

Розділ 1

Предметна область системного аналізу

- ♦ Становлення і розвиток системного аналізу
- ♦ Основні властивості та особливості розвитку системного мислення
- ♦ Роль фундаментальних відкриттів у системному сприйнятті світу
- ♦ Етапи розвитку системного аналізу як прикладної наукової методології
- ♦ Роль глобалізації світових процесів у розвитку інформаційного суспільства
- ♦ Становлення і розвиток системності практичної діяльності людини
- ♦ Системний аналіз як універсальна прикладна наукова методологія

У процесі вивчення системного аналізу важливо передусім проаналізувати причини і фактори, що зумовили можливість його становлення й розвитку як універсальної наукової методології, зрозуміти роль і місце системного аналізу в сучасних галузях наукових знань, у різних сферах практичної діяльності, а також виявити міру його впливу на розвиток суспільства.

Необхідність такого підходу обумовлена видатними досягненнями ХХ століття, зокрема освоєнням космосу; розробкою й масовим впровадженням обчислювальної техніки, інформаційних технологій і світової мережі Інтернет; швидким розвитком і широким застосуванням авіації; дослідженням ядерних процесів, освоєнням і розвитком атомної енергетики. Стрімкий розвиток наукомістких технологій і технічного оснащення в різних галузях виробництва й обслуговування, включаючи медицину, фармакологію, генну інженерію, низка інших найбільших досягнень науково-технічного прогресу увійшли в історію цивілізації як результат погодженої взаємодії науки, освіти і промисловості.

В усі ці досягнення зробили свій вагомий внесок різні науки, які охоплюють багато галузей знань і різні історичні періоди. Це були науки, що зародилися у Стародавньому світі, і науки, формування яких почалося лише у ХХ столітті. До останніх поряд з іншими новітніми напрямками, такими як кібернетика, дослідження операцій, загальна теорія систем, системотехніка, теорія прийняття рішень, теорія оптимізації, належить і системний аналіз.

1.1. Становлення й розвиток системного аналізу

Щоб правильно зрозуміти роль та об'єктивно оцінити значення системних досліджень і системного аналізу в різних сферах практичної діяльності людини, необхідно мати чітку й обґрунтовану відповідь на запитання «Чи є ідеї та принципи системності породженням моди в науці?» або «Чи процес становлення і розвитку системного аналізу є об'єктивною необхідністю?».

1.1.1. Основні особливості розвитку системного мислення

У другій половині XX століття дати відповіді на зазначені вище питання намагався один з основоположників принципів системності Л. фон Берталанфі [11]: «Якщо ми хочемо вірно подати й оцінити сучасний системний підхід, то саму ідею системності є сенс розглядати не як породження минулої моди, а як явище, розвиток якого вплетено в історію людської думки». Однак ця фраза залишає без відповіді два дуже важливих запитання. По-перше, які обставини наводять на міркування про «минулу моду»? По-друге, що пов'язує «ідею системності» та «історію людської думки»?

Відповідь на перше запитання досить проста. Періодичним дискусіям сприяла ситуація в науці, яка склалася у другій половині XX століття. З одного боку, на передньому плані наукових досліджень опинилися роботи, об'єднані спільною назвою «системний аналіз» [113]. З іншого боку, для повсякденного життя з'явилася така цікава особливість: «Кожен, хто захотів би проаналізувати найуживаніші сучасні поняття й узвичаєні вислови, знайшов би на початку списку слово «система». Поняття системи поширилося на всі сфери науки і проникло у повсякденне мислення, розмовну мову і засоби масових комунікацій» [10]. Результатом цього стала не лише поява незліченної кількості публікацій, проведення конференцій, симпозіумів, але й різне, часом неоднозначне, розуміння і тлумачення таких основних понять, як «система», «системність», «системний підхід», «системний аналіз», «системне мислення», що мимоволі наводить на думку про минулу моду [196].

Така ж ситуація зберігається і на початку XXI століття. Як і раніше, виявляються суттєві різночитання й розбіжності у трактуванні багатьох практично важливих понять і визначень, що характерно навіть для тих авторів, які безпосередньо беруть участь у системних дослідженнях або є прихильниками системної методології. Відсутність загальноприйнятого розуміння багатьох ключових положень і проблем системного аналізу, зокрема сутності й специфіки системних досліджень, їхньої спрямованості та місця в сучасній науці, а також невисокі потенційні можливості і неусувні обмеження різних підходів та методів системного аналізу, різноманітність їхнього застосування порівняно з методологіями інших дисциплін свідчать, що процес формування системного аналізу як наукової дисципліни ще не завершений, його напрями остаточно не сформувалися.

Предметна область системного аналізу зводиться до вивчення складних багаторівневих множин систем різної природи та різних видів і класів з різноманітними властивостями і відношеннями між ними. Вона настільки широка, що не підлягає строгой та однозначній класифікації й впорядкуванню.

Ще чітко не формалізовано й однозначно не визначено *предмет цілей вивчення й апарат дослідження* як сукупність знань, описів, пояснень та передбачень властивостей, можливостей, процесів і явищ, що відбуваються в сучасних системах різного призначення.

Методи системного дослідження як способи чи шляхи практичного або теоретичного пізнання явищ і закономірностей функціонування і розвитку складних систем є досить різноманітними і не обмежуються будь-якими рамками.

Сьогодні можна говорити лише про формування *системного аналізу* як наукової методології, або сукупності методів вивчення структури, логічної організації, властивостей і характеристик поведінки та розвитку складних систем. На жаль, усе ще відсутнє загальноприйняте розуміння багатьох ключових понять проблематики і методології системного аналізу, зокрема понять, що відображають специфіку та інструментарій системного аналізу, особливості і властивості об'єктів системних досліджень, умови формалізації і розв'язання системних задач.

Разом із тим вражає факт надзвичайно широкого й швидкого поширення системних досліджень у найрізноманітніших галузях науки та практики. Це підтверджують високі кількісні та якісні показники темпів розвитку системних досліджень упродовж більш ніж 50 років [10, 12–14, 38, 40–42, 63, 88, 91, 102, 113, 115, 151, 155, 157, 158, 196, 199, 205, 208, 210, 214–216, 221–223]. Тенденції розширення зазначеної проблематики зберігаються й у XXI столітті. Ідеї і можливості системної методології привернули увагу фахівців із таких структурованих предметних галузей, як медицини, екології, соціології, фінансової сфери та інших галузей знань. Є багато прикладів, коли системне мислення, системна методологія і системний аналіз успішно витримали випробування у розв'язанні складних і практично важливих задач і забезпечили можливість одержання визначних якісно нових результатів.

Відповідь на запитання, що пов'язує «ідею системності» та «історію людської думки», не настільки очевидна, і тому потребує певних пояснень. Передусім варто звернути увагу на ту обставину, що ідею системності в цитованій фразі розглядають не як ординарну подію в житті суспільства, а як явище, «вплетене в історію людської думки». Тому слід виявити причини і фактори, що зумовлюють настільки високу значимість ідеї системності. Далі необхідно визначити сутність і новизну системного мислення, його практичне значення як своєрідного внеску ідей системності в розвиток людської думки. Оцінка світоглядної ролі системного мислення як антитези класичному раціоналізму і механіцизму та зумовлені ним досягнення в розвитку людської думки наведені в [159]. Однак для успішного розв'язання реальних системних задач вирішальне значення має інша, прагматична роль системного мислення. Тому так важливо виконувати подальші дослідження процесу становлення і розвитку системного аналізу з прагматичної точки зору.

Аналіз розвитку науки в цілому свідчить про те, що результативність кожної наукової дисципліни визначають такі групи факторів:

- ♦ актуальність, наукова і практична значимість проблематики;
- ♦ науковий рівень і практичні можливості теоретичного і методологічного інструментарію дослідження;
- ♦ здатність дослідника освоїти відповідну теорію і методологію, уміння раціонально застосовувати та вдосконалювати засоби, що використовуються.

У процесі становлення і розвитку науки перелічені групи факторів безупинно змінюються, уточнюються, вдосконалюються на основі взаємного стимулювання і раціонального узгодження потреб практики і можливостей науки. Розвиток відбувається у формі своєрідного тандема: нові задачі практики стимулюють розвиток науки, а нові досягнення науки створюють можливість для розв'язання нових практичних проблем, розширення сфери досліджень, розробки виробів і технологій.

Отже, теоретичну значимість і практичну корисність наукової дисципліни визначає як рівень можливостей кожної групи факторів, так і рівень взаємного узгодження їхніх можливостей. Досвід свідчить, що реалізація нових ідей і технічних рішень залежить від можливостей науки і здатності дослідника формалізувати і розв'язати відповідні задачі проектування, а також від можливостей промислових технологій реалізувати проект і створити виріб із необхідними показниками якості.

Слід підкреслити особливу значимість процедури формалізації задач, зокрема, під час реалізації інноваційних ідей і технічних рішень, проектування новітніх зразків техніки, що не мають ані аналогів, ані прототипів. Такі задачі характеризуються концептуальною невизначеністю, яку розуміють як єдину систему невідомості, що включає:

неоднозначність і суперечливість вимог до виробу; суперечливість цілей і неоднозначність умов застосування виробу; невизначеність і непередбачуваність можливих дій конкурентів; необмеженість і неможливість прогнозування багатьох ситуацій ризику на різних стадіях життєвого циклу виробу.

