

Розділ 3. ОРГАНІЗАЦІЯ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Сучасне наукове дослідження базується на ґрунтовній організації при широкому застосуванні методології наукової творчості, логічного математичного апарату і експериментальних засобів.

*Не відкривай відомих істин: люди
давно знають, що сонце на сході встає.
Китайське прислів'я*

3.1. Задачі наукового дослідження

Метою наукових досліджень є виділення у процесі синтезу знань суттєвих зв'язків між досліджуваним об'єктом і навколишнім середовищем, пояснення та узагальнення результатів емпіричного дослідження, виявлення загальних закономірностей і їх формалізація. Теоретичне дослідження завершується формулюванням теорії, не обов'язково пов'язаної з побудовою її логічного або математичного апарату. Теорія проходить у своєму розвитку різні стадії від якісного пояснення та кількісного виміру процесів до їх формалізації і в залежності від стадії може бути представлена як у вигляді якісних правил, так і у вигляді математичних рівнянь (співвідношень).

Задачами наукового дослідження є:

- знаходження загальних закономірностей шляхом обробки та інтерпретації експериментальних даних;
- розширення результатів дослідження на низку подібних об'єктів без повторення всього об'єму досліджень;
- вивчення об'єкта, недоступного для безпосереднього дослідження;
- підвищення надійності експериментального дослідження об'єкта (обґрунтування параметрів і умов спостереження, точності вимірювань);
- узагальнення отриманих результатів.

Цінність наукових результатів залежить не тільки від того, наскільки вірно виражають вони закони об'єктів, що вивчаються, наскільки корисні вони в практичній діяльності, але й від того, наскільки вони нові.

Якщо той або інший результат, те або інше відкриття лише повторюють зроблене раніше, то вони повністю або частково знецінюються.

Суттєвим фактором дійсно наукового дослідження є час і швидкість протікання наукових процесів. Отже, питання про організацію дослідження є, насамперед, питанням про вибір таких структур, такого розчленування етапів, такого взаємозв'язку процедур і прийомів, які дозволили б у найкоротший термін досягти поставленої мети.

Як відмічалось раніше, методологія наукового дослідження – це сама загальна форма організації наукового знання (науково-пізнавальної діяльності), яка містить у собі принципи побудови знання. Вона забезпечує відповідність структури і змісту наукового знання задачами дослідження.

Крім цього, методологія дослідження містить методи отримання наукового знання, перевірку істинності отриманих результатів та їх інтерпретацію.

Отже, важливим у методології дослідження є знання про наявність і можливості застосовуваних методів наукових досліджень. Тому для конкретної наукової праці термін „методологія” іноді можна розглядати як методи дослідження, що становлять її ядро.

Під методом дослідження в будь-якій конкретній науці прийнято розуміти спосіб побудови та обґрунтування наукового знання незалежно від того, є це знання теоретичним, узагальнюючим або прикладним, конкретним, виходячи з поставлених мети і задач. Метод є сукупністю певних прийомів і операцій, конкретною технологією побудови теоретичного або прикладного знання, що відповідає цільовій установці. Тому кожна галузь знання має свої методи теоретичного або практичного освоєння тієї частини дійсності, яку вона вивчає.

Сучасне наукове дослідження немислиме без створення спеціальних спостережних засобів і експериментальних установок. Процес наукового пізнання суттєво залежить від розвитку використовуваних наукових засобів. Давно минули часи, коли наукові дослідження могли здійснюватися без допомоги підручних засобів.

Галілео Галілей прославився не тільки своїми піонерськими дослідженнями, але і залученням у науку зорової труби. Велику роль відіграв і продовжує відігравати у розвитку біології та інших наук мікроскоп, що відкрив людині нові світи.

Наукові дослідження неможливі без наявності приладів і еталонів, що дозволяють зафіксувати ті або інші властивості реальності і дати їм кількісну та якісну оцінку.

Сучасні комплексні дослідження також потребують спеціальних засобів обробки результатів спостережень і експериментів.

Затвердження закону можливе тільки за допомогою виведення з нього наслідків, без нього неможливих та несподіваних, і справдження тих наслідків при дослідній перевірці.

Менделєєв Д.І.

Сучасна наука знає багато різнопланових і складних методів дослідження. У науково-дослідницькій діяльності виділяють методи:

- а) експериментальні;
- б) обробки емпіричних даних;
- в) побудови та перевірки теорії;
- г) викладення наукових результатів.

У практику сучасної науки все ширше входять планування експерименту і автоматизація його реалізації.

Етапи наукового дослідження:

- постановка задачі, у т. ч., і визначення засобів та умов дослідження;
- збирання та поповнення інформації;
- висування попередніх гіпотез;

- теоретична розробка;
- проведення експерименту включно зі співставленням його результатів з висновками і теорією;
- остаточне формулювання та оцінка отриманого результату.

Але перераховані етапи наукового дослідження неоднакові для різних досліджень і можуть змінювати порядок. Теоретична розробка може здійснюватися після того, як поставлено експеримент або проведено спостереження.

Накопичення інформації в одних випадках продовжується протягом усього дослідження, в інших – в його початковій стадії. Не тільки розташування, але й склад етапів дослідження може досить помітно змінюватися.

Дослідження мають найрізноманітнішу структуру. Вивчення всіх їх можливих структур, виділення найтиповіших і тих, що зустрічаються найчастіше, становлять одну з найважливіших задач методології і теорії організації досліджень.

3.2. Гіпотеза як перший крок у науковому дослідженні

Гіпотези – це ризик, які ставлять перед будівлю і зносять, коли будівля готова; вони необхідні для робітника; він не повинен тільки приймати ризик за будівлю.

I. Гете

Сучасний вчений, крім високої професійної підготовки, таланту та волі, повинен володіти навичками наукового мислення, вмінням розуміти сутність процесу пізнання, незалежно від того, йде мова про фізичні, хімічні, технічні, космічні, суспільні та інші явища.

Наука – це не тільки арсенал готових засобів, але і, в значно більшій мірі, кузня, де кується нове. Щоб бути вченим, необхідно не тільки вміти користуватися вже зробленим, але й вчитися робити те, чого ще немає.

Дослідник повинен подолати непередбачувані перешкоди і розкрити зашифровані таємниці природи. Якщо йому вдасться здогадатися, як відбувається те або інше явище природи, ще недостатньо зрозуміле, є надія, що він придумає, як це явище можна використати на користь людям.

Для науки цінні головним чином ті дослідники, хто відчуває внутрішній потяг до наукової діяльності і тому прийде до неї, не дивлячись ні на які труднощі і всупереч перешкодам.

Подібно до того, як метелик з'являється на світ, тільки пройшовши стадію гусениці, так і теорія народжується спершу у вигляді **гіпотези**.

Всі наші теоретичні знання гіпотетичні за своїм походженням, а деяка їх частина – і за своїм нинішнім станом. Розуміння того, як гіпотеза перетворюється в теорію, є умовою глибокого розуміння самої теорії, процесу її формування та наступного практичного застосування.

Гіпотеза стає теорією тоді, коли вона має передбачувальну силу.

Г. Сельє

Як передбачуване, ймовірнісне знання, ще не доведене логічно і не настільки підтвержене досвідом, щоб вважатися достовірною теорією, гіпотеза не є ні істинною, ні хибною. Про неї можна сказати, що вона є невизначеною, тобто, лежить між істиною та неправдою.

Гіпотеза, що отримала підтвердження, перетворюється в істину і на цьому припиняє своє існування. Відхилена гіпотеза стає хибним положенням і, знову ж таки, перестає бути гіпотезою. Далеко не кожну здогадку, передбачення можна назвати гіпотезою. Гіпотеза, припущення, на відміну від простого передбачення, повинна бути обґрунтованою.

Гіпотеза як умовивід має коріння в об'єктивній дійсності, є рухом думки від явищ, які безпосередньо спостерігаються, до їх причинного пояснення, тому версія причини, що пояснює дане коло фактів, складає перший етап побудови гіпотези.

Другий етап у логіці розвитку гіпотези – дедуктивне виділення наслідків із передбачуваної причини і співставлення їх із дослідними даними.

Третій етап логічного становлення гіпотези – ретельна перевірка всіх її положень, що веде до підтвердження або відхилення гіпотези. Причому, для підтвердження гіпотези вимагається її узгодження з можливо більшою кількістю емпіричних фактів, а для відхилення імовірного передбачення досить одного факту неузгодженості з дослідом.

Висуваючи гіпотезу, вчений завжди стикається з критикою. В дійсності немає різкого розмежування між стадією створення гіпотез і стадією їх критичного заперечення – обидва процеси відбуваються одночасно і безперервно, причому, критика, як би рішуче вона не діяла, має, по суті, не руйнівну, а творчу задачу – відсіявши непотрібне, поліпшити необхідне.

В науці внаслідок суперечок виявляється, наскільки яка-небудь гіпотеза або теорія в змозі, базуючись на дослідах, протистояти критиці. Тому без вільної критики, без наукової дискусії не може бути і самої науки.

Менделєєв вчив студентів: „Умійте завжди стати на точку зору протилежної думки – це і є те, що називається істинною мудрістю” [7].

Загальновідомо, яку шкоду нанесли розвитку кібернетики і біології у колишньому СРСР роки культивування їх догматичного неприйняття.

Р. Декарт користувався основним принципом „de omnibus rebus dubitandum est” („усе необхідно піддавати сумніву”), вважаючи, що „...человеку, исследующему истину, необходимо хоть один раз в жизни усомниться во всех вещах – насколько они возможны.

