

## Л. № 2

# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### План викладу матеріалу

- 2.1. Експеримент як спосіб створення бази даних
- 2.2. Основні питання методології експериментальних досліджень
- 2.3. Розробка план-програми експерименту

#### 2.1. Експеримент як спосіб створення бази даних

Більшість досліджень проводять з метою встановлення за допомогою експерименту функціональних або статистичних зв'язків між декількома величинами або для розв'язання експериментальних задач. Класичний метод постановки експерименту передбачає фіксацію на прийнятих рівнях всіх перемінних факторів, окрім одного, значення якого певним чином змінюють в області його існування. Цей метод становить основу *однофакторного експерименту*. При однофакторному експерименті змінюючи один фактор і стабілізуючи усі інші на вибраних рівнях, знаходять залежність величини, що досліджується тільки від одного фактору. Проводячи велике число однофакторних експериментів при вивченні багатфакторної системи, отримують окремі залежності, які представляються багатьма графіками, що мають ілюстративний характер. Знайдені таким чином окремі залежності неможливо об'єднати в одну спільну. Таким чином, виникає потреба у *багатфакторному експерименті*.

Використання однофакторного експерименту для всебічного дослідження багатфакторного процесу вимагає проведення дуже великої кількості експериментів. Для їх виконання вимагається значний час, на протязі якого вплив факторів, що не контролюються на результати дослідження може суттєво змінитись. У наслідок цієї причини велику кількість експериментів неможливо співставити. Отже, результати отримані при однофакторному експерименті багатфакторних систем, часто малопридатні для практичного використання. Зокрема, при розв'язанні екстремальних задач дані значної кількості досліджень стають непотрібними, так як отримані для області, далекої від оптимуму. Для вивчення багатфакторних систем найбільш доцільним є використання статистичних методів планування експерименту. Під плануванням експерименту розуміють процес визначення числа і умов проведення досліджень, необхідних і достатніх для розв'язування поставленої задачі з точністю, яка вимагається. Планування експерименту – це новий розділ математичної статистики.

Ефективність використання статистичних методів планування експерименту при дослідженні технологічних процесів пояснюється тим, що багато важливих характеристик цих процесів є випадковими величинами, розподіл яких близько відповідає нормальному закону.

Характерними особливостями процесу планування експерименту є прагнення мінізувати число досліджень; одночасне варіювання всіма факторами, що досліджуються за спеціальними правилами – алгоритмам; використання математичного апарату, формалізуючого більшість дій дослідника; вибір стратегії, яка дозволяє приймати обґрунтовані рішення після кожної серії експериментів.

У процесі синтезу математичних моделей об'єктів дослідження на стадії їх ідентифікації виникає необхідність у поточній інформації про чисельні значення вхідного і вихідного

сигналів цих об'єктів, яку можна отримати або заміряти і зафіксувати фізичні носії цих сигналів протягом якогось відрізка часу, не втручаючись у процес функціонування об'єкта, або подаючи на об'єкт вхідні сигнали певної, заздалегідь обумовленої форми, а також, заміряючи і фіксуючи реакцію об'єкта на ці «рукотворні» сигнали.

У першому випадку прийнято говорити, що на об'єкті дослідження було поставлено *пасивний експеримент*, а у другому випадку говорять про *активний експеримент*.

Очевидно, що пасивний експеримент є більш дешевим у порівнянні з активним і об'єкт дослідження не впливає на випуск готової продукції, але інформація, яка добувається з його допомогою, має звужений діапазон і не дає впевненості, що математичні моделі, отримані з її використанням, залишаться адекватними процесам в об'єкті і за межами цього діапазону.