Розкриття концептуальної невизначеності є системною задачею [120], оскільки розкриття усіх видів невизначеності слід виконувати на базі єдиних принципів, критеріїв і цілей. Складність задач і труднощі їхнього розв'язання зумовлені невизначеністю багатьох альтернатив і критеріїв вибору [43]. Тому результати цілком залежать від здібностей і вміння дослідника вирішити цю проблему. Звідси впливають найважливіші риси системного дослідника:

- ♦ здатність до самооцінювання і самоадаптації — повинен знати, як використовувати те, що йому відомо; розуміти, які ще відомості необхідно отримати; як і де дізнатися про те, чого він ще не знає;
- ♦ вміння оцінити та сформулювати апарат дослідження — має знати, як для досягнення цілей дослідження можна використати наявний інструментарій; розуміти, що необхідно додатково робити те, чого за допомогою наявного інструментарію реалізувати неможливо; бути здатним визначити, з використанням яких додаткових інструментальних засобів можна виконати те, чого не дозволяє реалізувати наявний інструментарій;
- ♦ здатність до оцінювання і формалізації задачі — повинен знати, як використовувати для формалізації задачі те, що апіорі відомо; вміти оцінити, наскільки для формалізації задачі необхідне, можливе і доцільне розкриття наявної невизначеності; бути спроможним визначити, що обов'язково слід зробити для розкриття невизначеності під час формалізації і розв'язання задачі.

Щоб задовольнити ці вимоги, досліднику недостатньо лише формально оволодіти системною методологією і навчитися раціонально використовувати її на практиці. Він має корінним чином змінити не лише своє ставлення до діяльності, але й принципово змінити стиль мислення, а саме оволодіти принципами та прийомами системного мислення.

Слід взяти до уваги ту обставину, що сьогодні, незважаючи на справді необмежений діапазон застосування терміна «системне мислення», відсутнє загальновизнане, розгорнуте означення даного поняття, хоча в літературі запропоновано багато часткових інтерпретацій його суттєвих ознак [156, 181, 212, 219, 260]. Надалі в це поняття буде вкладатися такий зміст: *системне мислення* — це вища форма людського пізнання, коли процеси відображення об'єктивної реальності базуються на цілісному відображенні досліджуваного об'єкта з позиції досягнення поставлених цілей дослідження на підставі знань, досвіду, інтуїції і передбачення. Принципово важливою деталлю цього означення є залежність меж об'єкта дослідження від поставлених цілей.

На підставі наведеного означення той самий фізичний об'єкт, наприклад літак, може бути єдиним об'єктом деякого системного дослідження, або лише певною складовою частиною об'єкта, під яким розуміють, скажімо, аеропорт. Більш того, у фізичному об'єкті, наприклад у літаку, можна виділити деякий функціональний елемент, припустимо авіаційний двигун, який може бути єдиним об'єктом системного дослідження у процесі розробки, випробувань і експлуатації.

Слід також зазначити, що системне мислення стає найважливішим фактором досягнення успіху в різних сферах практичної діяльності [204, 212].

Зазначені обставини зумовлюють необхідність і доцільність розгляду історії, тенденцій і перспектив розвитку методології системного аналізу і системних досліджень.

Подібний огляд доцільно здійснювати з урахуванням таких важливих складових розвитку цієї методології:

- ♦ становлення і розвиток ідей системності як засад системного мислення;
- ♦ розвиток системного уявлення про об'єкти дослідження;
- ♦ розвиток засобів і методів розв'язання практичних системних задач.

Слід зазначити, що така обмежена кількість розглянутих наукових напрямів системних досліджень та їх досить загальні формулювання обумовлено нечіткими межами системних досліджень, розмитістю визначень таких основних понять, як системні дослідження, системний підхід, системний аналіз, системне мислення.

Перелічені напрями розвитку системного аналізу є взаємозалежними і такими, що відображають різні аспекти загального процесу системних досліджень, хоча з'явилися вони не одночасно, а їхні взаємозв'язок і взаємозалежність проявилися, власне кажучи, лише у другій половині XX століття, у процесі розв'язання практичних системних задач.

1.1.2. Роль фундаментальних відкриттів у системному сприйнятті світу

У становленні та розвитку системного мислення важлива роль належить фундаментальним науковим відкриттям, історію яких прийнято відраховувати [11, 159] від постулату Арістотеля: «ціле більше суми своїх частин», що в сучасному розумінні відображає сутність суперадитивного закону складних систем. Не заглиблюючись у багатовікову історію, розглянемо процес становлення і розвитку ідей системності і системного мислення у найближчому минулому. Насамперед визначимо фундаментальні наукові відкриття, що сформували передумови становлення й розвитку системного мислення. В історії науки останніх століть, у відповідності до [111], можна виділити три основні рівні пізнання навколишнього світу.

- ♦ **Перший рівень.** Створення основ сучасної фізики і механіки. До цього рівня належать відкриття І. Ньютона, Г. Галілея, М. В. Ломоносова, А. Пуанкаре, А. Ейнштейна. Узагальнення ідеї руху, що виникла у Стародавній Греції, і перетворення її в струнку математичну теорію ньютонівської механіки стало початком нового етапу в розвитку природничих наук, заклало фундамент методології багатофакторного аналізу стану і розвитку еволюційних фізичних процесів і явищ, на базі якої згодом була створена сучасна техносфера.
- ♦ **Другий рівень.** Створення основ дарвінізму, перенесення ідеї руху та безперервної мінливості у сферу живої матерії. Ідею руху було покладено в основу нових уявлень про розвиток природи. Найважливішою особливістю цієї парадигми є якісна зміна в часі властивостей об'єктів, які розвиваються, що принципово відрізняє процеси розвитку від усіх інших динамічних процесів. Такі ключові для розуміння еволюції та її основних процесів і властивостей поняття, як спадковість, мінливість, добір, стали основою сучасного уявлення про природу розвитку живого, визначили вихідні позиції у методології біохімічних і фізіологічних досліджень, заклали фундамент багатофакторного аналізу стану й еволюційних процесів сучасної біосфери.
- ♦ **Третій рівень.** Виявлення єдності всіх еволюційних процесів, що відбуваються на Землі (хімічних, біологічних, фізичних, соціальних тощо), у розвитку живої природи

і людського суспільства. Перший принципово важливий крок у цьому напрямі зробив В. І. Вернадський в 30-х роках XX століття, у період, коли формувалися основи його вчення про ноосферу [19]. Вчений виявив системність взаємозв'язків різних еволюційних процесів у масштабах нашої планети, їхню залежність від процесів, що відбуваються у Всесвіті.

Висновки цього вчення мають чітко виражену практичну спрямованість. Так, одним із головних висновків є твердження про те, що на певному ступені розвитку цивілізації можливий такий рівень взаємодії людства з Природою, коли його потреби в ресурсах перевищать можливості Природи. Розв'язання цього протиріччя, на думку В. І. Вернадського, можливе лише за умови, що людство усвідомить практичну необхідність взяти на себе відповідальність за подальшу еволюцію планети; у протилежному випадку воно не матиме майбутнього.

Отже, зазначені фундаментальні досягнення в пізнанні Природи можна розглядати як початкові ступені до розуміння практичної необхідності системного сприйняття світу і системного мислення. Перші два досягнення підготували фундамент для наступного — системного розуміння явищ, що відбуваються на планеті, як складової частини процесів Всесвіту. З основних тверджень і висновків вчення В. І. Вернадського про ноосферу витікають питання про системність процесів Всесвіту, і це, у свою чергу, зумовлює, власне кажучи, потребу у системному осмисленні шляхів розвитку цивілізації та еволюції планети Земля, у формулюванні системних проблем глобального масштабу. Це є підставою вважати вчення В. І. Вернадського першоджерелом прикладного системного мислення.

1.2. Етапи розвитку системного аналізу як прикладної наукової методології

Далі коротко розглянемо основні віхи історії становлення та розвитку системного аналізу в недалекому минулому, а саме протягом XX століття. Насамперед слід зазначити, що тут не поставлено за ціль докладно проаналізувати роботи, які формували сучасні основи системного аналізу. Наша мета полягає у тому, щоб:

- ♦ відобразити роль та значення тих наукових результатів, які зумовили появу і становлення системного аналізу, і тих факторів, що визначили зміст основних напрямів та етапів розвитку;
- ♦ показати стан і тенденції розвитку системної проблематики і методології у сучасних умовах.

Гадаємо, що для досягнення поставленої мети аналіз доцільно виконувати з урахуванням стану і тенденцій розвитку інших найважливіших напрямів науки і техніки, які суттєво вплинули на розвиток цивілізації в розглянутий період. З огляду на те, що у XX столітті у світі сталося досить багато кардинальних політичних, економічних, структурних та інших змін, обмежимося розглядом тих процесів другої половини XX століття, що безпосередньо або опосередковано вплинули на стан і тенденції розвитку системної проблематики та методології.

Виділимо чотири етапи формування системного аналізу як прикладної наукової методології [124].