Так как мы появляемся на свет младенцами и выносим различные суждения о чувственных вещах прежде, чем полностью овладаем своим разумом, нас отвлекает от истинного познания множество предрассудков; очевидно, мы можем избавиться от них лишь в том случае, если хоть раз в жизни постараемся усомниться во всех тех вещах, в отношении достоверности которых мы питаем хотя бы малейшее подозрение.” [8].

Необхідно пам'ятати, що у всякому питанні є докази проти, причому, групування доказів за цією ознакою зовсім не є прерогативою юристів.

Поняття „опонент” також накладає обов’язки виступати з критикою. Вимогу віднести критично до якого-небудь питання дослідник розуміє саме в цьому сенсі – він шукає прогалини та недоліки. Пояснення, дане якому-небудь явищу, дослідники не сприймають на віру, а піддають всебічній критиці, зіставляючи з іншими поясненнями, щоб віддати перевагу найліпшому.

Але буває і так, що на користь кожного з пояснень є вагомий доказ і важко віддати перевагу одному з двох поглядів: один із них не здатний пояснити частковості, які легко пояснює другий, і, навпаки, другий не пояснює того, що може пояснити перший, – таке відбулося при суперечці прихильників хвильової теорії світла Гюйгенса з прихильниками корпускулярної теорії Ньютона.

Ці теорії вважалися абсолютно протилежними і несумісними, тому що думка про їх суміщення, яка напрошувалася, уявлялася дивною, поки ідея про хвилі матерії, яка знайшла спосіб їх сумістити, не стала звичною.

Якщо при створенні гіпотез необхідна сміливість, то при критиці їх необхідна стримана обережність. Мабуть, саме так вважав Лейбніц, коли висловив свою думку у такій широкій формі, що вона стала загальною:

„Я постійно впевнювався, що більшість вчень майже завжди справедливі у тому, що вони стверджують, і помиляються у тому, що вони відхиляють” [9].

Немає в світі нічого, що могло б досягти довершеності вже в зародку, навпаки, майже у всякому явищі спочатку – надії боязлива простота, потім вже – здійснення безспірна повнота.

Апулей

Відхилення гіпотез, які вважаються абсолютно неймовірними, близькі до численних випадків тверджень про неможливість створення тих або інших пристроїв, які згодом виявилися здійсненими та корисними.

„Ракета” – паровоз Стівенсона – була основана на зчепленні Блекетта і Хедлея, тобто, на спряженні гладких коліс із гладкими рейками.

Коли обговорювалося питання про започаткування залізних доріг, було висловлене заперечення, що такі колеса, обертаючись з великою швидкістю, будуть ковзати на одному місці.

В дійсності явище проковзування спостерігається лише в окремих випадках, в екстремальних умовах.

Менделєєву було задане знущальне питання: „Чи не виявив би він ту ж закономірність у властивостях елементів, якби розташував їх у послідовності алфавіту латинських назв елементів?”.

Лебону, винахіднику газового освітлення, казали, що його ліхтар не буде світити, тому що в ньому немає гноту.

Запропонована М.В. Ломоносовим зорова труба для розглядання ледь видимих неясних об'єктів зустріла заперечення інших академіків. „Тільки зараз, майже через два століття, знайомлячись з архівними документами і опираючись на сучасному стані оптики, можна з повною впевненістю говорити про роботу Ломоносова” – відзначав С.І. Вавілов [10].

Подібні заперечення не повинні дивувати. Невже раніше не сказали б, що неможливо отримати фарби з вугілля, слухати мову і спів людей, яких немає перед нами, боротися з хворобами, які вважалися невиліковними. Вже здійснено багато такого, що раніше всі визнали б неможливим.

Наприклад, стало можливим розпізнавати перешкоди на морі в тумані і темноті за допомогою радіолокації, визначати хімічні речовини у складі Сонця, вести телеметричні передачі з Венери, пересаджувати серце, для перекладу з іноземних мов використовувати комп'ютери, синтезувати речовини із заданими властивостями тощо.

Менше ста років тому люди вважали б усе це неможливим тому, що вся сукупність відомих їм фактів не виявляла нічого подібного і не нашоувала на можливість розв'язати ці задачі. Ті, хто стверджував про неможливість чогось, мислили вірно у межах своїх знань, тому що ніхто не може взяти до уваги ще невідомі явища. Звідси необхідно зробити висновок: завжди треба чекати, що є багато явищ, про які ще належить дізнатись!

Не треба змішувати те, що нам здається неймовірним і неприродним, із абсолютно неможливим.

К. Гаус

Дійсно, неможливо що-небудь робити, основуючись на відкритті, яке ще не зроблене!

Ч. Дарвін писав: „...протягом багатьох років я дотримувався наступного золотого правила: кожного разу, коли мені доводилось стикатися з яким-небудь опублікованим фактом, новим спостереженням або думкою, що суперечили моїм загальним висновкам, я обов'язково, і не зволікаючи, робив короткий запис про них, тому що, як я впевнився на досвіді, такого роду факти і думки звичайно губляться з пам'яті набагато швидше, ніж звичайні. Завдяки цій звичці проти моїх поглядів було висунуто дуже мало таких заперечень, на які я не звернув би, щонайменше, уваги або не спробував навіть знайти відповіді на них” [11].

Відомо, що П. Кюрі, розраховуючи знайти симетрію, зіставляв п'єзоелектричні та магнітні явища. У своєрідній взаємності явищ був впевнений Фарадей.

Тому-то йому й прийшло в голову перевернути відкриття Ерстеда про вплив струму на магнітну стрілку, викликавши переміщенням магніту електричний струм.

Фарадей також настирно шукав зв'язок між електромагнітними та світловими явищами – у нього була внутрішня переконаність про існування такого зв'язку. Така переконаність є потужним стимулом для дослідника, заставляючи його знову і знову шукати докази наявності передбачуваної стрункості.

Про силу такого стимулу можна судити з прикладу Ейнштейна, який тридцять останніх років свого життя витратив на спроби розробити єдину теорію поля.

Ейнштейн вважав, що поле тяжіння, електромагнітне поле, силові поля часток є лише різними формами фізичного поля. Він довів свою роботу до логічного завершення, але не був задоволений нею, тому що не бачив можливості дослідної перевірки своїх теоретичних знахідок.

Правило тринадцятого удару, про яке необхідно пам'ятати при читанні роботи, що обіцяє надзвичайно багато: якщо годинник пробив тринадцять разів, то це не тільки означає, що тринадцятий удар був помилковим. Він породжує сумніви у безпомилковості кожного з перших дванадцяти ударів.

Д. Мастерс

Аналіз наукової діяльності багатьох відомих учених дозволяє сформулювати загальну схему розробки і перевірки гіпотез:

1. Здійснення передбачення, яке потім повинне бути досліджене на деякій кількості фактів.

Якщо факти не підтверджують припущення (є розбіжності в якісних і кількісних характеристиках), то воно вважається спростованим.

Тоді припущення видозмінюють або замінюють до тих пір, поки не знайдеться таке припущення (гіпотеза), яке достатньо добре підтверджується фактами і тим самим „пояснює” їх.

2. Формулювання з передбачення, що виправдало себе, по можливості, більше висновків – наслідків.

Після цього намагаються перевірити фактами кожен із висновків. Якщо не отримують бажаної відповідності, шукають способи внесення коректив у передбачення, поки знову не досягнуть задовільної відповідності фактам.

3. Здійснення спроб застосувати перевірену гіпотезу на розширений обсяг фактів з намаганням розповсюдити її на всі явища, що здаються аналогічними вже поясненим.

При цьому може виникнути необхідність так переробити гіпотезу, що попередній її варіант буде мати значення лише окремого випадку, що має місце в обмеженій області.

Але при будь-якому обмеженні намагаються знайти найбільш широке з можливих формулювань.

3.3. Побудова наукової теорії

*Наука – це невтомне багатовікове
намагання думки звести разом через систему
всі явища нашого світу, які ми пізнаємо.
А. Ейнштейн*

Теорія (від латинського слова „*theoreo*” – „розглядаю”) – система узагальненого знання, пояснення тих або інших сторін дійсності. Теорія є духовним, уявним відображенням і відтворенням реальної дійсності. Вона виникає внаслідок узагальнення пізнавальної діяльності і практики. Це узагальнений досвід у свідомості людей. Структуру теорії формують принципи, аксіоми, закони, судження, положення, поняття, категорії і факти.

Дослідження – це спосіб набуття нових знань з використанням сучасної логіки і методології науки. Наукова теорія являє собою результат мислення, готове знання, виражене мовою науки. Це знання залежить від двох факторів:

- 1) предметної області, до якої воно відноситься;
- 2) процесів мислення, за допомогою яких воно було напрацьоване.

Тому структура наукової теорії відображає прийоми та засоби мислення, що застосовуються при її створенні. Таким чином вона виражає логіку наукового пізнання та навпаки.

Подібно до того, як за архітектурними формами готових будівель можна в загальних рисах відтворити способи їх побудови, так і структура наукової теорії дозволяє зрозуміти шляхи і методи наукового пізнання.

Коли вчений намагається пізнати навколишній світ, він намагається оволодіти змістом теорії (законами). Коли ж учений має намір удосконалити саму теорію, ліпше оволодіти методами її побудови та розвитку.

