

Практичне заняття 2.

Основні поняття планування та методологія експерименту. Планування експерименту з ціллю опису дослідного об'єкту

Мета роботи: Вивчити основні поняття у області планування експерименту. Освоїти методику складання плану-програми експерименту.

1. Теоретичні пояснення

Планування експерименту в широкому сенсі цього слова – основа життєдіяльності людини. На першій стадії внаслідок розумової діяльності виникають *ідеї, задуми*, будуються *гіпотези*, зважуються різні *варіанти* втілення задуманого (рис. 1).



Рис. 1 – Схема “чорної скрині”

На другій стадії здійснюється *експериментальна перевірка*, втілення ідей в деякий продукт. Експериментальна перевірка може здійснюватися як на кінцевому продукті, так і на його зменшеній або збільшеній фізичній моделі.

Експериментальній перевірці передуює власне планування експерименту, яке включає наступні пункти:

- обґрунтування, розуміння факту необхідності експерименту.
- вибір факторів і рівнів
- вибір змінної відгуку для оптимізації
- вибір плану (числа реплік, способу рандомізації)
- власне експеримент

На третій стадії відбувається осмислення, оцінка виробленого продукту, а з погляду планування експерименту відбувається аналіз даних експерименту і формулювання висновків і рекомендацій.

Таким чином, в широкому сенсі планування експерименту – один з стародавніх і фундаментальних видів наукової діяльності.

Основна *мета планування експерименту* – це пошук найкращого, оптимального в деякому розумінні рішення.

Формалізація мети планування виражається у вигляді деякої функції, яку називають *цільовою функцією*.

Побудова цільової функції найбільш відповідальний і найбільш важкий момент всього процесу планування. Коли вона побудована, то діє строгий математичний *алгоритм пошуку екстремуму*.

При побудові ж самої функції потрібна широка науково-технічна обізнаність в даній області. Так, наприклад, при проектуванні якої-небудь споруди для складання цільової функції необхідно брати до уваги технічні, технологічні, техніко-економічні, екологічні, естетичні і багато інших аспекти, зв'язані з використанням споруди.

Експеримент – (від латинського *experimentum* – проба, дослід).

У словнику Іноземних Слів дається таке визначення:

експеримент – науково поставлений дослід, спостереження досліджуваного явища в умовах, що точно враховуються, дозволяють стежити за ходом явища і *відтворювати* його кожного разу при повторенні цих умов.

Саме властивість відтворення — *відтворюваності* експерименту лежить в основі алгоритму планування.

Техніка планування: на кожному кроці ставиться невелика серія дослідів, в кожному з яких варіюються за певними правилами всі фактори. Математична обробка результатів експерименту дозволяє виробити умови проведення такої серії дослідів, направлених до досягнення оптимуму.

Експеримент може бути *фізичним і модельним*.

Фізичний експеримент – це реальний експеримент на устаткуванні з речовинними матеріалами. Це найбільш трудомісткий, енергоємний і дорогий вид діяльності. Планування експерименту зароджувалося і розвивалося до таких областей діяльності як металургія, хімічна промисловість, харчова промисловість, транспорт.

Модельний експеримент може бути трьох типів:

- він може бути фізичним. В цьому випадку модель може відрізнитися від об'єкту масштабом і, можливо, природою;
- модель може бути абстрактною психологічною, неформалізованою на рівні логічного мислення. Це найвитонченіша модель;
- модель може бути формалізованою математичною.

Щоб, експериментуючи на абстрактній моделі, одержувати правильні відомості про об'єкт дослідження потрібно побудувати досить точну модель. А оскільки принципово неможливо точно описати всі можливі зовнішні впливаючі фактори на процес функціонування об'єкту дослідження, то модель описується імовірнісний, статистично.

В основному планування експерименту застосовується в областях, де без фізичного моделювання не обійтися: у хімічній, харчовій промисловості, металургії і т.п.

Планування експерименту може служити основою для моделювання процесів, систем, технологічних апаратів, природних і техногенних явищ і ситуацій тощо. Моделювання супроводжує природоохоронні спеціальності постійно. Це і підбір дози необхідного реагенту в лабораторних умовах для реальних виробничих установок або технологічних ліній, і перевірка режиму

роботи пілотної установки на модельних розчинах води, і вибір оптимальних систем водовідведення в умовах невизначеності, і прогностичні розрахунки стану навколишнього середовища. Для цього необхідна наявність *математичного опису об'єкту* проектування, або математичної моделі, покладеної в основу комп'ютерної моделі на відповідній мові програмування.

Така модель повинна відображати функціональну взаємодію елементів і їх сполучень, просторові зв'язки і розташування.

Застосування планування експерименту, поза сумнівом, організує і оптимізує діяльність експериментатора.

Окрім основної задачі – отримання оптимального рішення, планування експерименту дозволяє розв'язати такі задачі:

- пошук оптимальних умов;
- побудова інтерполяційних формул;
- вибір суттєвих факторів;
- оцінка і уточнення констант теоретичних моделей;
- вибір допустимої гіпотези про механізм явища.