1.2.1. Формування теоретичних засад концептуальної парадигми системного аналізу

Перший етап становлення системного аналізу припадає на першу половину XX століття і є періодом появи та формулювання основних ідей системного мислення, основні історичні джерела якого будуть згадані нижче. Беручи до уваги наведене означення системного мислення, вважаємо доцільним за основу найважливіших, головних, робіт взяти перелік, запропонований у [159], але доповнити його працями В. І. Вернадського, важлива роль і практичне значення яких для становлення і розвитку системного аналізу показано раніше. Роботи вченого, на наш погляд, повинні займати чільне місце у списку не лише за хронологією, але й за їхньою практичною значимістю.

У підсумку одержимо такий перелік фундаментальних учень (в дужках зазначено відповідно роки виконання робіт із тематики і дати перших авторських публікацій): «Вчення про біосферу і її поступовий перехід у ноосферу» [19] Володимира Івановича Вернадського (1893–1918); «Загальна організаційна наука, або тектологія» [15] Олександра Олександровича Богданова (1913–1929); «Загальна теорія систем» [9] Людвіга фон Берталанфі (1934–1949); «Кібернетика або управління і зв'язок у тварині та машині» [261] Норберта Вінера (1948); «Праксеологія» [219] Тадеуша Котарбинського (1930–1940).

Роль, місце і значення праць О. О. Богданова, Л. фон Берталанфі, Н. Вінера, Т. Котарбинського у становленні та розвитку ідей системності й системного мислення досить детально проаналізовано у праці [159]. Тому відзначимо лише найважливіші аспекти аналізу і зробимо висновки. Почнемо з монографії О. О. Богданова, яка відрізняється глибоко системним змістом. Її ідеї та поняття базовано на постулаті «невід'ємна й найсуттєвіша властивість загальної організаційної науки — це її системність». Автора монографії можна заслужено вважати основоположником системного мислення, що стосується формування такого уявлення про об'єкти системного дослідження, яке пізніше було прийняте загальною теорією систем.

Праксеологію Т. Котарбинського задумано і реалізовано як загальну теорію раціональної діяльності. І хоча системна орієнтація роботи не викликає жодних сумнівів, але доказів та підтверджень її впливу на формування системного мислення не виявлено. Відсутні також явні докази взаємної історичної залежності системних парадигм тектології, кібернетики, загальної теорії систем і праксеології. Однак ці факти не означають, що ідеї О. О. Богданова і Т. Котарбинського взагалі забуто і що вони не знайшли практичного застосування у системному аналізі. Монографії вчених було перевидано у другій половині XX століття, завдяки чому їхні основні ідеї знайшли застосування на практиці, зокрема у сфері розв'язання системних проблем організаційного управління.

У становленні та розвитку системного мислення загальновизнаними є роль і практичне значення фундаментальних робіт Людвіга фон Берталанфі [9] і Норберта Вінера [261]. Вчені незалежно один від одного запропонували нову ідею, суть якої полягає у переході до дослідження загальних властивостей, характерних для різних типів об'єктів. Проте слід звернути увагу на відмінності позицій, з яких вони визначають необхідність дослідження загальних властивостей різних типів об'єктів.

Л. фон Берталанфі розглядав питання з позиції спільності принципів побудови і структурних властивостей різних типів систем, а Н. Вінер віддавав перевагу позиції спільності принципів і особливостей управління різними типами складних об'єктів, зокрема у суб'єктів живого світу й об'єктів техніки різного призначення. І ці підходи досить довго розвивалися незалежно. Разом із тим обидва вчених мають безпосереднє

відношення до системних досліджень. Наприклад, під час розробки складних технічних систем однаково важливо створити раціональну багаторівневу ієрархічну структуру виробу та забезпечити як системно погоджене управління на стадіях проектування, виробництва, дослідження виробу, так і раціональне управління створеною системою в процесі її експлуатації.

Задачу формування структури та вигляду виробу і задачу обґрунтування цілей та функцій управління потрібно розглядати у такій системній постановці, яка враховувала б взаємозв'язок, взаємозалежність і взаємодію в замкнутій структурі цілісного об'єкта дослідження: людина $\Leftrightarrow$ виріб $\Leftrightarrow$ зовнішнє середовище $\Leftrightarrow$ людина. Необхідність формування такої структури зумовлено тим, що зовнішнє середовище визначає умови експлуатації виробу, а людина є розробником, виробником і (або) користувачем виробу. Звідси випливає практична необхідність системного узгодження розв'язків відповідних задач на стадії концептуального проектування виробу. Системна погодженість за цілями, ресурсами, термінами та очікуваними результатами повинна бути забезпечена на засадах взаємного, раціонального компромісу суперечливих цілей розробки виробу. Таке цілісне уявлення про об'єкт системного дослідження цілком відповідає ідеї В. І. Вернадського про системність взаємодії, взаємозв'язків і взаємозалежності різних процесів на планеті.

Виконані незалежно дослідження В. І. Вернадського, Л. фон Берталанфі та Н. Вінера започаткували єдину ідейну базу для формування принципово нової фундаментальної парадигми в науці, концептуальна новизна якої полягає у переході:

- ♦ від дослідження конкретних властивостей об'єктів певного типу (фізичних, хімічних, біологічних, економічних тощо) до дослідження загальних властивостей, характерних для об'єктів різної природи;
- ♦ від дослідження властивостей та особливостей процесів певного виду до дослідження структури, властивостей та особливостей взаємозв'язків, взаємозалежності і взаємодії різних процесів;
- ♦ від дослідження властивостей окремих об'єктів певного типу до дослідження властивостей і структури взаємозв'язків, взаємозалежності і взаємодії різнотипних об'єктів.

Ці ознаки новизни пізніше деякою мірою було реалізовано у формі основних принципів теорії системного аналізу, і тому наведену парадигму можна назвати теоретичною парадигмою системної методології.

Таким чином, перший етап становлення системного аналізу був періодом появи і формування системного мислення, головні теоретичні джерела якого створювались незалежно один від одного. Він належить до першої половини XX століття і характеризується незалежною появою, рознесеними у часі публікаціями філософських і методологічних ідей, принципів, підходів, які пізніше стали основою нового наукового напрямку, що отримав назву «системний аналіз». Найважливішим підсумком першого періоду слід вважати створення ідейної бази для формування нової фундаментальної парадигми у науці. Основні ідеї цієї парадигми, які відображають її різні аспекти, незалежно представлено у працях В. І. Вернадського, Л. фон Берталанфі та Н. Вінера. Праці останніх двох було опубліковано у кінці першої половини XX століття, і цією подією було завершено процес створення головних теоретичних джерел системного мислення. Таким чином, перший етап є етапом формування теоретичного базису системного мислення.

1.2.2. Емпіричний розвиток системного аналізу

Другий етап становлення системного аналізу формувався в період надзвичайних умов, пов'язаних із наростаючою військовою загрозою у 30-ті роки і майже глобальним розгортанням театру бойових дій Другої світової війни в 40-х роках ХХ століття. Тоді в багатьох країнах з'явилася потреба в оперативному розв'язанні найскладніших між-дисциплінарних задач підвищення обороноздатності. Цей етап характеризується якісно новими властивостями задач і принципово важливими умовами, за яких здійснювалося їхнє розв'язання. До них належать концептуальна невизначеність, неструктурованість, *НР*-складність і стратегічна важливість реальних задач; висока ціна помилкового або недостатньо обґрунтованого розв'язку, що відповідає катастрофічним наслідкам стратегічного рівня; наявність неподоланного, апіорі невідомого порогового обмеження часу на цикл формування і реалізацію стратегічних розв'язків, порушення якого може мати катастрофічні наслідки.

Слід відмітити особливу значимість концептуальної невизначеності у проблемних ситуаціях, що стосуються розробки та серійного виробництва нової техніки за наявності порогового обмеження часу на цикл формування й реалізації розв'язків. Подібні ситуації були характерні для початкового періоду Великої Вітчизняної війни, і про них зі знанням справи написав видатний радянський авіаконструктор О. С. Яковлев [197]. За цих умов поняття концептуальної невизначеності доповнювалося таким дуже важливим фактором, як невизначеність і непередбачуваність можливої активної протидії супротивника. Винятково важливим фактором проблемної ситуації є порогове обмеження часу на формування і реалізацію розв'язків, зумовлене прагненням кожної з протидіючих сторін забезпечити перевагу у стратегічно важливому виді техніки. Як відомо, переваги досягають за рахунок виготовлення великої кількості відповідної техніки, яка на певний момент часу має найкращу якість.

Перелічені вище фактори створили такі принципово важливі особливості та умови розв'язання реальних задач:

- ♦ необхідність забезпечення системної погодженості щодо цілей, термінів та очікуваних результатів процедур формалізації і розв'язання міждисциплінарних задач на всіх стадіях життєвого циклу виробу за наявності багатьох взаємозв'язків, взаємозалежностей і взаємодій різнотипних факторів;
- ♦ загострення протиріччя між необхідністю дослідження великої кількості факторів і вимогою скорочення часу на формування і реалізацію розв'язків на всіх стадіях життєвого циклу виробу;
- ♦ різке підвищення ступеня і рівня ризику, зумовленого прийняттям недостатньо обґрунтованих або помилкових розв'язків на різних стадіях життєвого циклу виробу.