Для цього він вивчає структуру теорії та її логічний апарат. Результат цього вивчення викладається в метатеорії. Розробка подібних метатеорій – одна з центральних задач логіки і методології науки.

Особливо велика її роль тоді, коли в розвитку наукової теорії виникають труднощі і виявляється, що подальше її вдосконалення неможливе без ретельного вивчення, видозміни або перебудови самої теорії.

Зміст самого емпіричного факту і решти виникаючих на його базі знань залежить не тільки від властивостей об'єктів вивчення, а й від способів теоретичної та експериментальної діяльності, через посередництво якої створювалось і перероблювалось це знання.

У загальному вигляді побудову наукового знання можна уявити у вигляді схеми (рис. 4).

На цій схемі стрілки, які йдуть знизу вгору, показують спосіб побудови емпіричного знання, в основі якого лежать різні прийоми та види узагальнення, що спираються на первинні результати спостереження.

Стрілки, націлені вниз, відповідають процесу дедуктивної побудови емпіричного знання, що завершується процедурою підтвердження, верифікації та фальсифікації.

Двосторонні стрілки, які йдуть від „Теорії” вправо та вліво, показують можливі зв'язки даної теорії з іншими теоріями.

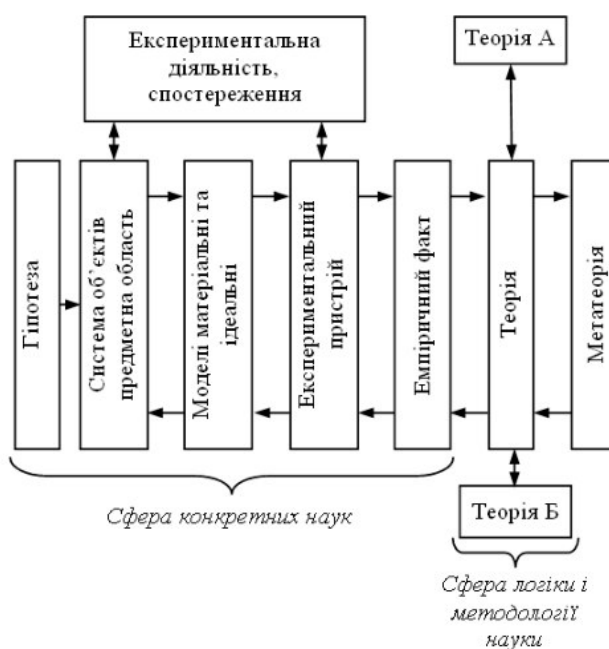


Рис. 4. Схема побудови наукової теорії

При побудові наукової теорії відбувається умовний розподіл учених на теоретиків і експериментаторів, що особливо чітко проявляється в таких науках, як фізика та хімія.

Такий розподіл викликаний реально існуючою своєрідністю нахилів людей. Найкращі результати можна отримати тоді, коли обидва види нахилів поєднуються в одній особі (тому потрібно домагатись розвитку і тих, і інших якостей).

Але часто теоретикам не вдаються експерименти, тому що вони не люблять цього виду роботи, а експериментатори, які звикли про все питати у природи, відчують себе відірваними від неї, коли починають будувати більш або менш довільні припущення.

Експериментатори – спостерігачі, схильні до широкого уявного охоплення. Зводити стіну між теоретиками і експериментаторами не потрібно. В одних більш абстрактний, у других – більш практичний розум.

Завдання в тому, щоб наблизити їх, тому що вони лише спільно являють повну цінність. Теоретик не повинен цуратися експериментування, експериментатор – теоретичних узагальнень.

Людей з експериментальним розумом необхідно використовувати в теоретичних розробках, щоб вони відчували бажання припускати, а людей з нахилом до абстрагування постійно навантажувати практичною роботою, що диктується самим життям.

При цьому і тим, і іншим необхідно дати можливість проявляти себе в іншій формі.

Завжди дуже корисно, якщо теоретик буде *роздумувати* над способом конкретного вирішення задачі, яка спостерігається ним, а експериментатор буде *турбуватися* про розробку нових методів вимірювання або *ставити* нові задачі.

Тому теоретик доповнює експериментатора, подібно до того, як винахідник доповнює „відкривача”.

Основні етапи процесу побудови наукового знання: експерименти, спостереження, індуктивні узагальнення, дедуктивний висновок, верифікація і фальсифікація, постановка нової задачі.

Послідовність цих етапів може бути різною, одні з них можуть бути відсутніми або повторюватися декілька разів.

Але, не дивлячись на велику кількість теорій, всі вони мають спільні риси:

1. Всі теорії створені та побудовані з передбачень, висловлювань.

Висловлювання, що несуть різноманітну інформацію або знання, є цеглинами, з яких складається теорія. Вони (висловлювання) можуть відрізнитися одне від одного не тільки за змістом, але й за формою, ступенем складності. Їх завжди можна розчленити на прості, елементарні речення.

2. Теорія є сукупністю взаємопов'язаних речень. Речення, що складають теорію, з'єднуються за допомогою логічних зв'язок. Послідовність і порядок речень в теорії дозволяють говорити про її структуру, яка визначається тим, що одні речення теорії виводяться з інших.

3. Всі речення теорії повинні бути зв'язані відношенням доведення. Ті речення, з яких виводиться решта, утворюють основу теорії, а ті, що отримані внаслідок доведення, називаються наслідками. Таких наслідків може бути безкінечно багато, і чим їх більше можна отримати, тим ефективнішою є теорія.

Однією з найстаріших математичних дисциплін є геометрія. Вона виникла дуже давно у зв'язку з необхідністю вимірювати земельні ділянки та однією з перших почала мати чіткий математичний вигляд.

За декілька століть до н. е. геометрія була аксіоматизована і викладена Евклідом у вигляді дедуктивної наукової теорії.

Слово „дедукція” походить від латинського слова „deductio”, що означає „доведення”, „висновок”.

Дедуктивними називаються теорії, речення яких виводяться одне з одного за певними правилами.

Можуть бути теорії, що мають іншу побудову. Але саме дедуктивні теорії завдяки своїй чіткості, логічній прозорості, зручності, ефективності і простоті є тим ідеалом, до якого прагнуть всі наукові теорії.

Таке прагнення буває успішним далеко не завжди, і необхідно іноді багато сил і таланту, щоб надати системі наукових знань форми наукової теорії.

Побудову наукового знання можна порівняти з діючим механізмом, тому що це дозволяє, відволікаючись від змісту і деталей різних способів побудови наукового знання, виявити загальні риси, контури, загальну схему дослідницької роботи.

Усі діючі пристрої, якщо брати у першому наближенні, працюють за аналогічною схемою: на вході – матеріал, на виході – готова продукція, що є результатом певного процесу.

Перетворивши вихідний продукт у нову продукцію, зробивши певну роботу, діючий пристрій знову готовий до повторення тих або інших дій.

Саме в цьому, і тільки в цьому, сенсі можна порівнювати систему або структуру етапів побудови наукового знання з діючим механізмом.

На відміну від інших механізмів механізм науки на вході і виході має знання, причому, одні з них є „сировиною” для приготування інших – нових.

Для того, щоб переплавити руду в домені, її необхідно попередньо обробити, тому що вона повинна відповідати певним умовам і вимогам.

Так само і вихідні знання, закладені у механізм наукової теорії, повинні відповідати певним вимогам і мати особливі властивості.

Мав рацію Больцман, який говорив, що „...немає нічого практичнішого за добру теорію” [12]. Теорія дає нам не тільки знання про об’єкти досліджень. На її основі розробляються методи оперування об’єктами, процедури експериментальної, предметно-знаряддевої діяльності, тому що тільки завдяки цій діяльності ми у змозі пізнати навколишній світ.

Закони теорії дозволяють отримувати необмежену кількість кінцевих наслідків, що підказують, які саме практичні експериментальні кроки необхідно зробити.

Велику кількість наукових відкриттів було зроблено не наосліп, а завдяки тим або іншим теоретичним висновкам.

Можна було б винятково дослідним шляхом, на основі сотень і тисяч навмання поставлених експериментів визначити, яка швидкість необхідна для того, щоб космічна ракета здолала силу земного тяжіння.

Теоретичний розрахунок дозволив визначити її надзвичайно точно без зайвих витрат людської енергії, часу і дорогих матеріалів. Теорія не звільняє нас від практики, від спостережень, від експериментів. Але, економлячи силу і час, вона звільняє від необхідності перекопувати все поле і точно вказує, де заховано бажаний скарб.

Метою наукових занять повинен бути такий напрямок думки, щоб він давав міцні та істинні судження про всі наявні предмети.

Р. Декарт

3.4. Роль експерименту в науковому дослідженні

*Як, засипаючи лободу, ви не
отримаєте пшеничної муки, так і,
розписавши цілі сторінки формулами, ви не
отримаєте істини з хибних передумов.*

Т.Г. Гекслі

Найважливішою складовою частиною наукових досліджень є **експеримент**. Знання, отримане за допомогою спостереження, експерименту і соціально-виробничої практики людей, називається *емпіричним*. Фундаментом будь-якого емпіричного знання є спостереження. Всі експериментатори – спостерігачі.

Експериментальне спостереження передбачає втручання спостерігача в процес функціонування, життєдіяльності об'єкта.

Спостереження не завжди здійснюється на основі експерименту, але експеримент без спостереження не має сенсу. В самому загальному вигляді відмінності простого спостереження, здійсненого у ході експерименту, є в тому, що у першому випадку намагаються отримати знання про об'єкт, який не піддається ніякому впливу зі сторони спостерігача, у другому – про об'єкт, який свідомо піддається такому впливу.

