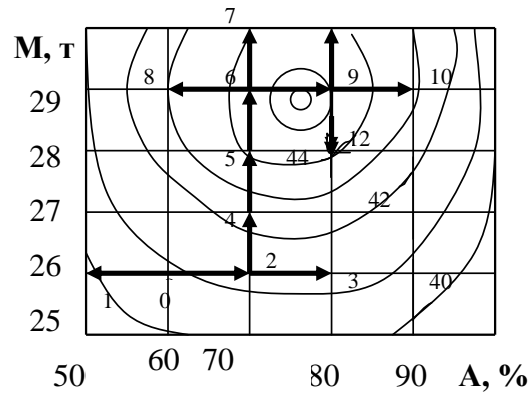


Рис. 6.1. Схема пошуку оптимальної системи завантаження методом Гаусса-Зейделя. Цифри 0,...,12 – номери дослідів, відповідно до табл. 6.1, цифри на кривих – ступінь використання газового потоку $\eta_{co} = 40, \dots, 44\%$.

Для наочності проілюструємо пошук оптимуму схемою на рис.6.1, де зображено факторний простір з розподілом передбачуваних ізоліній параметра оптимізації і шляхи пошуку оптимуму.

Повертаємося до умов 6-го дослідів ($A = 70\%$, $M = 29\text{ т}$). Стабілізуємо масу подачі на цьому рівні, а кількість прямих подач зменшуємо до 60% (7 дослід) – параметр оптимізації падає до 43 %. Повертаємося на позицію 6-го дослідів ($M = 29\text{ т}$) і при наступному кроці збільшуємо кількість прямих подач до **80%** - використання газового потоку поліпшується до **45%**. На 10-му кроці збільшуємо частку прямих подач без зміни маси – параметр оптимізації погіршується. Повертаємося в умови 9-го дослідів і робимо кроки зі збільшенням і зменшенням маси подачі (11, 12 дослідів). Параметр оптимізації не поліпшується. Виходить, оптимум був у 9-му досліді.

6.3. Метод дослідження функцій

Метод дослідження функцій відноситься до теоретичної оптимізації, яка припускає наявність математичної моделі процесу й обмежень, виражених у виді рівнянь або нерівностей. Ці задачі (моделі) розв'язуються і досліджуються за допомогою математичного програмування.

Математичне програмування являє собою дисципліну, що займається вивченням екстремальних задач і розробкою методів їх розв'язання [8]. Задачі, розроблені даною дисципліною, поділяються на задачі *лінійного, нелінійного, стохастичного і динамічного* програмування.

Задача лінійного програмування полягає у вивченні способів пошуку найбільшого і найменшого значень лінійної функції при наявності лінійних обмежень. Однак у металургії досить рідкі випадки процесів з лінійними зв'язками, тому розглянемо найпростіші випадки нелінійного програмування.

В основі нелінійного програмування лежать *задачі пошуку екстремуму без обмежень* (класичні задачі) і *з обмеженнями*. Задачі пошуку екстремуму без обмежень *розв'язуються за допомогою дослідження функцій на екстремум або канонічних перетворень*. Задачі пошуку екстремуму з обмеженнями *розв'язуються за допомогою методів Якобі, невизначених множників Лагранжа з обмеженнями-рівностями й умов Куна-Таккера з обмеженнями-нерівностями* [9]. Найбільш складні нелінійні задачі розв'язуються градієнтними методами, серед яких можна виділити метод *Франка-Вулфа*, коли точки, що досліджуються, не виходять за межі області припустимих рішень, та метод *Ерроу-Гурвиця* – в інших випадках.

Для ілюстрації рішення задач нелінійного програмування розглянемо найбільш простий пошук оптимуму на основі дослідження функцій без обмежень, коли екстремум знаходиться усередині факторного простору.