У зв'язку з цим виникла практична потреба у формуванні системного інструментарію, який би за умов концептуальної невизначеності дозволив забезпечити можливість розв'язання реальних системних задач у допустимий термін та із практично прийнятною похибкою. Така можливість може бути реалізована у тому разі, коли інструментарій формуватиметься на базі системи взаємно погоджених за цілями, термінами і очікуваними результатами методологічних засобів:

- ♦ множини припущень, підходів, прийомів та інших засобів формалізації задач;
- ♦ множини показників, критеріїв, прийомів та інших засобів оцінювання якості й ефективності розв'язання задач;

- ♦ множини підходів, методів, методик, алгоритмів, програм та інших засобів розв'язання задач.

Необхідність розробки такого інструментарію була зумовлена характерною для того часу ситуацією: підходи, прийоми і методи розв'язання різних задач, що виконувалися для розробки нової техніки. Існуючі на той час прийоми, моделі, методи дослідження операцій не відповідали новим вимогам і умовам через властиві їм обмеження. Потрібні були нові підходи, які забезпечували б можливість: аналізувати з позиції поставлених цілей як єдиний цілісний об'єкт уся сукупність вимог, умов і методів розробки певного виробу нової техніки; з урахуванням результатів аналізу вимог формувати концепцію, задум, структуру і вигляд розроблювального виробу; на базі концепції виконувати формалізацію і розв'язання системно-погодженої сукупності реальних системних задач, пов'язаних із розробкою виробу в допустимий термін із практично прийнятною похибкою.

Умови розглянутого періоду виключали можливість розробки необхідного інструментарію на основі попереднього теоретичного обґрунтування. Крім того, вони диктували свої, більш жорсткі, вимоги як до нової техніки, так і до організації діяльності розробників, випробувачів і виробників. На практиці, як показано у [197], на головного конструктора військової техніки певного типу покладалася вся відповідальність не лише за розробку, дослідження, серійне виробництво нового зразка техніки, але й за усунення дефектів і недоліків, виявлених у процесі його застосування, за організацію спільної діяльності колективів розробників, випробувачів, виробників, зокрема кооперації підприємств виробників готових виробів, матеріалів і комплектуючих.

Діяльність колективів системно узгоджувалася за цілями, задачами, термінами й очікуваними результатами. Перед кожним колективом поставала потреба оперативно сформувати власну методологію розв'язання реальних міждисциплінарних задач з урахуванням їхньої специфіки. Формування здійснювалося емпірично на підставі досвіду, знань, інтуїції та передбачень співробітників відповідного колективу з використанням колективного системного мислення і методу індивідуальної генерації ідей та технічних рішень, що пізніше одержав назву методу мозкового штурму. Головним результатом діяльності такої кооперації мало стати досягнення переваги у стратегічно важливому виді військової техніки.

Очевидно, що рекордні темпи та унікальна якість виробів того періоду могли бути одержані лише за умов системно погодженої, планомірної діяльності кооперації колективів учених, розробників, випробувачів, виробників конкретного виду техніки, що вимагало системно погодженого розв'язання низки реальних багатоцільових, міждисциплінарних, організаційних і технічних задач. Досягнення такого успіху стало можливим завдяки спільній праці фахівців різних галузей, зокрема математиків, інженерів, учених — багато пізніше їх стали називати системними аналітиками. З часом у галузях військово-промислового комплексу накопичувався досвід системно погодженого розв'язання реальних, міждисциплінарних задач у режимі жорсткого ліміту часу. Такий досвід в авіапромисловості було узагальнено, і в 1940 році вийшов із друку «Посібник для конструкторів» [197]. На жаль, розроблені й апробовані на практиці методологічні засоби розв'язання найскладніших організаційних і технічних системних задач були відомі лише вузькому колу фахівців. Практичний досвід системних аналітиків у розв'язанні системних задач концептуальної невизначеності за умов жорсткого ліміту часу не став надбанням широких мас фахівців і вчених різних галузей науки і техніки, адже умови воєнного часу виключали можливість відкритої публікації

результатів оригінальних теоретичних і науково-технічних досліджень. Разом із тим певний досвід системних аналітиків, основні ідеї та принципи апробованих емпіричних засобів у подальшому було узагальнено в єдиному методі, що отримав назву методу програмно-цільового планування. У роки війни у СРСР його використовували під час розробки цільових програм випуску військової техніки, а згодом — під час розробки державних п'ятирічних планів, державних та відомчих цільових програм.

Подібні задачі розв'язували і в інших країнах. Так, командування ВПС США невдовзі після початку Другої світової війни поставило перед Гарвардськими курсами ділової адміністрації завдання упродовж року знайти варіант розв'язання задачі стосовно збільшення складу ВПС від 4 тис. бойових літаків і 300 тис. чоловік особового складу до 80 тис. літаків і 2,5 млн. чоловік особового складу за умови, що витрати не повинні перевищувати 10 млрд. доларів [115]. У післявоєнний період це був один із перших прикладів публікації у відкритій пресі реальних даних щодо розробки і застосування системного підходу для розв'язання задачі, пов'язаної з розвитком збройних сил держави.

Вважається [115], що під час розв'язання цієї задачі вперше було застосовано певні прийоми, підходи і методики, які стали основою системного аналізу. Заслуга в його широкому застосуванні і його широкій популяризації у США належить корпорації RAND (Research and Development), що була створена в 1947 році. Того ж року розпочався процес централізації керівництва обороною країни — був створений Об'єднаний комітет начальників штабів. Починаючи з 1948 року у різних відомствах США запроваджуються принципи і методи системного керівництва, створюється система планування і фінансування озброєння [115]. У 1964 році Міністерством оборони було надруковано посібники та інструкції, що визначали порядок виконання процедур системного аналізу.

Таким чином, другий етап становлення системного аналізу формувався у надзвичайних умовах із початку 30-х до кінця 40-х років XX століття. Це був період появи практичної необхідності оперативного розв'язання реальних складних системних задач державного значення, створення різних технічних систем військового призначення в умовах жорсткого ліміту часу. Розробка методологічного апарату виконувалась емпірично і незалежно у різних організаціях різних країн. У результаті було створено емпіричні передумови формування парадигми системного аналізу як методології розв'язання реальних системних задач у практично допустимі терміни з практично прийнятною похибкою в умовах концептуальної невизначеності. Тому цей період можна вважати етапом емпіричного формування системної методології.

1.2.3. Розвиток наукових основ розробки і виробництва складних систем

Третій етап становлення і розвитку системного аналізу формувався в післявоєнних умовах, із середини 40-х до кінця 70-х років XX століття. Цей період принципово відрізнявся від попередніх якісно новими задачами, загальними соціально-політичними змінами, що відбулися у світі після закінчення Другої світової війни, унікальними науково-технічними досягненнями. Упродовж першого десятиліття післявоєнного періоду для багатьох країн світу головною метою було оперативне розв'язання найскладніших міждисциплінарних задач, пов'язаних із ліквідацією важких наслідків війни і корінною переорієнтацією економіки військового призначення на розв'язання завдань мирного

часу. Системність і складність цих задач обумовлені багатьма факторами: принциповою відмінністю цілей і задач; очікуваними результатами; обмеженістю фінансових та інших видів ресурсів, дефіцитом кваліфікованих кадрів тощо.

До найважливіших соціально-політичних змін у світі у першу чергу необхідно віднести створення міжнародних організацій ООН (1945 р.) і ЮНЕСКО (1946 р.), що відкрило принципово нові можливості для міжнародного співробітництва країн у сфері освіти, науки і культури. Це був початок консолідації наукових напрямів окремих країн у єдину світову науку. Важливість і практична значимість цього процесу були гідно оцінені згодом, зокрема коли світова наука довела [110, 111], що загроза глобальної екологічної катастрофи на Землі може стати реальністю навіть внаслідок продовження ядерних досліджень, і тим більше внаслідок ядерної війни. Доказ був строго обґрунтований на основі системного аналізу і моделювання на ЕОМ результатів випробувань ядерної зброї. Саме тоді було прийнято перше політичне рішення — Московський договір про часткову заборону ядерних досліджень (1963 р.).

Цей період був насичений унікальними науково-технічними досягненнями. Відзначимо лише три таких досягнення, що найбільшою мірою сприяли розвитку системного аналізу. Так, рік закінчення світової війни став першим роком використання ядерної енергії. Початок мирного використання ядерної енергії і народження атомної енергетики датують 27 червня 1954 року — днем, коли у СРСР (м. Обнінськ) було запущено першу у світі АЕС потужністю 5 МВт.

Названа подія стимулювала інтенсивне будівництво АЕС у розвинутих країнах і багатьох країнах, що розвиваються. До початку 1976 року у світі експлуатувалися понад 100 АЕС, загальна потужність яких становила близько 80 ГВт. У 1959 році в СРСР було створено криголам «Ленін», що став першим у світі цивільним судном з ядерною силовою установкою. Сьогодні подібні силові установки використовують у надводних і підводних об'єктах різного призначення. Важливими ознаками багатьох задач, які розв'язували вчені і фахівці різних галузей науки та техніки під час створення унікальних об'єктів і виробів різного призначення, базованих на використанні ядерної енергії, був найвищий рівень складності і системності.