Слово „експеримент” походить від латинського слова „*experimentum*” – „спроба”, „досвід”. У науковій мові та дослідницькій роботі цей термін звичайно використовується у значенні, загальному для цілої низки тотожних понять: досвід, цілеспрямоване спостереження; відтворення об'єкта пізнання; організація особливих умов його існування; перевірка передбачення.

В це поняття вкладається наукова постановка дослідів і спостереження явища, що вивчається, в умовах, які чітко контролюються і дозволяють слідкувати за його перебігом і відтворювати його кожного разу при повторенні цих умов. Саме по собі поняття „експеримент” означає дію, націлену на створення умов із метою здійснення того або іншого явища і, якщо це можливо, якомога чистішого, тобто, неускладненого іншими явищами.

Основною метою експерименту є виявлення властивостей досліджуваних об'єктів, перевірка справедливості гіпотез і, на цій основі, широке і глибоке вивчення теми наукового дослідження. Д. Максвелл так писав про розвиток взаємозв'язку між експериментальними і теоретичними дослідженнями:

„...если бы мы решили стать практиками и, вместо того, чтобы выводить формулы, взяли бы ту же самую задачу, которую надо решить, и обратились бы к стандартным учебникам, и, выписав оттуда... подходящую формулу, поставили бы в неё числа, то полученный результат... скорее всего, оказался бы совершенно бесполезным, а путаница в наших головах ...стала бы ещё сильнее....”

*Но если мы сумеем однажды понять всю глубину физических принципов и, исследовав для нескольких случаев их математические следствия, применить затем результаты к реальным экспериментам или наблюдениям, мы убедимся, что эти принципы не просто абстракция, ...а ключ, с помощью которого мы сможем подчинять себе силы природы, тогда новые границы нашего разума станут обширнее, ибо мы были вынуждены переходить от философии к верстаку, а из мастерской к *locus principiorum* (самой сердцевине), до тех пор, пока на опыте не убедились в том, что философское и реальное относится к одному и тому же.*

Научившись воспроизводить в аудитории научные формулы или физические явления, мы не извлечём из этого никакой выгоды, пока не начнём узнавать эти явления вне аудитории, в том их первоизданном, не приукрашенном для лекций виде...” [13].

Постановка і організація експерименту визначається його призначенням. Дослідник у відповідності з прихованими тенденціями розвитку об’єкта дослідження спеціально створює умови, які повинні сприяти формуванню нових властивостей і якостей об’єкта.

Науковий експеримент за своєю структурою і природою схожий з процесом матеріального виробництва. У загальних рисах елементи структури роботи та експериментальної діяльності ідентичні:

Людина-виробник – знаряддя праці – об’єкти праці.

Людина-дослідник – знаряддя дослідження – об’єкти дослідження.

Людина, яка по-справжньому мислить, виносить зі своїх помилок не менше знань, ніж зі своїх успіхів.

Дж. Дьюї

Таке співставлення показує принципову близькість процесів виробництва матеріальних благ і експериментального дослідження.

Але в реальному експерименті головною метою є не створення нових виробів або процесів, а отримання знань.

Загальна схема побудови емпіричного знання показана на рис. 5.

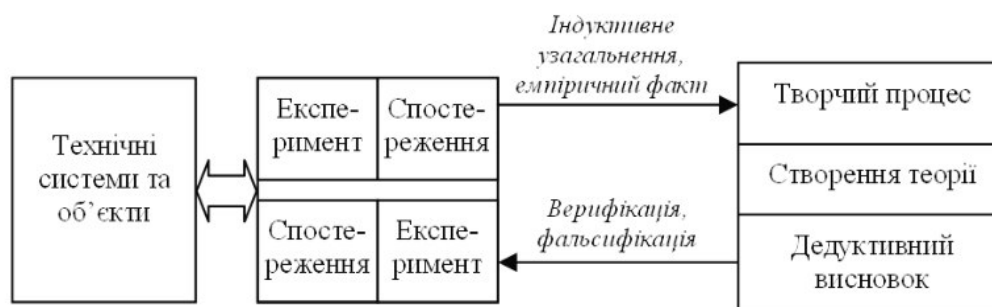


Рис. 5. Схема побудови емпіричного знання

Уявний експеримент є однією з форм розумової діяльності суб'єкта пізнання, під час якої відтворюється в уяві структура реального експерименту.

Структура уявного експерименту вміщує: побудову уявної моделі об'єкта дослідження; ідеалізованих умов експерименту і впливів на об'єкт; свідому і планомірну зміну, комбінування умов і впливів на об'єкт; свідоме і точне застосування на всіх стадіях експерименту об'єктивних законів науки, завдяки чому неможливе ніяке свавілля.

Внаслідок такого експерименту формуються висновки.

Величезна роль уявного експерименту у винахідництві, художньому конструюванні. Результати уявного експерименту знаходять відображення у формулах, кресленнях, графіках, ескізних проектах, замальовках тощо.

Матеріальний експеримент має аналогічну структуру. Але у ньому використовуються матеріальні, а не ідеальні об'єкти дослідження.

Основна відмінність матеріального експерименту від уявного у тому, що реальний експеримент являє собою форму об'єктивного матеріального зв'язку свідомості з зовнішнім світом, тоді як уявний експеримент є специфічною формою теоретичної діяльності суб'єкта.

Подібність уявного експерименту з реальним значною мірою визначається тим, що будь-який реальний експеримент, перед реалізацією його на практиці, спочатку здійснюється людиною подумки (під час обдумування та планування).

Тому уявний експеримент часто виступає у ролі ідеального плану реального експерименту, у певному сенсі попереджуючи його.

Уявний експеримент має більш широку сферу застосування, ніж реальний, тому що використовується не тільки під час підготовки та планування останнього, але й у тих випадках, коли проведення реальних дослідів виявляється неможливим.

Для проведення експерименту будь-якого типу необхідно:

- розробити гіпотезу, що підлягає перевірці;
- створити програми експериментальних робіт;
- визначити способи та прийоми втручання в об'єкт дослідження;
- забезпечити умови для здійснення процедури експериментальних робіт;
- розробити шляхи та прийоми фіксування ходу і результатів експерименту;
- підготувати засоби експерименту (прилади, установки, моделі тощо);
- забезпечити експеримент необхідним обслуговуючим персоналом.

Особливе значення має розробка методики експерименту.

Методика – це сукупність уявних і фізичних операцій, розташованих у певній послідовності, відповідно якій досягається мета дослідження.

Під час розроблення методик проведення експерименту необхідно передбачати:

- проведення попереднього цілеспрямованого спостереження за об'єктом вивчення або явищем із метою визначення вихідних даних (гіпотез, факторів варіювання тощо);
- створення умов, за яких можливе експериментування (підбір об'єктів для експериментального впливу, знешкодження впливу випадкових факторів);
- визначення меж вимірювання, систематичне спостереження за ходом розвитку явища, яке вивчається, і точний опис фактів;
- здійснення систематичної реєстрації вимірювань та оцінки фактів різними способами і засобами;

– створення ситуацій, що можуть повторюватися, зміна характеру умов і перехресних впливів, створення ускладнених ситуацій з метою підтвердження або заперечення раніше отриманих даних;

– перехід від емпіричного вивчення до логічного узагальнення, аналізу і теоретичного опрацювання отриманого фактичного матеріалу.

Вірно розроблена методика експериментального дослідження визначає його цінність. Тому розробка, вибір, визначення методики повинні здійснюватися особливо ретельно. При цьому необхідно враховувати не тільки особистий досвід, але й досвід інших учених і наукових колективів.

Необхідно впевнитись у тому, що дана методика відповідає сучасному рівню науки, умовам, за яких виконується дослідження.

Доцільно перевірити можливість застосування методик, що використовуються в суміжних проблемах і науках.

Вибравши методику експерименту, дослідник повинен упевнитися в можливості її практичного застосування. Це необхідно зробити навіть у тому випадку, коли методика давно перевірена практикою інших лабораторій, організацій, навчальних закладів тощо, тому що вона може виявитися неприйнятною або складною через специфічні особливості клімату, приміщення, лабораторного обладнання, персоналу, об'єкта дослідження.

При розгляді соціальних або гуманітарних проблем свою роль можуть відіграти особливості менталітету дослідника та інші чинники.

Перед кожним експериментом складається його план (програма), що містить:

1. Мету і задачі експерименту.
2. Вибір факторів варіювання.
3. Обґрунтування кількості дослідів.
4. Порядок реалізації дослідів і зміни факторів.
5. Вибір кроку зміни факторів.
6. Обґрунтування засобів вимірювання.

7. Опис проведення експерименту.

8. Обґрунтування способів обробки та аналізу результатів експерименту.

9. Вибір або розроблення комп'ютерних програм обробки експериментальних даних.

Експериментатор повинен бути добре ознайомлений з вимірювальною апаратурою, наявною на ринку країни (за допомогою каталогів, рекламних буклетів, прайс-листів тощо), яку можна придбати для наукових досліджень. Звичайно, у першу чергу, бажано використовувати серійні машини та прилади, робота на яких регламентується інструкціями, стандартами та офіційними документами.