Експеримент, який ставиться для вирішення задач оптимізації, називається *екстремальним*, оскільки пов'язаний з пошуком екстремуму деякої функції.

Планування експерименту – це процедура вибору числа і умов проведення дослідів, необхідних і достатніх для вирішення поставленої задачі з необхідною точністю.

Особливості планування експерименту:

- прагнення до мінімізації загального числа дослідів;
- одночасне варіювання всіма змінними, що визначають процес, за спеціальними правилами – алгоритмам;
- вибір чіткої стратегії, що дозволяє ухвалювати обґрунтовані рішення після кожної серії експериментів.

2. Об'єкт дослідження.

Для конструктора об'єкт дослідження – це створена їм абстрактна модель сконструйованого приладу, всі функціональні зв'язки між елементами якого описані, тобто відомі. З погляду процедури планування експерименту.

Об'єкт дослідження – це “чорна скриня” з кінцевим числом входів і виходів. Входи “чорної скрині” називають *факторами* (дія на процес), виходи *відгуками* (результати роботи процесу).

Кожен відгук є функція k -змінних – факторів

$$y_i = f(x_1, x_2, \dots, x_k).$$

Функція f називається функцією відгуку. Це може бути детермінована або статистична функція залежно від властивостей об'єкту дослідження.

Об'єкт може бути описаний або безпосередньо сукупністю функцій відгуку, або системою рівнянь: лінійних, нелінійних, диференціальних, інтегральних, інтегро-диференціальних. При цьому функції відгуку можуть в

явному вигляді і не існувати, але у будь-якому випадку модель об'єкту повинна містити явно або неявно *непорожню безліч рішень* у вигляді функцій відгуку.

Кількісна характеристика функції відгуку, вибрана як мета екстремального експерименту, називається параметром оптимізації.

Умови проведення експерименту припускають, що значення факторів вибрані. І експеримент полягає у визначенні значень функцій відгуку.

Фактор може мати безперервну або дискретну область зміни. Проте, зважаючи на обмежену точність представлення безперервного фактору, він може бути описаний за допомогою *дискретного набору рівнів*. Ця угода істотно полегшує побудову експерименту і спрощує оцінку його складності.

Складність експерименту визначається числом всіляких станів “чорної скрині”. Наприклад, якщо для всіх k -факторів існує p рівнів, то число станів буде p^k . Так система з 5 факторами на 5 рівнях має 3125 станів.

Прямий перебір зважаючи на величезне число станів нераціональний, якщо неможливий, тому вдаються до процедури планування експерименту

Екстремальний експеримент – метод вибору мінімальної кількості дослідів, необхідних для відшукування оптимальних умов.

Параметр оптимізації є відгуком, реакцією на дію факторів, які визначають поведінку досліджуваної, проектованої системи. Відгуки системи лежать в багатьох аспектах, кількісне вираження яких не завжди однозначно. Різні дослідники часто мають уявлення, що сильно відрізняються, про оптимальність того або іншого аспекту. Не по всіх параметрах оптимізації існують уніфіковані рекомендації, і тому вибір критеріїв оптимізації часто є мистецтвом.

Серед параметрів оптимізації необхідно вибрати один параметр, по якому відбувається пошук оптимуму. Вся решта параметрів при цьому служить вже як обмеження. Тут також можливо безліч шляхів постановки задачі оптимізації.

Вимоги до параметра оптимізації:

Він повинен бути кількісним, задаватися числом. Безліч значень, яка може приймати параметр оптимізації, називається його *областю визначення*. Область визначення може бути дискретною і безперервною, обмеженою і необмеженою.

Параметр оптимізації потрібно *уміти вимірювати*, тобто мати в своєму розпорядженні відповідний прилад для прямого вимірювання або мати в своєму розпорядженні методику непрямих вимірювань. Але якщо такий прилад не існує або дуже дорогий, то вдаються до прийому, званого *ранжируванням* або ранговим підходом. При цьому параметрам оптимізації привласнюються оцінки – ранги заздалегідь вибраною шкалою: двобальної, п'ятибальної і т.д. У простому випадку область може містити два значення: так – ні, годна продукція – брак. Ранг – це кількісна, але суб'єктивна оцінка. Така оцінка не дозволяє вивчити тонкі ефекти.

Параметр оптимізації повинен задовольняти вимозі *однозначності*

в статистичному сенсі. Заданому набору значень факторів повинно відповідати одне з точністю до помилки експерименту значення параметра оптимізації. Зворотне, очевидно, невірно одному і тому ж значенню параметра оптимізації можуть відповідати різні набори факторів.

Параметр оптимізації повинен задовольняти умові *коректності*, тобто він повинен дійсно оцінювати ефективність функціонування системи в заздалегідь вибраному сенсі.

Параметр оптимізації повинен підкорятися принципу “*колективізму*”, він не повинен зводитися в ранг абсолюту. Він повинен бути ефективним з погляду досягнення кінцевої мети. Ефективність системи оцінюється завжди в цілому. Часто система складається з підсистем, кожна з яких оцінюється своїм локальним параметром оптимізації. При цьому оптимальність кожної з підсистем не виключає можливості загибелі системи в цілому.