Що ж до активного експерименту, то у зв'язку з необхідністю отримання інформації про реакцію об'єкта на вхідний сигнал заданої форми, чого не можна досягти, попередньо не відключивши об'єкт, а також у зв'язку з необхідністю вимірювання і фіксації перехідних процесів від пуску об'єкта до його виходу на заданий режим, такий експеримент буде коштувати дорожче у порівнянні з пасивним експериментом, а частина продукції об'єкта, отриманої під час активного експерименту, не відповідатиме критеріям якості. Однак інформація, яка отримується в процесі активного експерименту, має набагато ширший, а часто і максимально допустимий діапазон значень, на якому ґрунтується впевненість у тому, що математичні моделі, отримані з її використанням, залишаться адекватними процесам в об'єкті в усьому діапазоні функціонування цього об'єкта, починаючи від його включення в роботу і завершуючи режимами над номінальним у допустимих з позицій безпеки межах.

Що ж до *етапів постановки експерименту* для створення бази даних, то, вони є такими:

1 етап – це визначення цілеспрямованості експерименту та необхідності формування спеціальних зовнішніх впливів на об'єкт дослідження, тобто чи достатньо лише пасивно спостерігати за процесами, які нас цікавлять, чи потрібно активно впливати на ці процеси;

2 етап – це розробка плану проведення експерименту;

3 етап – це формування вимог до засобів вимірювання параметрів об'єктів і процесів при експериментальному дослідженні та вибір цих засобів;

4 етап – це безпосереднє проведення експерименту на об'єкті дослідження і фіксація його результатів;

5 етап – це обробка результатів експерименту.

На перших двох та четвертому етапах їх зміст визначається лише після конкретизації об'єкта дослідження і визначення мети, а тому кожному досліднику зміст цих етапів для експериментального створення бази даних доводиться визначати самотійно, виходячи з того, яка база даних потрібна і для чого.

## **2.2. Основні питання методології експериментальних досліджень**

Розрізняють експерименти *природні* і *штучні*. **Природні** експерименти характерні для соціальних явищ (соціальний експеримент) в умовах, наприклад, виробництва, побуту і т.п. **Штучний** експеримент широко застосовується у багатьох галузях, і в першу чергу у технічних науках. У цьому випадку вивчають явище, ізольоване до необхідного ступеня, щоб оцінити його в кількісних і якісних відносинах. Іноді виникає необхідність провести *пошукові експериментальні дослідження*. Вони необхідні у тому випадку, якщо важко класифікувати всі

фактори, що впливають на явище, яке вивчається, внаслідок відсутності достатніх попередніх даних. На основі попереднього експерименту будується програма досліджень у повному обсязі.

Експериментальні дослідження поділяють на *лабораторні* і *виробничі*.

**Лабораторні** досліди проводять із застосуванням типових приладів, спеціальних моделюючих установок, стендів, устаткування і т.д. Ці дослідження дозволяють найбільш повно і доброякісно з необхідною повторюваністю вивчити вплив одних характеристик при варіюванні інших. Лабораторні досліди при достатньо повному науковому обґрунтуванні експерименту (математичне планування) дозволяють одержати гарну наукову інформацію з мінімальними витратами. Проте такі експерименти не завжди повністю моделюють реальний хід процесу, що вивчається, тому виникає потреба у проведенні виробничого експерименту.

**Виробничі** експериментальні дослідження мають на меті вивчити процес в реальних умовах з урахуванням дії різних випадкових чинників виробничого середовища.

Такі експерименти проводять на об'єктах, що будуються, заводах, експлуатованих дорогах, будівлях і спорудах. Внаслідок, як правило, громіздкості досліду потрібне особливо ретельне продумане планування експерименту. Важливу роль виконує обґрунтування мінімальної потрібної кількості вимірювань.

Одним з різновидів виробничих експериментів є збирання матеріалів в організаціях, які накопичують за стандартними формами ті або інші дані. Цінність цих матеріалів полягає у тому, що вони систематизовані впродовж багатьох років єдиною методикою. Такі дані добре піддаються обробці методами статистики і теорії вірогідності.