Важливим є вибір методів обробки та аналізу експериментальних даних. Обробка даних зводиться до систематизації, класифікації, аналізу. Результати експериментів повинні бути зведені у зручній для користування формі запису – таблиці, графіки, формули, – які дозволяють швидко та якісно зіставляти отримане та аналізувати результати. Усі змінні повинні бути оцінені в єдиній системі одиниць фізичних величин.

Особливу увагу в методиці необхідно приділити математичним методам обробки та аналізу дослідних даних, наприклад, визначенню емпіричних залежностей, апроксимації зв'язків між характеристиками, що варіюються, встановленню критеріїв і довірчих інтервалів тощо. Діапазон чуттєвості (нечуттєвості) критеріїв необхідно стабілізувати.

Результати експериментів повинні відповідати трьом статистичним вимогам:

- ефективності оцінок, тобто, мінімальності дисперсії відхилення відносно невідомого параметра;
- реальності оцінок (тобто, при збільшенні кількості спостережень оцінка параметра повинна наближатися до його істинного значення);
- незміщеності оцінок, відсутності систематичних помилок у процесі обчислення параметрів.

Найважливішою проблемою при проведенні та обробці експерименту є сумісність цих вимог.

Після вибору та затвердження методики визначаються обсяг і трудомісткість експериментальних досліджень, які залежать від глибини теоретичних розробок, ступеня точності засобів вимірювання.

Чим чіткіше сформульована теоретична частина дослідження, тим менший обсяг експериментів.

У залежності від попередньої теоретичної підготовки можливі три випадки проведення експерименту:

1) якщо теоретично отримана аналітична залежність, що однозначно визначає досліджуваний процес (наприклад, $y = 3e^{-2x}$), то об'єм експерименту для підтвердження даної залежності буде мінімальним, оскільки функція однозначно визначається експериментальними даними;

2) якщо теоретичним шляхом встановлено лише характер залежності (наприклад, $y = ax^{kx}$), тобто, задана множина кривих, то експериментальним шляхом необхідно визначити як a , так і k , а, отже, обсяг експериментів зростає;

3) якщо теоретично не вдалось отримати яких-небудь залежностей процесу, то доцільним є пошуковий експеримент, при якому обсяг експериментів різко зростає.

У таких випадках доцільно застосувати метод математичного планування експерименту.

Кожному досліднику хочеться мати позитивний результат, а саме це в області незнайомого є справою непередбачуваною.

У цьому контексті успішним можна вважати отримання результатів, більш прийнятних, ніж ті, на які міг розраховувати сам дослідник.

Супутній успіх збільшує цінність об'єкта дослідження більше, ніж для цього були передумови.

Марконі замислив здійснити радіопередачу через океан, і дослід йому вдався, але лише зараз нам зрозуміло, якою великою була роль везіння. Уявимо, що дослідники велись би на таких довгих хвилях, які не можуть повертатися на Землю за рахунок відбиття від іоносфери – про це тоді не знали. Результат не був негативним лише тому, що виявились сприятливими супутні обставини.

Досягнення оцінюються не за труднощами їх отримання, а за значимістю можливих застосувань.

3.5. Моделювання

Наука є нічим іншим, як відображенням дійсності.
Ф. Бекон

Моделювання – це метод дослідження явищ і процесів, що ґрунтуються на заміні конкретного об'єкта досліджень (оригіналу) іншим, подібним до нього (моделлю).

Методи теорії подібності та моделювання широко застосовуються в різних наукових дослідженнях.

Моделювання включає наукові дослідження, націлені на вирішення як загально філософських так і загально наукових проблем, так і на вирішення конкретних наукових задач (технічних, медичних, історичних тощо), де моделювання виступає як інструмент дослідження.

Прийоми аналізу та апарат рішення при цьому різні, але метод, незалежно від цього, вимагає встановлення критеріїв подібності, тобто, словесного або математичного формулювання тих умов, за яких модель може вважатися такою, що закономірно відображає (у тому або іншому розумінні) оригінал.

Моделювання називають *предметним*, якщо дослідження проводиться на моделі, що відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні та функціональні характеристики і властивості „оригіналу”.

Якщо модель і об'єкт, що моделюється, одні і ті ж за своєю фізичною природою, то має місце *фізичне* моделювання. В його основі лежать теорія подібності та аналіз розмірностей.

Необхідні умови фізичного моделювання – геометрична (подібність форми) і фізична подібності моделі та оригіналу: у певні моменти часу і в певних точках простору значення змінних величин, які характеризують явища для оригіналу, повинні бути пропорційні значенням тих же величин для моделі.

Наявність такої пропорційності дозволяє перерахувати експериментальні результати, одержані для моделі, на оригінал множенням кожної з визначених величин на постійний для всіх величин даної розмірності множник – коефіцієнт подібності.

Аналогове (ізоморфне) моделювання ґрунтується на аналогії явищ, які мають різну фізичну природу, але описуються однаковими математичними залежностями. Воно є основним способом предметно-математичного моделювання, яке використовується для заміни одних досліджуваних явищ іншими. При цьому моделями служать знакові перетворення будь-якого виду: схеми, графіки, креслення, формули тощо.

Математичне моделювання здійснюється засобами мови математики і логіки. Воно дозволяє здійснювати за допомогою рішення цілого класу задач, що мають однаковий математичний опис; забезпечує простоту переходу від однієї задачі до іншої введенням змінних параметрів; дає можливість моделювання частинами (елементарними процесами).

Під час математичного моделювання вирішуються три основні задачі:

- побудова математичної моделі;
- знаходження її рішення;
- перевірка адекватності моделі процесу, що вивчається.

Перша задача передбачає встановлення зв'язку між параметрами процесу, а також граничних і початкових умов формалізації (математичного опису) досліджуваної системи.

Друга задача полягає в знаходженні цільової функції (показника якості або ефективності) від керованих і некерованих змінних при обмеженнях. При цьому коефіцієнти рівняння математичної моделі визначаються, як правило, експериментальним шляхом, а задача вирішується за допомогою комп'ютерних засобів. Оптимальне рішення, в залежності від структури, цільової функції та обмежень знаходиться методами теорії оптимальних рішень – математичного програмування (лінійного, нелінійного, динамічного, геометричного, стохастичного, дискретного, евристичного тощо).

Третя задача – встановлення справедливості прийнятих допущень і одержаної моделі. Слід відзначити, що математичне моделювання не протиставляється фізичному, а, швидше за все, доповнює його засобами математичного опису та чисельного аналізу.

В свою чергу, фізичне моделювання дозволяє визначити коефіцієнти рівнянь математичної моделі і встановити адекватність моделі досліджуваної системи.

Поняття моделі не є догматичним. Моделі апаратів і механізмів Леонардо да Вінчі та сучасні моделі складних систем мають колосальні відмінності, але, в той же час, і певну спільність: наявність деякої об'єктивної відповідності з оригіналом.

З позиції аналізу динаміки пізнавального процесу модель виступає своєрідним елементом наукової інформації. Це представлення трактує саме пізнання як множину переривчастих етапів, як дискретний процес зміни однієї моделі об'єкта іншою.

Реалізація ідеї дискретизації не тільки об'єктів пізнання, але й самого процесу пізнання – одна з важливих сторін моделювання, певний аспект пізнавальної діяльності в цілому.

Звичайно, створення моделі ще не означає, що наукове знання про досліджувані об'єкти повністю вичерпане.

Модель є засобом, але не метою дослідження. З її допомогою можна пояснити або передбачити явище (подію), але сама по собі модель ще не містить у собі готового пояснення або наукового передбачення. Щоб здійснити їх, необхідна наукова теорія.

Процес моделювання різних об'єктів, що є складними системами, може характеризуватися деякими загальними підходами. При цьому прийнято розрізняти наступні рівні деталізації:

- 1) вибір принципів побудови об'єктів;
- 2) розробка її структурної схеми;
- 3) визначення характеристик процесів функціонування об'єктів;
- 4) розробка функціональних блоків;
- 5) проектування елементів блоків.

У залежності від поставлених задач і вимог до їх вирішення можливі різні способи моделювання цих задач. Найбільшу розповсюдженість при оптимізації процесів отримали методи математичного моделювання, що пов'язані з побудовою так званих математичних (операційних) моделей, в яких, поряд із множиною проектних ситуацій і множиною рішень, які виникають у даних ситуаціях, знаходять відображення вимоги та фактори, які повинні бути врахованими при їх виборі.

Напрацювання рекомендацій відносно об'єкта, що проектується, полягає у пошуку такого рішення з множини можливих, яке найповніше задовольняло б цим вимогам.

Для цього застосовуються різні методи дослідження операцій, математичного програмування та інших розділів обчислювальної математики.

Поява комп'ютерів і впровадження автоматизованих методів проектування відкрили великі можливості заміни фізичних методів моделювання математичними.

Незважаючи на різноманіття використовуваних у дослідженнях математичних моделей, всі вони мають загальну структуру.

Зокрема, всі змінні у математичних моделях поділяються на 3 групи:

- **керовані**;
- **некеровані**;
- **похідні**.

Під *керованими змінними* розуміються такі, вибір конкретних значень яких і визначає вибір того або іншого рішення.

Некеровані змінні характеризують ситуацію, в якій повинне бути рішення. Ці змінні описують зовнішні фактори, які не залежать від рішень, що підлягають оптимізації, але впливають на наслідки прийняття того або іншого рішення.

Похідні змінні, які залежать від керованих і некерованих змінних, є результатами прийняття того або іншого рішення. До таких змінних відносяться техніко-економічні характеристики об'єкта.