Екстремум параметра оптимізації відомої нелінійної моделі відшукується шляхом визначення частинних похідних кожного фактора цієї функції і прирівнювання їх до нуля:

$$\partial f / \partial x_1 = 0; \quad \partial f / \partial x_2 = 0; \quad \dots \quad \partial f / \partial x_k = 0. \quad (6.1)$$

Розв'язується система рівнянь щодо факторів x_1, x_2, \dots, x_k , величини яких і будуть координатами стаціонарної точки. Щоб визначити, який екстремум (максимум чи мінімум) знаходиться у даній точці, необхідно знайти повний диференціал другого порядку d^2f для даної точки, скласти матрицю його квадратичної форми і вирішити її. Якщо його квадратична форма негативно визначена, то має місце максимум, якщо позитивно – мінімум.

Вищезгаданий метод визначення виду екстремуму досить складний і не завжди визначений, тому найчастіше користуються більш простим емпіричним методом. Для цього координатам x_1, x_2, \dots, x_k надають невеликі довільні значення перед і після знайдених значень, розраховують і порівнюють значення функції з оптимальним у стаціонарній точці. Якщо отримані значення менше, ніж у стаціонарній точці, то має місце максимум, якщо більше – то мінімум.

У тому випадку, коли стаціонарна точка виходить за рамки факторного простору, екстремум відшукують на його границях. Якщо стаціонарна точка знаходиться усередині факторного простору, але в ній немає ні максимуму, ні мінімуму, то екстремум шукають теж на границях факторного простору. Для цього значення функції на границях досліджують на екстремум або прораховують з мінімально можливим кроком і вибирають з них самі екстремальні. У цьому випадку точність визначення екстремуму залежить від величини кроку факторів.

Наведемо приклад оптимізації математичної моделі завантаження доменної печі, отриманої раніше в розділі 5.3 (формула (5.10)):

$$\eta_3 = 43.5 + 0.917 x_1 - 0.55 x_2 - 1.11 x_1^2 - 3.21 x_2^2 - 0.325 x_1 x_2. \quad (6.2)$$

Фактори, що впливають на використання газового потоку, зазначені в стандартних одиницях:

$$x_1 = +1 \text{ (М = 30 т)}, -1 \text{ (25 т)}; \quad x_2 = +1 \text{ (}\sigma = 100\text{)}, -1 \text{ (50\%)}. \quad (6.2)$$

Візьмемо частинні похідні рівняння (6.2) за факторами і дорівнюємо їх до нуля:

$$\partial\eta/\partial x_1 = 0.917 - 2.22 x_1 - 0.325 x_2 = 0;$$

$$\partial\eta/\partial x_2 = -0.55 - 6.42 x_2 - 0.325 x_1 = 0.$$

Розв'яжемо систему рівнянь щодо значень факторів x_1 та x_2 методом підстановки й одержимо $x_1 = 0.431$, $x_2 = -0.109$. Це і є координати стаціонарної точки. Визначимо вид екстремуму простішим методом. Розрахуємо величину використання газового потоку у стаціонарній точці, для чого підставимо отримані значення факторів у формулу (6.2):

$$\begin{aligned} \eta_3 = & 43.5 + 0.917 \cdot 0.431 - 0.55 \cdot (-0.109) - 1.11 \cdot 0.431^2 - \\ & - 3.21 \cdot (-0.109)^2 - 0.325 \cdot 0.431 \cdot (-0.109) = 43.73 \%. \end{aligned}$$

Підставимо у цю ж формулу менші значення $x_1 = 0.4$; $x_2 = -0.2$:

$$\eta_3 = 43.5 + 0.917 \cdot 0.4 - 0.55 \cdot (-0.2) - 1.11 \cdot 0.4^2 - 3.21 \cdot (-0.2)^2 - 0.325 \cdot 0.4 \cdot (-0.2) = 43.69 \%,$$

і великі $x_1 = 0.5$; $x_2 = -0.1$:

$$\eta_3 = 43.5 + 0.917 \cdot 0.5 - 0.55 \cdot (-0.1) - 1.11 \cdot 0.5^2 - 3.21 \cdot (-0.1)^2 - 0.325 \cdot 0.5 \cdot (-0.1) = 43.72 \%.$$

Порівнюємо отримані значення зі значеннями у стаціонарній точці і переконуємося, що вони менші, значить у стаціонарній точці – максимум, що нам і потрібно.