Наступним надзвичайно важливим досягненням за рівнем невідомості, непрогнозованості, непередбачуваності проблемних ситуацій варто вважати освоєння космосу. Початок розвитку космонавтики покладено неповторними науково-технічними досягненнями СРСР як першовідкривача космосу, які назавжди увійшли в історію цивілізації: запуском 4 жовтня 1957 року першого у світі штучного супутника Землі та першим у світі польотом у космос 12 квітня 1961 року людини — Ю. О. Гагаріна.

Усі ці успіхи стали потужним каталізатором розвитку космонавтики [5]. До кінця 70-х років у світі було запущено понад 2500 космічних літальних апаратів, виконано понад 60 пілотованих польотів. Було створено космічні супутникові системи: радіозв'язку і ретрансляції, метеорологічних спостережень, дистанційного зондування для дослідження природних ресурсів; розпочато дослідження автоматичними станціями об'єктів сонячної системи: Місяця, Сонця, Марса, Венери, Юпітера, Сатурна, Меркурія та інших планет. 21 липня 1969 року американські астронавти США Н. Армстронг і Е. Олдрін висадилися на Місяць.

Унікальним досягненням людства є створення в СРСР та експлуатація у 1971–1977 роках серії орбітальних пілотованих космічних станцій «Салют», що забезпечували екіпажу можливість безперервного проведення різних технічних і біологічних експериментів у космічних умовах тривалістю понад 140 діб, а також проведення безперервного до-

слідження космосу, дистанційного зондування Землі і спостереження за Світовим океаном. Подальшим втіленням розвитку цього виду техніки і розширення її можливостей стала побудова орбітального населеного космічного комплексу «Мир», що безперервно експлуатувався понад 15 років. (У 2001 році впродовж кількох місяців було виконано кероване із Землі планомірне сходження його з орбіти із затопленням у заздалегідь визначеному безлюдному районі Тихого океану.)

Третє унікальне досягнення в сфері космічних досліджень належить одночасно двом країнам. Мова йде про спільний експериментальний політ у липні 1975 року космічних кораблів «Аполлон» (США) і «Союз» (СРСР). Ці кораблі принципово різнилися між собою за багатьма параметрами, зокрема своїми системами життєзабезпечення. Проте члени обох екіпажів (О. Леонов, В. Кубасов з однієї сторони і Т. Стаффорд, Д. Слейтон, В. Бранд — з іншої) за 8 діб польоту повністю виконали програму: двічі здійснили стикування кораблів, кілька разів перейшли з борту на борт, провели низку спільних наукових досліджень і технічних експериментів.

Четвертим за хронологією видатним досягненням у зазначеній сфері стало створення космічних кораблів багаторазового використання серії «Спейс шаттл» у США і «Буран» у СРСР. Слід підкреслити, що під час освоєння космосу потрібно було розв'язувати задачі, рівних яким за різноманітністю, складністю, невизначеністю, системністю взаємозв'язків факторів та умов в історії цивілізації ще не було, використовуючи при цьому фундаментальні та прикладні досягнення і можливості практично всіх наук, від астрономії до ядерної фізики.

Надзвичайно важливим досягненням людства, що сприяло розвитку інструментарію системного аналізу і розв'язанню реальних системних задач у різних сферах життєдіяльності людини, вважається створення обчислювальної техніки. Цей напрям бере свій початок від лампових електронно-обчислювальних машин (ЕОМ), розробка яких у 40-х роках незалежно велась у кількох країнах. Перша в світі ЕОМ була створена в США (1948 р.), перша в Європі — у Великобританії (1951 р.), а перша ЕОМ у континентальній частині Європи та СРСР — в Україні (1952 р.). Усі ці машини було орієнтовано на широку сферу застосування, що відкрило принципово нові можливості для розв'язання складних задач у різних галузях практичної діяльності.

Водночас з'явилася потреба у розв'язанні якісно нових задач із різних наукових напрямів. Зокрема, у нових умовах необхідно було визначити предмет дослідження, відпрацювати термінологію, описати проблематику, розробити методологію і, в остаточному підсумку, створити нові науки — теорію алгоритмів, теорію програмування, теорію обчислювальних систем та інші. Тому технічний і теоретичний базиси обчислювальної техніки розвивалися паралельно.

Так, у багатьох країнах одночасно з ЕОМ загального призначення здійснювалася розробка спеціальних ЕОМ. Зокрема, у СРСР було створено ЕОМ для управління об'єктами й технологічними процесами, для наукових розрахунків і моделювання процесів, обробки вимірювальної інформації, для розв'язання задач, пов'язаних з обліком, статистикою, плануванням, моделюванням в економіці, тощо. У США вели розробки супер-ЕОМ. Разом із тим необхідно зазначити, що ЕОМ першого покоління не задовольняли багатьох практичних потреб.

Принципові зміни в технічний базис і апаратну частину ЕОМ дали змогу внести результати багатьох фундаментальних науково-технічних досліджень. Першорядне значення має винахід у 1948 році транзистора — його використання не лише дало змогу створити принципово нову елементну базу для логічних схем ЕОМ, але й відкрило можливість реалізації технології мікромініатюризації її функціональних елементів, яка

невпинно розвивається. Внаслідок цього кількість функціональних елементів на кристалі почала подвоюватися кожні півтора року упродовж 30 років, і практично тими ж темпами зростали обчислювальні можливості ЕОМ. Винайдення у 1969 році мікропроцесора і розробка технології його серійного виробництва дало новий поштовх до розвитку архітектури й поліпшення технічних показників ЕОМ.

Раціональне використання обчислювальних можливостей ЕОМ, розширення сфери їх практичних застосувань на тлі постійного розвитку технічної бази забезпечували безперервне удосконалення теоретичного базису обчислювальної техніки, високі темпи розвитку математичного середовища ЕОМ, швидке удосконалення інструментарію користувача. Внаслідок цього на певному етапі розвитку обчислювальної техніки з'явилася можливість безпосереднє спілкування користувача з технічними засобами замінити роботою з прикладними програмними системами. Власне кажучи, з'явилися умови для безпосереднього спілкування людини з ЕОМ незалежно від сфери її застосування.

У 1976 році було винайдено персональний комп'ютер (ПК). Це назавжди змінило прийоми і методи, якими людство користувалося для проведення обчислень та представлення різноманітних результатів, для оформлення документів, підготовки рукописів, передачі й читання повідомлень. Створення в 1977 році програмного забезпечення для ПК, орієнтованого на масового користувача, відкрило можливість для масового виробництва операційних систем і прикладного програмного забезпечення, а також для широкого застосування комп'ютерів із метою розв'язання реальних задач у всіх сферах практичної діяльності. Почали створюватися комп'ютерні системи й мережі.

Проведений аналіз показує, що ситуація, яка виникла у той період, характеризувалася, з одного боку, безупинним зростанням потреби у розв'язанні важливих для практики системних проблем багатoproфільного характеру, а з іншого боку, появою якісно нових можливостей для їхнього розв'язання, що їх надавала обчислювальна техніка. Ці фактори зумовлювали необхідність раціонального використання апаратно-програмних можливостей ЕОМ і наполегливо вимагали розробки математичного і методологічного забезпечення, адекватно виниклим потребам практики і наявним можливостям обчислювальної техніки. Зазначені обставини ініціювали процеси формування і теоретичного обґрунтування методології системного аналізу та безпосередньо пов'язаних із ним наукових напрямів і дисциплін: загальної теорії систем, системотехніки, комп'ютерної математики, прикладної математики, імітаційного моделювання, теорії обчислювальних систем, проектування обчислювальних машин, теорії програмування, теорії автоматичної обробки цифрової інформації тощо.

Найбільш вагомий внесок у розробку теорії й у вирішення найскладніших міждисциплінарних системно-технічних та організаційних проблем, у створення складних і великих систем різного призначення внесли наукові школи, засновниками яких є, зокрема, М. П. Бусленко, О. О. Вавілов, В. М. Глушков, Д. М. Гвішпіані, А. О. Дородніцин, А. П. Єршов, М. В. Келдиш, Г. В. Кисунько, С. П. Корольов, В. О. Котельников, І. В. Курчатова, М. О. Лаврент'єв, Г. І. Марчук, О. Л. Мінц, М. М. Моїсєєв.

Праці представників цих шкіл створено теоретичний базис, математичний і методологічний інструментарій формалізації та автоматизації розв'язання реальних системних проблем; практично реалізовано фундаментальну теоретичну парадигму системного аналізу, концептуальні ідеї якої закладено В. І. Вернадським, Л. фон Берталанфі та Н. Вінером; виконано й реалізовано проекти складних технічних систем різного призначення. Скажімо, серед багатьох робіт, що проводилися під керівництвом В. М. Глушкова [95], можна виділити розробку та реалізацію малих ЕОМ серії МИР (МИР-1,

МИР-2, МИР-3), мов високого рівня МИР і АНАЛИТИК [164, 165]. Так, ЕОМ МИР (Машина Инженерных Расчетов) першою у світі почала виконувати аналітичні перетворення, зокрема диференціювання та інтегрування, з одержанням кінцевого результату у вигляді формул, а також обчислювальні операції з дійсними числами довільної розрядності, цілими числами необмеженої розрядності, точні операції над дробовими раціональними числами та аналогічні їм операції. Крім того, програмувати на такій машині можна було безпосередньо з клавіатури, у той час як введення програм в ЕОМ інших типів виконували з перфострічок або перфокарт.