В основі процесу вибору тих або інших рішень на різних етапах лежить досягнення деяких цілей, які можна розподілити на якісні та кількісні.

Під **якісними** розуміють цілі, яким відповідає лише два стани – ціль досягнута або не досягнута. Прикладом якісної цілі (мети) може бути намагання забезпечити отримання тієї або іншої техніко-економічної характеристики об'єкта в заданих межах.

Співвідношення, що описують умови досяжності якісних цілей, звичайно називають обмеженнями моделі (технічними обмеженнями), рішення, що задовольняють ці умови – допустимими, тому і критерії називають **критеріями допустимості**.

Під **кількісними** цілями розуміють такі, завдяки досягненню яких можна збільшити (або зменшити) деякі характеристики (наприклад, техніко-економічні) об'єкта, що залежать від прийнятих рішень.

З точки зору кількісної цілі рішення буде тим кращим, чим більшим (або меншим) є при цьому значення відповідного критерію.

Критерії, що служать для вираження кількісних цілей, називають **критеріями ефективності** або **частковими критеріями ефективності**.

В реальних проектних задачах виникає необхідність під час вибору певного рішення враховувати можливість досягнення декількох кількісних цілей, часто – суперечливих. У цих ситуаціях приходиться враховувати декілька часткових критеріїв ефективності.

Найпростіший спосіб вирішення цієї проблеми – побудова узагальненого критерію, який був би в загальному випадку скалярною сумою часткових критеріїв. Залежність між узагальненим критерієм або частковим критерієм ефективності (оптимальності) і такими параметрами, що підлягають оптимізації, називають **цільовою функцією**.

Таким чином, якість проектного рішення буде тим кращою (за сукупністю мети), чим більше (або менше) відповідне йому значення цільової функції.

Цільова функція повинна задовольняти вимогам: достатньо повно описувати об'єкт; мати певний фізичний сенс; просто описуватися у математичному вигляді; визначатися з допустимою (необхідною) точністю.

Побудова математичних моделей різних об'єктів – досить складний творчий процес, який вимагає від розробника знання предметної області, до якої відноситься об'єкт, що проектується, методів математичного моделювання і певної винахідливості.

Якість створених математичних моделей багато в чому залежить від коректної постановки задачі. На цьому етапі необхідно визначити техніко-економічну мету задачі, що вирішується, зібрати і проаналізувати всю вихідну інформацію, визначити технічні обмеження.

Під час побудови моделей необхідно застосовувати методи системного аналізу. Причому, процес моделювання, як правило, носить ітераційний характер, який передбачає на кожному наступному кроці уточнення рішень, прийнятих на попередніх етапах розробки моделей.

3.6. Формалізація

*Недостатньо тільки мати добрий розум,
головне – це добре застосовувати його.*

Р. Декарт

Формалізація виступає в якості одного із сучасних видів загальної закономірності пізнавального процесу – абстрагування. Формалізоване абстрагування виступає, таким чином, в якості деякого цілеспрямованого „препарування” суб’єктом об’єкта.

Практична продуктивність цієї уявної процедури визначається подвійним характером абстракції: абстрагуватися – це значить не тільки відволікатися від певних рис буття, але й виділяти деякі найбільш значимі в даних умовах риси. В суспільно-науковій літературі звичайно визначають два важливих моменти формалізації:

1) жорсткість формалізму, чітка фіксованість його елементів;

2) ефективність формалізму, тобто, здатність його автоматично вести до нових результатів.

Це часткові методичні особливості формалізації.

Крім цього, відзначимо її більш загальні методологічні риси:

– абстрагованість від деяких рис явища, яке підлягає формалізації, або умова обов’язкової односторонності природно-наукової теорії;

– зосередженість на пізнанні за реальними відношеннями, наприклад, такими, як: структурно-конструктивні, що визначають будову об’єкта; структурно-функціональні, що визначають поведінку об’єкта при відмові від безпосереднього аналізу матеріального субстрату;

– активність і динамізм, тобто, здатність формалізму розчленовувати фактори реального явища на суттєві і несуттєві, здатність модифікуватися в міру перетворення раніше несуттєвих факторів у суттєві.

Основний шлях наукового пізнання проходить через подальше підсилення і розвиток взаємозв'язку та взаємодії абстрактно-формалізованих і чуттєво-змістовних прийомів дослідження. Але у цій методологічній єдності протилежностей питома вага компоненти, пов'язаної з формалізованими прийомами, неухильно зростає.

Подальший розвиток науки значною мірою проявиться у формалізації характеристики змісту, у процесі наповнення формальних виразів реальним змістом. При цьому підсилення тенденцій формалізації не можна звести лише до зростання значення логіки (математичної логіки): розвиток і розширення застосування формальної логіки виявляються лише моментом більш загальної тенденції формалізації знання.

3.7. Ймовірісно-статистичні методи досліджень

У багатьох випадках необхідно дослідити не тільки детерміновані, а й випадкові, ймовірісні (стохастичні) процеси. Найчастіше процеси протікають в умовах безперервно змінюваних обставин: вимушена бездіяльність; нерівномірність ходу; безперервна зміна зовнішніх факторів тощо.

Ті або інші події можуть або відбуватися, або не відбуватися.

Тому приходиться аналізувати випадкові, ймовірісні або стохастичні зв'язки, в яких кожному аргументу відповідає безліч значень функції. У цих випадках теорія ймовірностей дозволяє подати результат не однієї якої-небудь події, а середній результат випадкових подій, і тим точніше, чим більша кількість явищ, які підлягають аналізу.

Теорія ймовірностей вивчає випадкові події і базується на наступних основних показниках. Сукупність множини однорідних подій випадкової величини X складає **первинний статистичний матеріал**.

Сукупність, що містить самі різні варіанти масового явища, називають **генеральною сукупністю** або **великою вибіркою** N .

Як правило, вивчають лише частину генеральної сукупності, яку називають **вибірковою сукупністю** або **малою вибіркою** N_1 .

Ймовірністю $p(x)$ події x називають відношення кількості випадків $N(x)$, що призводять до настання події x , до загальної кількості можливих подій. Математична статистика має справу зі способами обробки та аналізу емпіричних подій.

Ці споріднені науки складають єдину математичну теорію масових випадкових процесів, широко застосовувану в наукових дослідженнях.

У математичній статистиці важливе значення має частота події $\bar{y}(x)$, що являє собою відношення кількості випадків $n(x)$, за яких трапилася подія, до загальної кількості подій n :

$$\bar{y}(x) = n(x) / n .$$

При необмеженому зростанні кількості подій частота $y(x)$ прагне до імовірності $p(x)$. Частота $y = n(x) / \sum n(x)$ характеризує імовірність прояву випадкової величини і являє собою ряд розподілу (рис. 6), а плавна крива – закон (функцію) розподілу $F(x)$.

Ймовірність випадкової величини (події) – це кількісна оцінка можливості її появи.

Достовірна подія має імовірність $p = 1$, неможлива подія – $p = 0$. Отже, для випадкової події $0 \leq p(x) \leq 1$, а сума ймовірностей всіх можливих значень

$$\sum_0^n p_i = 1 .$$

В дослідженнях іноді недостатньо знати функцію розподілу. Необхідно ще мати її характеристики: середньоарифметичне

відхилення та математичне чекання, дисперсію, розмах ряду розподілу.

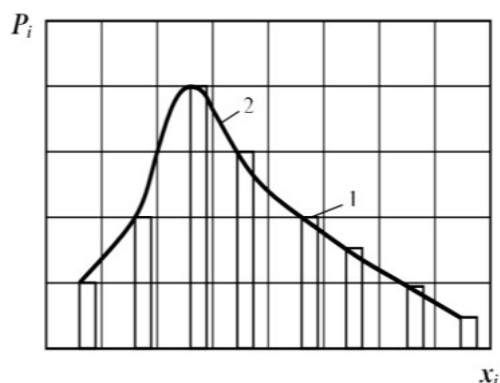


Рис. 6. Загальний вигляд розподілу випадкових величин: 1 – гістограма; 2 – крива розподілу.

Нехай серед n подій випадкова величина x_1 повторюється n_1 раз, величина $x_2 - n_2$ рази і т. д. Тоді середньоарифметичне значення x має вигляд:

$$\bar{x} = \sum_1^n (x_i n_i / n).$$

Розмах можна використовувати для орієнтовної оцінки варіації низки подій

$$R = X_{max} - X_{min},$$

де X_{max} , X_{min} – максимальне та мінімальне значення вимірюваної величини або похибки.

Якщо замість емпіричних частот y_1, \dots, y_n прийняти їхні імовірності p_1, \dots, p_n , то це дасть важливу характеристику розподілу – математичне очікування:

$$m(x) = \sum_1^n x_i p_i.$$

Мірою розсіяння (точності вимірювань) є дисперсія або середньоквадратичне відхилення. Таким чином, дисперсія характеризує розсіювання випадкової величини по відношенню до математичного очікування та визначається за допомогою формули

$$D(x) = \sum_1^n (x_i - m(x))^2 p_i.$$

Також важливою характеристикою теоретичної кривої розподілу є середньоквадратичне відхилення

$$\sigma(x) = \sqrt{D(x)}.$$

При дослідженні імовірнісних систем широке розповсюдження отримали дисперсійний, регресійний, кореляційний і спектральний аналізи, а також їхні різноманітні комбінації (наприклад, кореляційно-спектральний аналіз).