У ряді випадків виробничий експеримент ефективно проводити методом анкетування. Для процесу, що вивчається, складають ретельно продуману методику. Основні дані збирають методом досліду виробничих організацій за задалегідь складеною анкетною. Цей метод дозволяє зібрати дуже велику кількість даних спостережень або вимірювань щодо питання, яке вивчається. До результатів анкетних даних потрібно відноситися з особливою ретельністю, оскільки вони не завжди містять достатньо надійні дані. Особливу роль тут відіграє метод статистичного чищення вимірювань.

Виробничі експериментальні дослідження можуть бути замінені дослідженнями на спеціальних стендах: стендові випробування дозволяють виконувати дослідження без порушення технологічного виробничого ритму, що підвищує ефективність використання вживаного в експерименті обладнання, машин і приладів.

Залежно від теми наукового дослідження обсяг експериментів може бути різним. У кращому випадку для підтвердження робочої гіпотези досить лабораторного експерименту, в гіршому – доводиться проводити серію експериментальних досліджень: попередні (пошукові), лабораторні, стендові на експлуатованому об'єкті.

У ряді випадків на експеримент витрачається багато засобів, науковець проводить величезну кількість спостережень і вимірювань, отримує безліч діаграм, графіків, виконує невиправдано велику кількість випробувань. На обробку і аналіз такого експерименту витрачається багато часу. Іноді виявляється, що виконано багато зайвого, непотрібного. Все це можливо, коли експериментатор чітко не обґрунтував мету і завдання експерименту. У інших випадках результати тривалого великого експерименту неповністю підтверджують робочу гіпотезу наукового дослідження. Як правило, це також властиво для експерименту, чітко не обґрунтованого метою і завданнями. Тому, перш ніж розпочати експериментальні дослідження, необхідно розробити методологію експерименту.

**Методологія експерименту** – це загальні принципи, структура експерименту, його поставлення і послідовність виконання експериментальних досліджень. Методологія експерименту передбачає такі основні етапи:

- розроблення плану-програми експерименту;
- оцінку вимірювань і вибір засобів для проведення експерименту;
- проведення експерименту;
- обробку і аналіз експериментальних даних, встановлення адекватності.

Наведена кількість етапів справедлива для традиційного експерименту. Разом з цим широко застосовують математичну теорію експерименту, що дозволяє різко підвищити точність і зменшити обсяг експериментальних досліджень. У цьому випадку методологія експерименту включає такі етапи:

- розроблення плану-програми експерименту, оцінку вимірювань і вибір засобів для проведення експерименту, математичне планування експерименту з одночасним проведенням експериментального дослідження, обробкою і аналізом отриманих даних.

Таким чином, дослідження об'єкту складається з циклів, що повторюються, при цьому від циклу до циклу росте об'єм знань про об'єкт, а гіпотези, що висуваються все більше наближаються до реальності.

Формулювання мети експерименту (поставка задачі) – важливий і часто найбільш творчий етап в діяльності експериментатора або розробника нової техніки і технології. Саме мета визначає план проведення експерименту і спосіб обробки отриманих результатів, а також їх використання для прийняття рішення.

Головна мета, яка ставиться перед експериментальними дослідженнями, включає побудову математичної моделі об'єктів, інакше ідентифікацію цих об'єктів.

Унаслідок розвитку методів систем на основі побудови їх математичної моделі в останні роки здійснюється все більш тісний зв'язок теоретичних досліджень з експериментальними, інакше *розвиваються комбіновані експериментально-теоретичні методи дослідження*. Математична модель у цьому випадку виступає ланкою, яка поєднує теоретичні і експериментальні дослідження.

До числа спеціальних експериментальних методів відносяться також методи, які проводяться за допомогою ЕОМ, так зване імітаційне моделювання (обчислювальний експеримент), інакше моделювання, яке відтворює за спеціальною програмою близьку до реальності картину роботи об'єкта.