Переведемо значення факторів в оптимальній точці у натуральні за формулою (5.1):

$$M = x_1 J + M_0 = 0.431 \cdot 2.5 + 27.5 = 28.58 \text{ т}, \text{ округляємо до } 29 \text{ т.}$$

$$A = x_2 J + A_0 = -0.109 \cdot 25 + 75 = 72.3 \%, \text{ округляємо до } 72\%.$$

Висновок. Для найкращого використання газового потоку у даній доменній печі необхідно залізорудну масу подачі тримати **29 т** і завантажувати **72 %** прямих подач.

7. ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Закінчивши дослідження, експериментатор, на основі аналізу отриманих даних, повинен зробити висновки і дати рекомендації, які дозволили б поліпшити технологію процесу або конструкцію агрегату і в остаточному підсумку підвищити економічність промислового об'єкта. Для цього необхідно зробити аналіз отриманих експериментальних даних, який полягає у пошуку характерних точок (екстремальні значення, точки перегину, максимальної кривизни, розриви функцій й ін.) на кривих залежності параметрів оптимізації (функції) від факторів (аргументів).

Якщо досліджуваний процес описаний у виді ряду рівнянь (математичною моделлю), то їх можна використовувати для визначення параметрів оптимізації при будь-якому наборі значень факторів у досліджуваних межах. Для цього необхідно чисельно розрахувати модель. Але часто математичні моделі мають вид трансцендентних або досить складних алгебраїчних ви-

ражень, які не піддаються точному аналітичному рішення. У цьому випадку застосовуються методи *наближеного рішення рівнянь*.

7.1. Методи розрахунку нелінійних математичних моделей

Розглянемо найбільш прості і розповсюджені методи – *Ньютона, графічний та ітерацій* [10].

Як приклад розглянемо просте кубічне рівняння

$$x^3 + 3x^2 + 2x - 13 = 0. \quad (7.1)$$

Це рівняння хоч і має рішення за формулою Кардано, але воно досить складне, має кілька коренів, а іноді може не мати дійсних коренів. Тому тут краще користуватися наближеними методами рішення.

Метод Ньютона заснований на послідовній підстановці значень шуканої величини у наступну формулу, отриману Ньютоном:

$$x_{n+1} = x_n - f(x_n) / df(x_n), \quad (7.2)$$

причому перше значення x вибирається будь-яке, але близьке за технологічним змістом.

Наприклад, $x_0 = 1$, отже

$$\begin{aligned} x_1 &= x_0 - (x_0^3 + 3x_0^2 + 2x_0 - 13) / (3x_0^2 + 6x_0 + 2) = \\ &= 1 - (1^3 + 3 \cdot 1^2 + 2 \cdot 1 - 13) / (3 \cdot 1^2 + 6 \cdot 1 + 2) \approx 1.64. \end{aligned}$$

Тепер у формулу (7.2) підставляємо отриманий результат x_1 :

$$x_2 = 1.64 - (1.64^3 + 3 \cdot 1.64^2 + 2 \cdot 1.64 - 13) / (3 \cdot 1.64^2 + 6 \cdot 1.64 + 2) \approx 1.5.$$

Перевірку результату зробимо підстановкою отриманого результату у вихідну формулу (7.1). Результат – 0.125 із прийнятною помилкою 1%. Якщо така помилка нас не влаштовує, то розрахунки можна продовжити. Як правило, прийнятний (за точністю) результат за методом Ньютона виходить після третього розрахунку.

Графічний метод заснований на розрахунку не менше трьох точок значення функції у всьому технологічному діапазоні зміни фактора x . Отже, припустимо, що фактор x у рівнянні (7.1) змінюється від 0 до 2. Підставляємо послідовно у рівняння замість x цифри 0, 1 і 2. Отримані значення функції $f(x) = -13, -7$ та 11 наносимо на графік (див. рис. 7.1) у координатах $f(x) \rightarrow x$.