У створення теорії системного аналізу та системної методології вагомий внесок зробили вчені різних країн, проте в першу чергу необхідно відмітити наукові праці К. Боулдінга [200], Дж. Кліра [65], М. Месаровича [103], Т. Сааті [154], Г. Саймона [256], А. Холла [187], У. Р. Ешбі [195].

Наукові та технічні досягнення цього періоду унікальні за багатьма показниками. Уперше людина змогла жити і працювати поза межами Землі і побувати на Місяці, вперше почала використовувати принципово нове джерело енергії, вперше було реалізовано можливість автоматизації інтелектуальної діяльності людства. Було розв'язано найскладніші системні проблеми, створено якісно нові галузі промисловості та нову техносферу. Системна методологія і комп'ютерний інструментарій розвивалися синхронно зі зростанням потреб практики і складності задач, завдяки чому було забезпечено баланс потреб і можливостей їхньої реалізації.

Були створені та введені в експлуатацію складні технічні системи різного призначення. Теоретично обґрунтовано і практично реалізовано у спеціальному математичному і програмному забезпеченні фундаментальну парадигму системного аналізу, ідейна основа якої сформована у працях В. І. Вернадського, Л. фон Берталанфі та Н. Вінера. Цей період був унікальним етапом стрімкого розвитку цивілізації, що базувався на якісно нових ідеях, винаходах і відкриттях, на швидкому освоєнні, широкому застосуванні результатів і можливостей якісно нових теоретичних та прикладних наук і наукових напрямів для розробки та виробництва унікальних і складних систем, створення й розвитку нових промислових галузей.

Проте на кінець зазначеного періоду дали про себе знати глобальні системні проблеми, які неможливо було розв'язати з використанням наявного на той час арсеналу математичних і методологічних засобів системного аналізу.

Такий стан справ було пов'язано з деякими загальними особливостями розвитку системного аналізу. По-перше, у процесі розвитку цивілізації постійно виникали складні і практично важливі проблеми, нерозв'язані на основі наявного арсеналу теоретичних і технічних засобів науки, зокрема засобів системного аналізу. І такий стан цілком зрозумілий: якщо немає наукового передбачення відповідної проблемної ситуації, то неможливо заздалегідь підготувати засоби для її розв'язання. У таких випадках шукати відповідні засоби починають лише після появи проблеми. По-друге, не можна не погодитися з твердженням [64], що розвиток системного аналізу аж ніяк не був схожий на «тріумфальний хід» у формі послідовного переможного вирішення все нових і нових системних задач. Поряд зі значними успіхами явно проявилися й певні труднощі, пов'язані з реалізацією системного підходу, передусім у слабко структурованих предметних галузях: у сфері соціального управління, в екології, економіці тощо [64]. І до кінця 70-х років було накопичено «критичну масу» невдалих спроб застосування системного підходу та системної методології до тих чи інших проблем.

Це дало привід критикам системного аналізу характеризувати його як суму методів, що мають вузько обмежену область застосування, і говорити про безпідставність його претензій на статус загальнонаукової методології [64]. Однак труднощі, з якими доволі часто доводилося зіткнутися, почасти були обумовлені тим, що математичні й методологічні засоби системного аналізу, які успішно застосовувались для розв'язання задач щодо об'єктів дослідження одного типу, намагалися механічно використовувати для розв'язання задач щодо об'єктів якісно іншого типу.

Іншою причиною такої ситуації була недоступність для широкого застосування арсеналу математичних, методологічних і обчислювальних засобів системного аналізу, який розробляли й успішно використовували в оборонних галузях, а також у космонавтиці та ядерній енергетиці. Разом із тим з'явилися важливі практичні проблеми, які неможливо було розв'язати на основі наявного на той час відкритого арсеналу математичних і методологічних засобів системного аналізу. І тому ситуація в системній методології наприкінці 70-х років визначалася як методологічна криза [64].

Можна назвати кілька обставин, що призвели до виникнення цієї кризової ситуації. Однією з головних стало швидке збільшення темпів зростання складності й масштабів реальних системних проблем, зумовлене глобалізацією світових процесів. Взаємозв'язки, взаємозалежності, взаємодії економічних, соціальних, екологічних та інших глобальних і регіональних процесів ставали визначальними факторами світового розвитку. У підсумку з'явився новий ефект розвитку, який французький економіст М. Годе чітко і повно охарактеризував фразою: «майбутнє перестало бути схожим на минуле» [213]. У цих умовах глобальні процеси світової системи підпали під вплив складно структурованої, багаторівневої ієрархічної множини майже непередбачуваних, безупинно мінливих взаємозв'язків, взаємозалежностей і взаємодій. Результатами такого стану справ ставали «наслідки непередбачувані та неприємні» [213].

Таким чином, третій етап становлення і розвитку системного аналізу формувався у післявоєнних умовах із середини 40-х до кінця 70-х років XX століття. Цей етап принципово відрізняється від попередніх періодів якісно новими задачами, принциповими соціально-політичними змінами у світі, унікальними теоретичними і практичними науково-технічними досягненнями. Було створено теоретичний базис математичного і методологічного інструментарію формалізації і автоматизації на базі ЕОМ процедур розв'язання реальних найскладніших організаційних і технічних системних проблем у різних сферах практичної діяльності. Створено принципово нові галузі — космонавтика і атомна енергетика. Розроблено, створено і введено в експлуатацію складні і великі унікальні технічні системи різного призначення. Теоретично обґрунтовано і практично реалізовано у спеціальному математичному і програмному забезпеченні фундаментальну парадигму системного аналізу, ідейну основу якої сформовано працями В. І. Вернадського, Л. фон Берталанфі і Н. Вінера. Цей етап характеризується синхронним розвитком теорії системного аналізу і практики системних досліджень.

1.2.4. Системний аналіз в епоху глобалізації світових процесів та проблем

Четвертий етап розвитку системного аналізу триває від початку 80-х років минулого століття дотепер. Він принципово відрізняється від попередніх глобалізацією світових процесів і загроз. З одного боку, глобалізація економічних, соціальних, інформа-

ційних та інших процесів відкриває нові можливості для використання досягнень науково-технічного прогресу. Зокрема, глобалізація інформаційних процесів і телекомунікаційних мереж створила умови для швидкого обміну інформацією, появи системи дистанційного навчання, створення інформаційного ринку й електронної комерції, обумовила розповсюдження інших нововведень [163, 119]. З іншого боку, неоднакові можливості отримати доступ до інформації розвинутих країн і країн, що розвиваються, постійно призводять до нерівноправної конкуренції та соціальної нерівності [194]. З'явилася низка проблем [211], зумовлених специфікою поширення інформації з Інтернету. Серед них проблеми захисту інформації, інтелектуальної власності, транзакційних відомостей тощо, а також проблеми комп'ютерних вірусів, різноманітного навмисного несанкціонованого впливу на комп'ютери.

На початку 70-х років XX століття особливого значення набувають процеси глобалізації економічних, соціальних, екологічних, техногенних загроз. Людство увійшло у такий період свого розвитку, коли стало реальністю передбачення В. І. Вернадського про те, що господарська діяльність людини здатна поставити планету на грань глобальної екологічної катастрофи [97]. Економічний і соціальний розвиток суспільства зайшов у явну суперечність з обмеженими можливостями природи. Проявленням такої суперечності насамперед є виснаження природних ресурсів суші й океану, безповоротна втрата різних видів рослин і тварин, техногенне порушення біогеохімічного кругообігу речовини, забруднення всіх складових природного середовища, деградація екосистем.

Невпинно загострюються пов'язані з глобальними змінами у світі чотири категорії загроз: безпосередні загрози існуванню людини (голод, хвороби, радіація, тероризм тощо); загрози великим регіонам і територіям (спустелювання, підйом рівня океану, глобальне потепління, транскордонне перенесення забруднень, забір стоку рік країнами, розташованими у верхній течії рік тощо); загрози системам прісної води, лісам тощо; загрози економічному розвитку (дефіцит природних ресурсів, наростаюча глобальна нерівність, нерівномірність економічного становища і розвитку країн, нестабільність фінансової системи та ринків тощо).

Загальну ситуацію взаємозв'язку, взаємозалежності і взаємодії реальних проблем у різних галузях практичної діяльності, що склалася на той час у світі, образно описав А. Печчеї — економіст і суспільний діяч, ініціатор створення міжнародної наукової організації «Римський клуб» (1972). Його діяльність і роль у становленні глобальної проблематики докладно описано у [22]. У своїй книзі [145] А. Печчеї доводив: «Немає більше економічних, технічних або соціальних проблем, які існували б відокремлено, незалежно одна від одної, які можна було б обговорювати в межах однієї спеціальної термінології і розв'язувати не поспішаючи, окремо, одну за одною. У нашому штучно створеному світі буквально все досягло нечуваних розмірів і масштабів: швидкість, енергія, складність, а також наші проблеми. Вони тепер одночасно і психологічні, і соціальні, і економічні, і технічні, до того ж ще й політичні; більш того, тісно переплітаючись і взаємодіючи, вони пускають корені та дають паростки в суміжних і віддалених сферах». Автор перелічує процеси й фактори, що є причинами виниклої ситуації. Серед них: нерівність і неоднорідність суспільства; соціальна несправедливість, голод, недоїдання та бідність; неписьменність, безробіття, відчуття нестабільності та занепад моральних цінностей; зростання злочинності і насильства; погіршення стану навколишнього середовища й потенційна або вже наявна нестача природних ресурсів тощо.