### **2.3. Розробка план-програми експерименту**

Задача планування експерименту полягає в установленні мінімально необхідної кількості досліджень і умов їх проведення, у виборі методів математичної обробки результатів експерименту і прийнятті рішення. Планування експерименту значно скорочує число досліджень, необхідних для того, щоб отримати модель процесу. Окремим випадком планування експерименту є планування самого експериментального дослідження, інакше процесу з вибору числа мінімально необхідних експериментів та умов для їх проведення за допомогою методи Бокса-Уілсона, який має назву «метод крутого сходження».

Метод Бокса-Уілсона передбачає проведення досліджень невеликими серіями. У кожній серії одночасно варіюють усі фактори за визначеними правилами. Дослідження проводять так, щоб після математичної обробки результатів попередньої серії можна було б спланувати наступну серію досліджень.

План-програма включає:

- найменування теми дослідження;
- робочу гіпотезу;
- методику експерименту;
- перелік необхідних матеріалів, приладів, установок;
- список виконавців експерименту;
- календарний план робіт;
- мету на виконання експерименту.

У ряді випадків включають роботи з конструювання і виготовлення приладів, апаратів, пристосувань, методичне їх обстеження, а також програми досвідчених робіт на заводах і т.п.

Основу плану-програми складає **методика експерименту**. *Методика* є системою прийомів або способів для послідовного, найефективнішого експериментального дослідження і містить:

- мету і завдання експерименту;
- вибір варіюючих чинників;
- обґрунтування засобів і потрібної кількості вимірювань;
- опис проведення експерименту, обґрунтування способів обробки і аналізу результатів експерименту.

**Визначення мети і завдань експерименту** – один з найважливіших етапів. На основі аналізу інформації, гіпотези і теоретичних розробок обґрунтовують мету і завдання експерименту. Вся наукова інформація дозволяє у тому або іншому ступені робити висновок про очікувані закономірності процесу, що вивчається, а отже, і визначити завдання експерименту. Чітко, конкретно обґрунтовані завдання – це великий внесок в їх рішення. Кількість завдань не повинна бути дуже великою (3-4 завдання), у великому дослідженні їх може бути 8-10.

**Вибір варіюючих факторів** – це встановлення основних і другорядних характеристик, що впливають на досліджуваний процес. Спочатку аналізують розрахункові (теоретичні) схеми процесу. На основі цього класифікують всі фактори і складають з них убуваючий по важливості для даного експерименту ряд. Правильний вибір основних і другорядних факторів виконує важливу роль в ефективності експерименту, оскільки експеримент зводиться до знаходження залежностей між цими факторами. В окремих випадках відразу складно виявити роль основних і другорядних факторів. При цьому необхідно виконати невеликий за обсягом попередній пошуковий дослід.

Основним принципом встановлення ступеня важливості характеристики є її роль у досліджуваному процесі. Для цього вивчають процес залежно від якоїсь однієї змінної при решті постійних. Такий принцип проведення експерименту виправдовує себе тільки у тих випадках, коли змінних характеристик мало (1-3). Якщо ж змінних величин багато, доцільний принцип аналізу **багаточинника** (багатофакторний аналіз)

**Обґрунтування засобів вимірювань** – це вибір необхідних для спостережень і вимірювань приладів, устаткування, машин, апаратів та ін. Експериментатор повинен бути добре ознайомлений з вимірювальною апаратурою, що випускається. Щорічно видаються каталоги на засоби вимірювання, за якими можна замовити ті, що випускаються приладобудуванням, або інші засоби вимірювань. У першу чергу використовують стандартні. Серійно випускаються машини і прилади, робота на яких регламентується інструкціями, державними стандартами та іншими офіційними документами.