З'єднуємо точки графіка плавною лінією. Місце перетинання осі абсцис кривою є рішенням даного рівняння. Бачимо, що крива перетнула ось іксів на значенні $x = 1.5$.

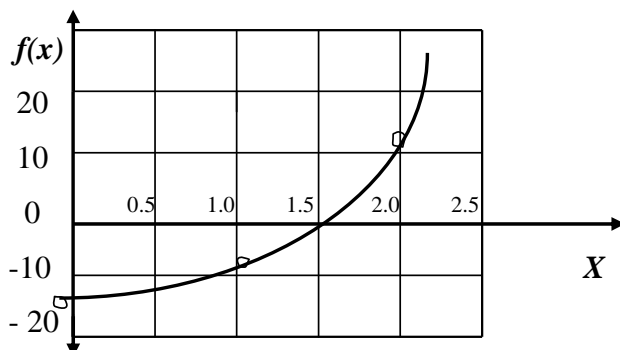


Рис. 7.1. Графік функції $f(x)$ у залежності від шуканої величини x .

Ітераційний метод заснований на звичайному підборі значень x до одержання результату з необхідною точністю. Цей метод іноді називають методом підгонки.

Ітерація (від лат. iteratio – повторення) – повторне застосування будь-якої математичної операції.

Отже, підставимо у рівняння (7.1) послідовно найпростіші цифри (для зручності розрахунку) замість фактора x , наприклад: **0, 1, 2**. Отримаємо результати відповідних значень функції: $f(x) = -13, -7, 11$. Оскільки результат функції дорівнює нулю, при правильному значенні фактора x , то правильний результат лежить приблизно посередині між значеннями функції -7 та 11 , тобто між значеннями фактора 1 і 2 відповідно. Візьмемо посередині **1,5** і перевіримо результат розрахунком за вихідною формулою (7.1). Результат близький до нуля (0.125) з мінімальною помилкою. Якщо необхідний більш точний результат, то процедуру підбору можна продовжити, орієнтуючись на знак кінцевого результату.

Необхідно відзначити, що програми розв'язання будь-яких рівнянь на ЕОМ надруковані у спеціальній літературі [11].

7.2. Аналіз математичних моделей

Отримана математична модель дозволяє зробити ряд важливих технологічних висновків. Величина коефіцієнтів регресії при факторах відповідає внеску кожного з них у параметр оптимізації. Це дозволяє зробити ранжировку ступеня впливу факторів на процес. Знаки плюс або мінус при факторі означають, що з його збільшенням параметр оптимізації відповідно збільшується або зменшується. Знаки при квадратичних членах полінома свідчать про опуклість чи увігнутість кривої, а величини коефіцієнтів регресії – про радіус кривизни.

При графічному аналізі рівняння криві зміни параметра оптимізації будують у залежності від кожного окремого фактора за інших рівних умов. За наявним поліномом підраховують параметр оптимізації при зміні одного фактора в межах області визначення, інші фактори фіксують звичайно на нульовому рівні.

Графічний аналіз дозволяє наочно встановити ступінь впливу кожного фактора на параметр оптимізації, інтервал його застосування у технології, а також намітити характерні точки на кривих.

Як приклад візьмемо математичну модель (6.2). Зафіксуємо значення x_2 на середньому (нульовому) рівні, а фактору x_1 послідовно надамо значення $-1, 0, +1$. Тепер зафіксуємо значення x_1 на середньому (нульовому) рівні, а фактору x_2 послідовно надамо значення $-1, 0, +1$. Накреслимо графік кривих впливу маси подачі і кількості прямих подач на використання газового потоку (рис. 7.2.).