Параметр оптимізації повинен бути *ефективний в статистичному сенсі*. З декількох параметрів оптимізації найбільш ефективний той, який визначається з можливою найбільшою точністю. Якщо ця точність недостатня, доводиться звертатися до збільшення числа дослідів.

Параметр оптимізації повинен задовольняти вимозі *універсальності або повноти*. Під універсальністю параметра оптимізації розуміється його здатність всебічно характеризувати об’єкт.

Наприклад, технологічні параметри в загальному сенсі не враховують економіку. Цей недолік усувається підрозділом області визначення технологічних параметрів оптимізації по квалітетам, визначуваним за ранговим принципом: десятибальній системі з урахуванням рівня виробництва. У свою чергу технологічні допуски розділяються по трьох рівнях точності:

- економічний рівень – 9-10 квалітет;
- виробничий рівень – 6-8 квалітет;
- технічний рівень – 4-5 квалітет.

Бажано, щоб параметр оптимізації мав *фізичний сенс, був простим і легко обчислюваним*;

Для простоти доцільно нормувати параметр оптимізації з тим, щоб він приймав значення від нуля до одиниці.

Вибрати параметр оптимізації, що задовольняє всім вимогам практично неможливо. Вимоги частіше використовуються для порівняння декількох можливих параметрів оптимізації і вибору, що найбільш відповідає даним вимогам.

3. Розробка плану-програми експерименту.

План-програма включає найменування теми дослідження, робочу гіпотезу, методику експерименту, перелік необхідних матеріалів, приладів, установок, список виконавців експерименту, календарний план робіт і кошторис на виконання експерименту. У ряді випадків включають роботи по конструюванню і виготовленню приладів, апаратів, пристосувань, методичне їх обстеження, а також програми дослідних робіт на заводах, будівництві і

т.п.

Основу плану-програми складає методика експерименту. Методика є системою прийомів або способів для послідовного найбільш ефективного експериментального дослідження, і включає: мету і задачі експерименту; вибір варіюючих факторів; обґрунтування засобів і потрібної кількості вимірювань; опис проведення експерименту, обґрунтування способів обробки і аналізу результатів експерименту.

Визначення мети і задачі експерименту – один з найбільш важливих етапів. На основі аналізу інформації, гіпотези і теоретичних розробок обґрунтовують мету і задачі експерименту. Вся наукова інформація дозволяє в тому або іншому ступені судити про очікувані закономірності процесу, що вивчається, а, отже, і визначити задачі експерименту. Чітко, конкретно обґрунтовані задачі – це великий вклад в їх рішення. Кількість задач не повинна бути дуже великою (3-4 задачі), 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 ряд, що убуває по важливості, для даного експерименту. Правильний вибір основних і другорядних факторів грає важливу роль в ефективності експерименту, оскільки експеримент зводиться до знаходження залежностей між цими факторами. В окремих випадках важко відразу виявити роль основних і другорядних факторів. При цьому необхідно виконати невеликий за об'ємом попередній пошуковий дослід.

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

Обґрунтування засобів вимірювань – це вибір необхідних для спостережень і вимірювань приладів, устаткування, машин, апаратів і ін. Експериментатор повинен бути добре ознайомлений з вимірю-

вальною апаратурою, що випускається в країні. Щорічно видаються каталоги на засоби вимірювання, по яких можна замовити ті, що випускаються вітчизняним приладобудуванням ті або інші засоби вимірювань. В першу чергу використовують стандартні машини і прилади, що серійно випускаються, робота на яких регламентується інструкціями, та іншими офіційними документами.

Дуже відповідальною частиною є встановлення точності вимірювань і погрішностей. 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 відліки на приладах, як правило, не

однакові. Відхилення пояснюються різними причинами – неоднорідністю властивостей тіла (грунт, матеріал, конструкція і т.д.), що вивчається, недосконалістю приладів і класом їх точності, суб'єктивними особливостями експериментатора і ін. Чим більше випадкових факторів, що впливають на дослід, тим більше відхилення окремих вимірювань від середнього значення. Це вимагає повторних вимірювань, отже, необхідно знати 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 заданому ступеню точності. Встановлення потрібної мінімальної кількості вимірювань має велике значення, оскільки забезпечує отримання найбільш об'єктивних результатів при мінімальних витратах часу і засобів.

У *методиці* детально проектують процес проведення експерименту. На початку складають послідовність (черговість) проведення операцій вимірювань і спостережень. Потім ретельно описують кожну операцію окремо з урахуванням вибраних засобів для проведення експерименту. Велику увагу приділяють методам контролю якості операцій, що забезпечують при мінімальній (раніше встановленому) 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 співставляти одержані результати.

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

4. Контрольні питання

1. Сформулюйте етапи планування.
2. Основна ціль планування.
3. Що таке *експеримент*?
4. Визначення об'єкту пошуку.
5. Техніка планування експерименту.
6. Які задачі вирішує планування експерименту?
7. Що таке *математична модель*?
8. Вимоги до параметру оптимізації.
9. Що включає план-програма експерименту?

10. З чого складається методика експерименту?
11. Три випадки проведення експерименту.