У дослідженнях часто виникає необхідність виявлення факторів або їх комбінацій, які суттєво впливають на досліджуваний процес, тому що при вимірюванні якої-небудь величини результати звичайно залежать від багатьох

факторів. Для визначення основних факторів і їх впливу на досліджуваний процес застосовується дисперсійний одно- і багатofакторний аналіз.

Методи теорії ймовірностей і математичної статистики часто застосовуються в теорії надійності, яка широко використовується в різних галузях науки і техніки.

3.8. Оптимізація досліджуваних процесів

Під час аналізу математичного результату, отриманого за допомогою теоретичного дослідження, часто ставляться задачі оптимізації з математичним програмуванням: аналітичні; градієнтні; автоматичні з самоналагоджувальними моделями.

Оптимізація аналітичними методами – це визначення екстремального значення деякої функції $\varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)$ в області значень параметрів x_1, x_2, \dots, x_n . Але при оптимізації складних реальних процесів класичні аналітичні методи використовуються рідко і замість них застосовується метод найшвидшого (градієнтного) спуску та підйому.

Суть методу можна зрозуміти з наступного прикладу. Припустимо, що необхідно знайти екстремум цільової функції $f(x_1, x_2)$, яка описує деяку поверхню (рис. 7).

Для знаходження екстремуму вибирається будь-яка точка поверхні $A_0(x_{01}, x_{02})$, потім визначається найбільш крутий напрямок підйому або спуску, що називається градієнтом і позначається через \bar{g} .

За напрямком градієнта розпочинається рух із кроком $c\bar{g}$ до оптимуму (c – постійна, що залежить від точності вимірювання).

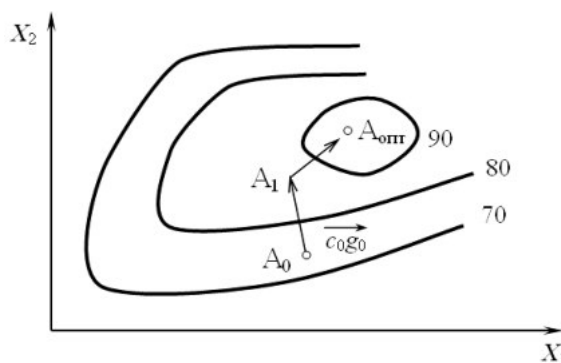


Рис. 7. Схема просування до оптимуму за градієнтом (круте сходження)

При цьому досягається нова точка $A_1(x_{11}, x_{22})$, в якій повторюють описану процедуру до того часу, поки не визначиться точка з дійсним екстремумом.

На практиці зустрічаються задачі оптимізації, коли при знаходженні екстремуму цільова функція f і граничні рівняння її області S виявляються лінійними.

При розв'язуванні задачі такого класу найчастіше застосовуються методи лінійного програмування, суттю яких є знаходження екстремуму критерію оптимальності.

Цільова функція у таких випадках подається у вигляді суми

$$f(x_1, x_2, \dots, x_i) = \sum_{i=1}^n c_i x_i \rightarrow \min(\max).$$

Обмеження задаються у вигляді нерівностей

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{im}x_m \geq b_i; \quad x_1, x_2, x_3, \dots, x_m \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

де a, b – константи; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ – незалежні змінні.

Задачі лінійного програмування вивчені досить повно і для багатьох із них існують стандартні програми.

У деяких випадках використовують нелінійне програмування. Цільова функція у таких випадках записується у вигляді суми нелінійних доданків:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n d_j x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n e_{ij} x_i x_j,$$

де d, e – незалежні константи.

Рішення багатьох задач методами лінійного та нелінійного програмування забезпечує певний економічний ефект.

Деякі виробничі процеси безперервно змінюються. До них можна віднести процеси управління виробництвом.

У зв'язку зі зміною умов виробництва необхідно розглядати нові ситуації.

Розв'язати такі практичні задачі можна за допомогою методу динамічного програмування.

Динамічне програмування („динамічне планування”) являє собою математичний метод оптимізації рішень, спеціально пристосований до довгострокових (або багатоетапних) операцій.

В основу задач динамічного програмування покладено принципи оптимального управління процесом у відповідності з поставленою метою і станом системи в період, що розглядається, незалежно від зміни умов, які привели систему до даного стану.

Цільова функція виражається у таких випадках сумою

$$\omega = \sum_{k=0}^{N-1} f_0[x(k), u(k)] = \max(\min),$$

де N – загальна кількість інтервалів (кроків); $u(k)$ – управлінський вплив; $x(k)$ – значення координати в дискретні моменти часу t .

При оптимальному управлінні даний функціонал повинен бути мінімізований (або максималізований).

Для оптимізації процесу методами лінійного або динамічного програмування немає стандартних рішень. У кожному конкретному випадку застосовують той або інший метод.

Варто мати на увазі, що при рішенні задач оптимізації можуть виникнути випадки, коли внаслідок оптимізації якого-небудь одного процесу погіршується інший.

Тому при оптимізації необхідно дотримуватися так званої комплексності рішення, коли досліджуються всі особливості процесу, що вивчається.

При розгляді задачі необхідно поетапно оцінювати обстановку в цілому, яка може змінюватися внаслідок оптимізації досліджуваного процесу.

Тут наведено особливості лише деяких математичних методів теоретичних досліджень. Детальне їх вивчення та отримання практичного досвіду застосування можливе шляхом ознайомлення зі спеціальною літературою в залежності від профілю дослідження.

3.9. Регресійний аналіз

*Докази оцінюються за
якістю, а не за кількістю.
Латинське прислів'я*

Під регресійним аналізом розуміють дослідження закономірностей зв'язку між явищами (процесами), що залежать від багатьох, іноді невідомих, факторів. Часто між змінними x і y існує зв'язок, але нечітко визначений, за яким одному значенню x відповідає декілька значень (сукупностей) y .

У таких випадках зв'язок називають регресійним.

Таким чином, функція $y = f(x)$ буде регресійною (кореляційною), якщо кожному значенню аргумента відповідає статистичний ряд розподілу y .

Отже, регресійні залежності характеризуються ймовірнісними або стохастичними зв'язками.

Тому визначення регресійних залежностей між величинами y і x можливе лише тоді, коли можливе виконання статистичних вимірювань.

Статистичні залежності описуються математичними моделями процесу, тобто, регресійними виразами, що пов'язують незалежні значення x (фактори) із залежною змінною y (результативна ознака, функція, цілі, відгук).

Якщо це можливо, модель повинна бути простою і адекватною.

Залежність між однією випадковою змінною та умовним середнім значенням другої випадкової змінної називається кореляційною залежністю.

Вона характеризується формою і щільністю зв'язку. Рівняння регресії, отримане на основі обробки масиву даних спеціальними математичними методами, визначає форму зв'язку, а отриманий цими ж методами коефіцієнт кореляції – щільність зв'язку.

Кореляційна залежність може бути лінійною і нелінійною, парною та множинною.

Форма лінійної кореляційної залежності описується поліномом 1-ої степені і графічно представляє собою пряму лінію або площину, а форма нелінійної кореляційної залежності – поліномами високих порядків, графічно – це крива лінія або криволінійна поверхня.

Суть регресійного аналізу зводиться до визначення рівняння регресії, тобто, виду кривої, що показує залежність між випадковими величинами (аргументом x і функцією y), оцінки щільності зв'язків між ними, достовірності і адекватності результатів вимірювань.

Щоб попередньо визначити наявність такого зв'язку між x і y , наносять точки на графік і будують так зване кореляційне поле (рис. 8).

За щільністю групування точок навколо прямої або кривої лінії, за нахилом лінії можна візуально судити про наявність кореляційного зв'язку (рис. 8, а).

Зокрема, між x і y вимірювання, здійснені за рис. 8, б, такого зв'язку не показують.

Кореляційне поле характеризує вид зв'язку між x і y . За формою поля можна орієнтовно судити про форму графіка, який характеризує прямолінійну або криволінійну залежності.

Навіть для досить чіткої форми кореляційного поля внаслідок статистичного характеру зв'язку

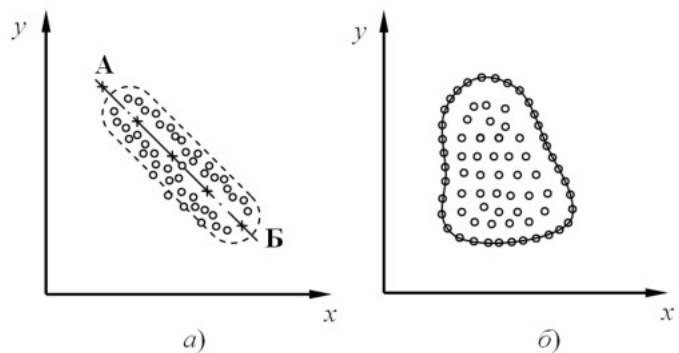


Рис. 8. Кореляційне поле

досліджуваного явища одне значення X може мати декілька значень Y .

Якщо на кореляційному полі усереднити точки, тобто, для кожного значення x_i визначити x і з'єднати точки \bar{y}_i , то отримаємо ламану лінію, що називається експериментальною регресивною залежністю (лінією).

Наявність ламаної лінії пояснюється похибкою вимірювань, недостатньою кількістю експериментів, самою сутністю досліджуваного явища тощо.

Якщо на кореляційному полі провести плавну лінію між \bar{y}_i , що буде рівновіддаленою від них, то з'явиться нова теоретична регресійна залежність – лінія **АБ** (рис. 8, *a*).