В окремих випадках виникає потреба у створенні унікальних приладів, апаратів, установок, стендів, машин для розроблення теми. При цьому розроблення і конструювання приладів інших засобів повинні бути ретельно обґрунтовані теоретичними розрахунками і практичними міркуваннями про можливість виготовлення устаткування. Створюючи нові прилади, необхідно використовувати готові вузли або реконструювати існуючі прилади.

Дуже відповідальною частиною є *встановлення точності вимірювань і похибок*. Методи вимірювань повинні базуватися на законах спеціальної науки – метрології, що вивчає засоби і методи вимірювань.

При експериментальному дослідженні одного і того ж процесу (спостереження і вимірювання) повторні показники на приладах, як правило, не однакові. Відхилення пояснюються різними причинами – неоднорідністю властивостей тіла (метал, полімер, композит тощо), що вивчається, недосконалістю приладів і класом їх точності, суб'єктивними особливостями експериментатора та ін. Чим більше випадкових факторів, що впливають на дослід, тим більше відхилення окремих вимірювань від середнього значення, що вимагає повторних вимірювань, отже, необхідно дати їх потрібну мінімальну кількість. *Під потрібною мінімальною кількістю вимірювань* розуміють таку їх кількість, яка в даному досліді забезпечує стійке середнє значення вимірюваної величини, що задовольняє заданий ступінь точності. Встановлення потрібної мінімальної кількості вимірювань має велике значення, оскільки забезпечує отримання найоб'єктивніших результатів при мінімальних витратах часу засобів.

У методиці детально проектують процес проведення експерименту. Спочатку складають послідовність (черговість) проведення операцій вимірювань і спостережень. Потім ретельно описують кожну операцію окремо з урахуванням вибраних засобів для проведення експерименту. Велику увагу надають методам контролю якості операцій, що забезпечують при мінімальній (раніше встановленій) кількості вимірювань високу надійність і задану точність. Розробляють форми журналів для запису результатів спостережень і вимірювань.

Важливим розділом методики є вибір методів обробки і аналізу експериментальних даних. Обробка даних зводиться до систематизації всіх цифр, класифікації, аналізу. Результати експериментів повинні бути зведені в легкі для читання форми запису – таблиці, графіки, формули, номограми, що дозволяють швидко зіставляти одержані результати.

Особлива увага в методиці повинна бути надана математичним методам обробки і аналізу досліджуваних даних – встановленню емпіричних залежностей, апроксимації зв'язків між варійованими характеристиками, знаходженню критеріїв і довірчих інтервалів та ін. Далі визначають обсяг і трудомісткість експериментальних досліджень, які залежать від глибини теоретичних розробок, ступеня точності прийнятих засобів вимірювань. Чим чіткіше сформульована теоретична частина дослідження, тим менше обсяг експерименту.

Можливі три випадки результатів проведення експерименту:

1 – *Теоретично одержана аналітична залежність, яка однозначно визначає досліджуваний процес.*

Наприклад,  $y = 3e^{-2x}$ .

У цьому випадку обсяг експерименту для підтвердження даної залежності мінімальний, оскільки функція однозначно визначається експериментальними даними.

2 – *Теоретичним шляхом встановлений тільки характер залежності.*

Наприклад,  $y = ae^{-bx}$ .

У цьому випадку задана сім'я кривих. Експериментальним шляхом необхідно визначити  $a$  і  $b$ . При цьому обсяг експерименту зростає.

3 – *Теоретично не вдалося одержати яких-небудь залежностей.* Розроблені тільки припущення про якісні закономірності процесу.

У багатьох випадках доцільний пошуковий експеримент. Обсяг експериментальних робіт зростає. Тут доречний *метод математичного планування експерименту*. На обсяг і трудомісткість істотно впливає вид експерименту. Після встановлення обсягу експериментальних робіт складають перелік необхідних засобів вимірювань, обсяг матеріалів, список виконавців, календарний план і кошторис витрат. План-програму розглядає науковий керівник, а також обговорюють у науковому колективі і затверджують в установленому порядку.