Далі А. Печчеї доходить висновку, що причиною такої ситуації є насамперед неусвідомленість людством взаємозв'язків і взаємозалежності цих факторів, процесів і проблем, що утворюють складний, заплутаний клубок. І тому необхідно вживати рішучих заходів з оцінювання й роз'яснення суті проблем, поки ще не стало занадто пізно.

Римський клуб прийняв парадигму обмеженого зростання і холістичного розвитку в знаменитій праці «Межі росту». Заслужовують на увагу такі її положення [22]:

- ♦ розвиток повинен бути систематичним, багатоаспектним і взаємозалежним, щоб жоден елемент системи не міг зростати за рахунок інших;
- ♦ несуперечливість світу має бути гарантована координацією цілей;
- ♦ головний аспект має зосереджуватися на якості розвитку, забезпеченні зростання добробуту людської особистості.

Римський клуб за чверть століття свого існування зробив багато чого для розуміння стану і процесів розвитку глобальної проблематики, можливих їх негативних наслідків [22, 97, 100, 101, 144, 145, 231]. За цей період під впливом результатів діяльності Клубу створювалися інші міжнародні організації, зокрема Міжнародний інститут прикладного системного аналізу (Лаксенбург, Австрія), що виконав, зокрема, кілька важливих програм з екології та ризиків, певні результати і відомості про які наведені у [23].

Продовжуючи досліджувати сучасний стан світу, у якому за останні 15 років відбулися фундаментальні зміни, Римський клуб змушений визнати, що становище у глобальній проблематиці не тільки не покращилося, але й продовжує погіршуватися [22, 100, 101, 168]. Є багато різних причин, зокрема політичних, економічних, соціальних, котрі перешкоджають розробці й реалізації раціональних стратегій, спільних дій усього людства у справі запобігання глобальній катастрофі, що насувається. Відзначимо одну з найважливіших таких причин: сучасна методологія системного аналізу не відповідає глобальній, багаторівневій, ієрархічній, багатодисциплінарній структурі різно-рідних, багатofакторних, багатofункціональних взаємозв'язків, взаємозалежностей і взаємодій об'єктів дослідження. Вона недостатньо використовує потенційні можливості глобальної, багаторівневої, ієрархічної системи інформаційних комп'ютерних систем і мереж, що є потенційним інструментарієм дослідження глобальної проблематики.

Одним із шляхів усунення зазначеного недоліку можна вважати послідовну розробку концепцій, стратегій і програм дослідження найважливіших проблем сучасності. Мова насамперед йде про проблеми передбачення якісних і кількісних змін у різних сферах практичної діяльності [54, 55, 232, 263], управління ризиками і безпекою складних технічних систем, техногенно та екологічно небезпечних процесів [166, 209, 246, 247], розвитку інтелектуальних інформаційних технологій і мереж підтримки наукових досліджень [116], взаємодії природи і суспільства на основі глобального екологічного моніторингу, оцінювання тенденцій і управління розвитком світової екологічної системи [97, 111].

Отже, визначальним принципом системних досліджень четвертого етапу стає глобальне бачення досліджуваних проблем з урахуванням зростаючих взаємозв'язків і взаємозалежностей усіх країн світу. Головною метою досліджень стає досягнення такого системно погодженого, взаємозалежного розвитку всіх компонентів цивілізації, при якому жоден елемент світової системи не може зростати за рахунок інших. Для досягнення цієї мети необхідно зосередити зусилля на подоланні методологічної кризи,

що виникла наприкінці 70-х років минулого століття. Доцільно сформувати структуру методології системного аналізу, забезпечивши її системне, функціональне узгодження з ієрархічною структурою взаємозв'язків, взаємозалежностей і взаємодій об'єктів дослідження і відповідно з ієрархічною структурою інформаційних комп'ютерних систем і мереж як інструментальної основи її реалізації. Таким чином, четвертий етап є етапом глобалізації системної проблематики.

1.3. Роль глобалізації світових процесів у розвитку системних досліджень

Як впливає з попереднього підрозділу, етап глобалізації суттєво вплинув на розвиток методології і сфери застосування системного аналізу. Одним із прикладів системного підходу до аналізу процесів розвитку цивілізації на цьому етапі є глобальне моделювання — напрям системних досліджень, початок якому поклала відома робота Дж. Форрестера «Світова динаміка» [183]. Характерним прикладом підвищення інтересу до зазначеної проблематики може бути дослідження науково-технічних інновацій. У 70-ті роки минулого століття поряд із традиційними для цієї сфери проблемами інноваційної політики фірм і компаній, взаємопроникнення нововведень тощо починають широко обговорювати вплив інновацій на довгострокові тенденції економічного розвитку, їхню роль у формуванні так званих великих циклів.

1.3.1. Особливості переходу від індустріального суспільства до інформаційного в епоху глобалізації

Важливо виділити стрімкий за темпами і глобальний за масштабами перехід від індустріального суспільства до інформаційного. Цей процес характеризується насамперед зростанням ролі інформаційних технологій та телекомунікаційних мереж як у світовій економіці загалом, так і в кожній окремій країні. Вже сьогодні інформаційний сектор економіки деяких країн приносить їм більш ніж 20 % валового національного доходу. Оцінки провідних експертів світу свідчать про надзвичайно високі темпи розвитку ринку інформаційних систем, технологій і послуг. Темпи зростання становлять понад 11 % на рік, а обсяг ринку подвоюється кожні 5 років. Ще більш вражаючими є темпи розвитку мережі Інтернет — упродовж останніх 5 років вона щомісяця зростає приблизно на 10 %. Практика розвитку світової економіки передбачає, що світовий ринок інформатизації за своїм обсягом може перевершити найближчим часом такі високоекономічні галузі, як газову, нафтову, енергетичну.

Визначна роль інформаційно-телекомунікаційного сектору й у створенні нових робочих місць, й у підвищенні експортних можливостей розвинутих держав. Найпоказовішим у цьому контексті можна вважати досвід США як країни, що є світовим лідером у справі переходу до інформаційного суспільства. З огляду на те, що все пізнається у порівнянні, наведемо такі дані щодо рівня інформатизації. До середини 90-х років минулого століття у США було зосереджено 43 % світового парку комп'ютерів, а частка її найближчих конкурентів із найрозвинутіших країн становила: Японія — 7 %, Німеччина — 6 %, Великобританія — 5 %, Франція — 4 %, Канада — 3 %, Італія — 2,5 %. Іспанія — 1,8 %, Південна Корея — 0,96 %. Інші країни мали показник менш ніж 1 %.

У США зосереджено 52,2 % баз даних і знань із точних і технічних дисциплін, 69,1 % — із соціально-економічних. Із десяти найбільших фірм-виробників програмного забезпечення шість є американськими.

Досить цікавим є соціально-економічний ефект, що виникає внаслідок бурхливого розвитку інформаційного сектору світової економіки. Спостерігається, здавалося б, парадоксальне явище: інформатизація начебто повинна породжувати безробіття, а не створювати нові робочі місця. Однак насправді відбувається автоматизація і комп'ютеризація робочих місць із важкою фізичною працею і створення в інформаційно-телекомунікаційному секторі промисловості нових місць. Особливо яскраво ця тенденція проявлялася в США до середини 90-х років минулого століття: на той час сектор став найбільшим «роботодавцем» у промисловості, забезпечивши тільки у 1996 році створення 4,3 млн. нових робочих місць. Згідно з результатами досліджень Американської дослідницької асоціації, індустрія інформаційних технологій принесла США 6,2 % національного доходу. Середня заробітна плата робітників у цьому секторі була на 73 % вища, ніж середня у приватному секторі в інших галузях. Зазначений сектор домінував у витратах на дослідження і розвиток з обсягом 40 млрд. доларів на рік або 37 % усіх витрат на науку. Економічна депресія на початку нового століття дещо послабила окреслену тенденцію, але не призвела до втрати провідного становища цього сектору економіки не лише в США, але й в інших розвинутих країнах.

1.3.2. Перерозподіл трудових ресурсів в основних типах суспільства

Внаслідок перерозподілу трудових ресурсів між визначальними секторами економіки вже сьогодні в деяких країнах світу в інформаційно-телекомунікаційній сфері зосереджено понад 50 % трудових ресурсів, зокрема у США — близько 80 %. За оцінками експертів, у першому десятилітті XXI століття таке становище стане характерним для більшості розвинутих країн Європи, Азії та Америки.