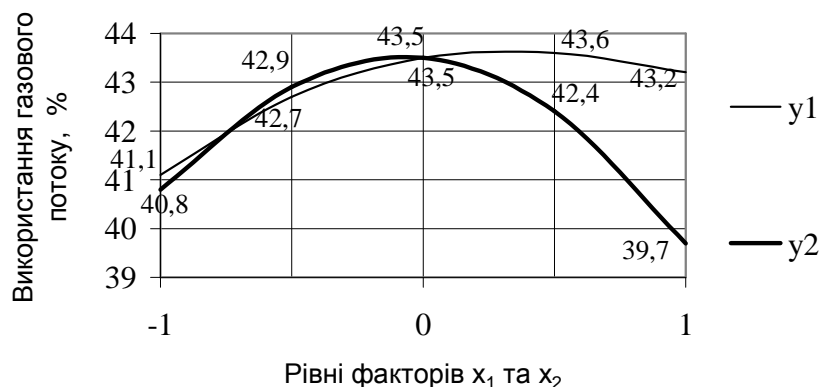


Рис. 7.2. Графік залежності використання газового потоку $\eta_{co}(y_1, y_2)$ від маси подачі x_1 ($M = 25-30 \text{ т}$) та кількості прямих подач x_2 ($A = 50-100 \%$) для доменної печі об'ємом $V_n = 2000 \text{ м}^3$.

З графіка видно, що зі збільшенням маси подачі (крива y_1) приблизно до 29 т ($x_1 \approx 0.4$), ступінь використання газового потоку росте від 41 % до 43.7 %. Далі помітна тенденція спаду до 43.2 %. Отже, у цих шихтових умовах збільшувати масу подачі нерационально. Збільшення кількості прямих подач (крива y_2) рационально приблизно до 70–73 %, оскільки далі йде різкий спад використання газового потоку від 43.5 % до 39.7 %. Таким чином, судячи з графіка, рациональними параметрами завантаження можна вважати масу подачі **28.5–29 т** і кількість прямих подач у циклі **70–73 %**, що призведе до максимально можливого використання газового потоку **43.5–43.8%**. Відзначимо, що це відповідає попереднім даним, отриманим у результаті оптимізації (див. п.п. 6.2, 6.3).

Для визначення оптимальних величин факторів креслять графіки двовимірних перетинів відгуку. Двовимірні перетини дозволяють наочно і досить точно визначити оптимальну область процесу, який досліджується (дивися, наприклад, мал. 6.1). Для одержання їх за наявним поліномом підраховують параметри оптимізації, що відповідають двом обраним факторам на всіх рівнях. Отримані параметри наносять на координатну сітку й однакові значення перетинів з'єднують плавними лініями.

8. ОФОРМЛЕННЯ І ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НДР

8.1. Звіт про НДР

Матеріали дослідження оформляють у вигляді звіту, що є офіційним документом, який відтворює обсяг виконаної роботи й отримані дані. У звіті варто об'єктивно відбити як позитивні, так і негативні результати. Пояснити їх з позицій теорії, технології, організації виробництва і т.п.

Звіт про НДР повинен бути оформлений за існуючими стандартами. У ньому вичерпно, але лаконічно викладають техніко-економічне обґрунтування проведених досліджень, методику їх виконання, методи обробки отриманих даних. Описують експерименти і їхні результати. Роблять ґрунтовні висновки й рекомендації. Визначають зміни технологічних режимів і устаткування, необхідне для їх реалізації. Розраховують очікуваний економічний ефект від впровадження у виробництво результатів досліджень.

У звіт про НДР необхідно включити:

- титульний лист, список виконавців, реферат, зміст, перелік умовних позначок;
- вступ;
- основну частину;
- висновок;
- список використаної літератури;
- додатки (таблиці, графіки, протоколи, математичні розрахунки тощо).

Звіт затверджують організації виконавців та замовника. Перед затвердженням він обговорюється на науково-технічних радах виконавця і замовника.

8.2. Публікація наукових матеріалів

За результатами досліджень публікуються монографії і статті у науково-технічних журналах. Виступають з доповідями на конференціях і нарадах, у яких висвітлюються найбільш важливі, нові, на думку авторів, дані.

Звичайно структура статті складається з наступних частин:

- постановка задачі та оцінка її актуальності, пов'язаної з потребами практичного використання;

- опис методики досліджень та обробки результатів, де варто вказати точність даних, які одержали, і оцінити похибки методики;
- отримані результати та їх аналіз, представлені у вигляді графіків і таблиць;
- порівняння з даними теоретичного аналізу і дослідженнями інших авторів;
- висновки та рекомендації.