Розрізняють однофакторні (парні) та багатфакторні регресійні залежності. Парна регресія при парній залежності може бути апроксимована прямою лінією, параболою, гіперболою, логарифмічною, степеневою функцією, поліномом тощо.

Двофакторне поле можна апроксимувати площиною, параболоїдом другого порядку, гіперболоїдом.

Для змінних факторів зв'язок може бути визначений за допомогою n -мірного простору рівнянням другого порядку:

$$y = b_0 + \sum_1^n b_i x_i + \sum_1^n b_{ij} x_i x_j + \sum_1^n b_{ii} x_i^2,$$

де y – функція мети (відгуку) багатфакторних змінних; x_i – незалежні фактори; b_i – коефіцієнти регресії, що характеризують вплив фактора x_i на функцію мети; b_{ij} – коефіцієнти, що характеризують подвійний вплив факторів x_i та x_j на функцію мети.

На практиці часто виникає потреба визначення зв'язку між y і багатьма параметрами x_1, x_2, \dots, x_n на основі багатфакторної регресії.

Багатфакторні теоретичні регресії апроксимуються поліномами першого або другого порядку.

Математичні моделі характеризують стохастичний процес явища, яке вивчається, рівняння регресії визначають систематичну, а похибки розсіювання – випадкову складові.

Теоретичну модель множинної регресії можна отримати методами математичного планування (активним експериментом), а також пасивним експериментом, коли точки факторного простору вибираються під час експерименту довільно.

Оцінка адекватності теоретичних рішень.

Внаслідок експерименту отримують статистичний ряд, як правило, парних, однофакторних (x_i, y_i) або багатфакторних (a_i, b_i, c_i) вимірювань (визначень). Статистичні вимірювання піддають обробці та аналізу, підбирають емпіричні формули і встановлюють їхню достовірність.

Перед підбором емпіричних формул необхідно ще раз упевнитись у достовірності експерименту, остаточно перевірити відтворюваність результатів за критерієм Кохрена.

Оцінка придатності гіпотези дослідження, а також теоретичних даних на адекватність, тобто, відповідність теоретичної кривої експериментальним даним, необхідна у всіх випадках, на стадії аналізу теоретико-експериментальних досліджень.

Методи оцінки адекватності ґрунтуються на використанні довірчих інтервалів, які дозволяють із заданою довірчою імовірністю визначати вихідні значення оцінюваного параметра.

Сутність такої перевірки є у співставленні отриманої та передбачуваної теоретичної функції $y = f(x)$ з результатом. На практиці для оцінки адекватності застосовують різні статистичні критерії згоди.

Одним із таких критеріїв є критерій Фішера.

Встановлення адекватності – це визначення похибки апроксимації дослідних даних.

Для цього необхідно розраховувати експериментальне (дослідне) значення критерію Фішера – $K_{фе}$ і порівняти з його теоретичним (табличним) значенням $K_{фт}$, яке приймається при необхідній довірчій імовірності p_d (найчастіше $p_d = 0,95$). Якщо $K_{фе} < K_{фт}$, то модель адекватна; якщо $K_{фе} \geq K_{фт}$ – модель неадекватна.

Дослідний критерій Фішера визначають за формулою:

$$K_{фе} = D_a / D_{cp},$$

де D_a – дисперсія адекватності; D_{cp} – середня дисперсія всього експерименту.

Критерій Фішера використовується для визначення адекватності малих вибірок.

При великих вибірках доцільно застосовувати критерії Пірсона, Романовського, Колмогорова.

3.10. Системний аналіз

*Якби робити було б настільки ж легко,
як знати, що необхідно робити, – дзвіниці
були б храмами, халупи – палацами.
В. Шекспір*

Системність – це загальна властивість матерії, форма її існування, а, отже, і невід’ємна властивість людської практики, у т. ч., і мислення. Будь-яка діяльність людини може бути і повинна бути системною.

Синонімом слова „системність” із певним допущенням може бути слово „цілісність”, що означає внутрішню єдність, єдине ціле.

При вивченні складних взаємопов’язаних між собою проблем застосовується системний аналіз, який отримав широке розповсюдження в різних сферах наукової діяльності людини.

В його основі лежить поняття системи, під якою розуміють повний цілісний набір елементів, взаємопов’язаних між собою так, щоб могла реалізуватися функція системи.

Системний аналіз має загальний міждисциплінарний характер, тобто, він стосується утворення, розвитку, функціонування, синтезу будь-яких систем.

Системний аналіз – комплекс спеціальних процедур, прийомів, які дозволяють реалізувати системний підхід при дослідженнях, і вирішені практичних задач в різних областях діяльності людини.

З практичної точки зору системний аналіз – це система методів дослідження або проектування складних систем, пошуку планування та реалізації проблем.

З методологічної точки зору системний аналіз дає можливість намітити необхідну послідовність взаємопов'язаних операцій, яка складається з формування проблеми, розроблення (конструювання) шляхів вирішення проблеми та реалізації цього рішення.

При цьому рішення містить оцінку та відбір альтернатив за заздалегідь обраними критеріями. Системний аналіз об'єднує всі необхідні методи, знання та дії для вирішення проблеми.

Сучасний системний аналіз в загальних рисах містить такі види діяльності:

- наукове дослідження (теоретичне та експериментальне) питань, пов'язаних із проблемою;
- проектування нових систем і змін у діючих системах;
- впровадження результатів, отриманих під час проведення аналізу.

Однією з форм проведення системного аналізу є системний підхід, який являє собою етап початкового якісного аналізу, проблеми та постановки задач. Системний підхід також можна розглядати як певну практичну методологію, за допомогою якої вчений активно досягає бажаної мети.

Ця методологія передбачає розгляд об'єкта, що вивчається, у всій його повноті і складності будови, цілісності, взаємодії та взаємообумовленості всіх складових елементів між собою та із середовищем, з якого цей об'єкт виділено.

Тому системний підхід вимагає розвитку системного творчого мислення, яке дозволяє бачити проблему в цілому з різних сторін, бачити зв'язки між її частинами. Саме у складності будови об'єкта народжується нова якість, що була відсутня в елементах, із яких він складається.

Важливим для діяльності наукового працівника є системне мислення – вміння бачити одночасно як об'єкт вивчення або технічну систему, так і надсистему, до якої він належить, і підсистему, що є його складовою частиною;

бачити зв'язки і між ними, і всередині них, сприймати будь-який об'єкт всесторонньо. При цьому для кожного компонента цієї ієрархії необхідно вміти бачити минуле, сьогоденне та майбутнє.

Ядром системного аналізу є функціонально-структурний аналіз (підхід), що базується на взаємозалежності функції та структури під час розвитку системи при визначальній ролі функції системи по відношенню до її структури.

Структура – це система відношень (зв'язків). Вона являє собою спосіб функціонування системи, спосіб її буття, форму самопідтримання та перетворення її в іншу систему. Можна сказати, що поняття „структура” визначає саме суттєве в системі аналогічно тому, як поняття „закон” визначає сутність явища.

Системний аналіз складається з чотирьох основних **етапів**.

Перший етап – це *постановка задачі*.

При цьому визначають об'єкт, мету і завдання дослідження, а також критерії для вивчення та управління об'єктом.

Невірна або неповна постановка мети може звести нанівець результати всього наступного аналізу.

В ході другого етапу *окреслюють межі системи*, що вивчається, і визначають її структуру.

Об'єкти і процеси, що мають відношення до поставленої мети, розбиваються на власне систему вивчення та зовнішнє середовище. При цьому розрізняють закриті та відкриті системи.

Якщо досліджують закриту систему, то впливом на її поведінку зовнішнього середовища нехтують. Потім виділяють окремі складові частини системи – її елементи, визначають взаємодію між ними та зовнішнім середовищем.

Третій етап системного аналізу – це *створення математичної моделі* досліджуваної системи. Спочатку проводять параметризацію системи, описують виділені елементи системи та їх взаємодію.

В залежності від особливостей процесів використовують той або інший математичний апарат для аналізу системи в цілому.

Внаслідок роботи, виконаної під час третього етапу системного аналізу, формуються закінчені математичні моделі системи, описані на формальній, наприклад, алгоритмічній мові.

Четвертий етап передбачає *аналіз отриманої математичної моделі*, визначення її екстремальних умов із метою оптимізації та формулювання висновків.

Оптимізація у цьому випадку – це знаходження оптимуму функції, що розглядається (математичної моделі досліджуваної системи, процесу), та, власне, оптимальних умов поведінки даної системи або протікання процесу.

Оптимізацію оцінюють за критеріями, що приймають у таких випадках екстремальні значення (які відображають, наприклад, максимальну ефективність досліджуваного процесу, мінімальну вартість продукції, мінімальні витрати енергії, матеріалів тощо).

На практиці обрати належний критерій досить складно, тому що в задачах оптимізації може виявитися необхідність у багатьох критеріях, які іноді виявляються взаємно суперечливими.

Тому найчастіше вибирають який-небудь один основний критерій, а для інших установлюють порогові гранично допустимі значення.

На основі вибору складається залежність критерію оптимізації від параметрів моделі досліджуваного об'єкта (процесу).

Такий результат дослідження надзвичайно важливий для практики, тому що він дає певне дослідне відпрацювання задачі.

Системний аналіз є в значній мірі мистецтвом, що увібрало в себе і основи науки, і закони логіки, і деякі специфічні процедури та категорії.