Бажано, щоб результати експерименту були описані математичними або логічними співвідношеннями (математичними моделями). Якщо математичні моделі отримані методами математичної статистики, необхідно вивчити і відзначити в статті питання адекватності моделей (коефіцієнти кореляції, надійності й ін.), а також область їх застосування. До статті додається список використаної літератури, оформлений відповідно до вимог стандарту.

У ході досліджень часто з'являються нові наукові і технічні рішення, реалізація яких може призвести до створення винаходів. **Винаходом** вважається нове технічне рішення задачі, яке володіє істотними відмінностями від існуючих у будь-якій галузі народного господарства, соціально-культурного будівництва або оборони країни, що дає позитивний ефект. Об'єктом винаходу можуть бути: пристрій; спосіб (вирішення будь-якої проблеми чи задачі); речовина або винахід «на застосування», що припускає використовувати відомий об'єкт у нових умовах або застосувати за новим призначенням. У теорії патентознавства кожний з перерахованих об'єктів має чітко визначені ознаки.

8.3. Приймання і впровадження результатів НДР

Приймання і передача для впровадження закінчених НДР – завершальний етап, на якому вирішується питання про використання наукових розробок у сфері матеріального виробництва.

Можливі форми завершення НДР регламентовані державним стандартом:

- розробка наукових основ, нових методів і принципів дослідження, наукових даних про нові процеси і явища, їх якісні і кількісні характеристики;
- розробка нових стандартів, норм, методик, інструкцій і інших керівних матеріалів;

- розробка нових технологічних процесів, режимів, складання технічних завдань;
- створення лабораторних і дослідних зразків, одержання нових продуктів та їх дослідження;
- одержання інших позитивних результатів.

Рішення про доцільність створення і впровадження нової технології приймається на основі розрахованого *річного економічного ефекту*, що являє собою сумарну економію усіх виробничих ресурсів (живої праці, матеріалів, капітальних вкладень), яку одержить народне господарство (чи хазяїн) у результаті використання і виробництва нової техніки, що в кінцевому рахунку виражається у збільшенні національного доходу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Организация эксперимента: Учебное пособие / В.И. Баптизманский, Ю.Н. Яковлев, Ю.С. Паниотов и др. – К.: УМК ВО, 1992. – 244 с.
2. Зельдович Я.Б., Мышкис А.Д. Элементы прикладной математики. – М.: Наука, 1967. – 648 с.
3. Ковшов В.Н. Постановка инженерного эксперимента. – К.: Вища школа, 1982. – 120 с.
4. Ковшов В.Н., Петренко В.А., Верещак В.И. Моделирование доменного процесса. – Днепропетровск: Институт технологий, 1997. – 109 с.
5. Коробов В.И. Статистические исследования доменного процесса. – М.: Металлургия, 1977. – 184 с.
6. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. – М.: Наука, 1980. – 536 с.
7. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей. Справочное издание / В.З. Бродский, Д.И. Бродский, Т.И. Голикова и др. – М.: Металлургия, 1982. – 752 с.
8. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах. – М.: Высшая школа, 1986. – 536 с.
9. Таха Х. Введение в исследование операций: в 2 т. Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 496 с.
10. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. – М.: Наука, 1966. – 664 с.
11. Дьяконов В.П. Справочник по MathCAD 7.0 Pro. – М.: СК Пресс, 1988. - с.

Навчальне видання

Ковшов Володимир Миколайович

ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Конспект лекцій

Тем. план 2005, поз. 2

Редактор О.І.Лук'янець

Підписано до друку 22.02.04. Формат 60х84 $\frac{1}{16}$. Папір друк. Друк плоский.
Обл.-вид. арк. 2,47. Умов. друк.арк. 2,44. Тираж 50 пр. Замовлення №

Національна металургійна академія України
49600, Дніпропетровськ - 5, пр. Гагаріна, 4

Редакційно-видавничий відділ НМетАУ