Зазначимо, що незалежно від типу суспільства трудові ресурси завжди концентруються там, де розв'язуються головні завдання, пов'язані з його розвитком. Перед аграрним суспільством стояло завдання звільнити людство від голодної смерті, і тому переважну частину трудових ресурсів було зосереджено в сільському господарстві. Індустріальне суспільство мало розв'язати інше завдання — забезпечити можливість пересування людини в будь-яку точку планети, механізацію та автоматизацію фізичної праці в різних сферах діяльності, і переважна частина трудових ресурсів була зосереджена у промисловості. Інформаційне суспільство ставить принципово нове, комплексне завдання, а саме: забезпечити автоматизацію розумової праці на основі раціонального використання технічних досягнень індустріального суспільства, звільнити людину від рутинної роботи, пов'язаної з передачею, збором, обробкою і збереженням інформації, створити умови для доступу до глобальних інформаційних ресурсів людства з будь-якої точки планети, забезпечити раціональне використання накопичених знань для розв'язання різноманітних проблем, що виникають перед суспільством. Сформована технологічна культура кінця XX століття, насамперед поява принципово нових можливостей обробки, передачі та збереження інформації створили необхідні передумови й умови для практичної реалізації цього завдання. Зазначені тенденції схематично показано на рис. 1.1.

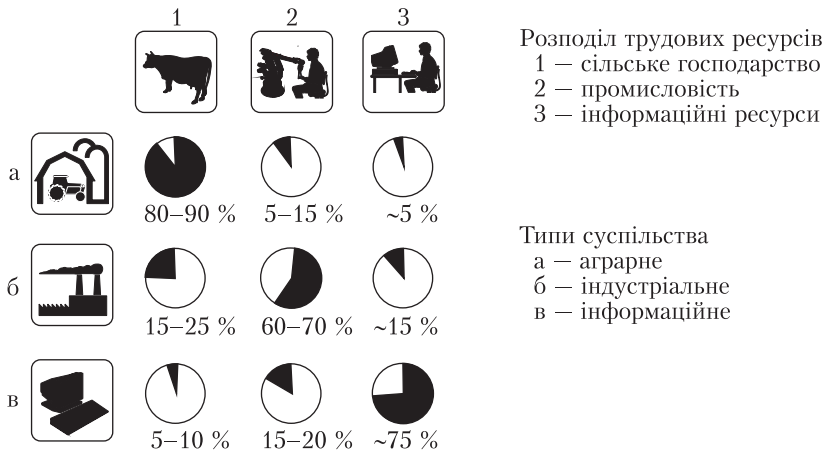


Рис. 1.1. Розподіл трудових ресурсів у суспільстві різного типу: аграрному, індустріальному, інформаційному

Розглянемо деякі інші важливі властивості та особливості інформаційного суспільства, що значною мірою зумовили необхідність і доцільність становлення та розвитку ідей системності:

- ♦ різке підвищення динамічності економічних, соціальних, політичних процесів як у світі загалом, так і в окремих регіонах зокрема;
- ♦ безперервне зростання кількості даних: сьогодні обсяг щорічно оброблюваної у світі інформації дорівнює загальному обсягу інформації, накопиченої людством до початку Першої світової війни;
- ♦ в інформаційному суспільстві первинною є не вартість праці, а вартість знань (основна тенденція розвитку сучасного суспільства — значне підвищення інтелектуалізації процесів управління і виробництва);
- ♦ зростання соціально-економічного значення наукомістких технологій, безперервне нарощування темпів їхньої розробки і впровадження в різні галузі економіки.

У сучасному розумінні *наукомістка технологія* — це великомасштабна системна технологія, технічно реалізована у вигляді складної багаторівневої ієрархічної системи, яка з метою досягнення практичних цілей поєднує структурно і зв'язує функціонально різноманітні фізичні, хімічні, механічні та інші технологічні процеси в єдиний виробничий процес. Кожна така технологія зазвичай є унікальною, тобто не має аналогів і прототипів. Зазначимо, що термін «наукомістка технологія» пояснюється значним внеском результатів наукових досліджень у її розробку і реалізацію. Наукомісткі технології відкрили можливості для реалізації принципово нових ідей і рішень у різних сферах людської діяльності. Вони дають змогу стрибкоподібно долати технічні бар'єри та створювати раніше невідомі вироби різного призначення.

Історія розвитку цивілізації знає багато прикладів стрибкоподібної зміни основних властивостей і характеристик різних видів техніки. Наприклад, перехід від авіації з поршневими двигунами до реактивної авіації дав якісний стрибок у швидкості переміщення літальних апаратів. Як найбільш вражаючий приклад принципово нового виду техніки можна навести широкий перелік зразків космічної техніки різного призначення. Її поява поклала початок широкому вивченню та освоєнню людиною космічного простору, використанню властивостей мікрогравітації і мікровакууму космосу

для створення нових технологій, одержання речовин і сплавів, що практично неможливо реалізувати в земних умовах. Вагомий внесок у розвиток космонавтики зробила і Україна, на підприємствах якої було створено 67 типів космічних апаратів, 12 космічних і 4 ракетно-космічних комплекси.

Науково-технічний прогрес поставив принципово нові завдання перед наукою і технікою, зумовив необхідність нового підходу до створення сучасних технічних об'єктів і технологій, а також до вивчення явищ і атрибутів сучасного світу. Серед цих завдань особливе місце займають задачі системного аналізу. Практична важливість розв'язання системних задач зумовлена тим, що в сучасному світі наукові, технічні, технологічні, соціальні, економічні, політичні й інші сфери діяльності людини не можуть існувати окремо. Вони завжди складають цілісне середовище проживання й активної діяльності людей. Зміни в кожній із цих сфер неодмінно позначаються на інших сферах, проблеми однієї сфери впливають на проблеми інших. Таку залежність визначають взаємозв'язки різної природи — фінансової, матеріальної, енергетичної — у формі трудових ресурсів, складу, рівня і якості життя, рівня й тенденцій розвитку технологій тощо.

Звідси випливає необхідність системного підходу до розв'язання комплексних задач у різних сферах діяльності. На цей факт звернув увагу Л. фон Берталанфі, який зазначив [9], що «...системний підхід став нагальною потребою. Коли задано деяку ціль, то для знаходження шляхів і засобів її досягнення потрібен фахівець (або група фахівців) у галузі систем, який розглядає альтернативні розв'язки і вибирає ті з них, котрі забезпечують оптимізацію, найбільшу ефективність і мінімальні витрати в надзвичайно складних схемах взаємодій». Відсутність системного підходу під час розв'язування комплексних практичних задач може призвести до небажаних, непрогнозованих або катастрофічних наслідків. Як приклад можна згадати відому історію буму і подальшого різкого падіння попиту на електричні друкарські машинки. Багато фірм, що виготовляли такі машинки, стали банкрутами лише тому, що не здійснили всебічного системного аналізу потенційних конкурентів, не оцінили вчасно можливості та переваги персональних комп'ютерів у підготовці рукописів і оформленні друкованих видань.

Характерною рисою сучасного етапу науково-технічного прогресу є також стрімко зростаюча складність взаємозв'язків і взаємодії різних сфер діяльності людини і навколишнього середовища. Глобальні масштаби взаємного позитивного й негативного впливу різних процесів та їхній високий динамізм викликали зміну звичних стереотипів у розумінні ступеня й рівня впливу цивілізації на навколишнє середовище. Пророцтво глобальних екологічних катастроф стало реальністю. Це підтверджує той факт, що вплив людства на біосферу вже перевищує реальні можливості планети компенсувати його наслідки. Тому головний висновок вчення В. І. Вернадського про те, що на певному щаблі свого розвитку людство має взяти на себе відповідальність за подальшу еволюцію нашої планети, повинен бути негайно втілений у життя. У протилежному випадку людство не матиме майбутнього. Розв'язання цієї надзвичайно важливої проблеми неможливе без виконання системного аналізу виниклої глобальної проблемної ситуації, без передбачення на основі системного мислення сценаріїв її розвитку, без прогнозування на базі системної методології необхідних дій для виключення негативних результатів.

Таким чином, виникнення і розвиток системного мислення, системної методології й системного аналізу зумовлено об'єктивною необхідністю пізнання світу в усьому його різноманітті і цілісності в інтересах найраціональнішого використання матеріальних, енергетичних та інформаційних ресурсів планети на благо людства.

1.4. Системність людської практики

У попередніх підрозділах цього розділу було розглянуто властивості та особливості етапів становлення й розвитку системного аналізу з позиції виявлення факторів, причин та умов, що призвели до необхідності і довели доцільність формування системного мислення, системної методології, системних досліджень.

Далі будуть розглянуті процеси становлення та розвитку системного аналізу з інших позицій — виявлення й дослідження факторів, причин і умов, що спричинили становлення та розвиток системності практичної діяльності людини. Основну увагу необхідно приділити формуванню і реалізації нових ідей та прийомів рішення системних проблем, пов'язаних із практичною діяльністю, системним оцінюванням винаходів, інноваційними проектами та іншими аспектами розвитку нової техніки, нових технологій, нових сфер практичної діяльності. Також розглядатимуться роль і місце системних аналітиків у розробці нових ідей та створенні нової техніки.

1.4.1. Становлення і розвиток системності практичної діяльності людини

Зростання інтересу до системних досліджень зумовлено глибокими якісними змінами в науково-технічному та соціально-економічному розвитку цивілізації, які пов'язані з безперервним ускладненням технічних засобів і технологій виробництва, з появою принципово нових видів техніки, з посиленням взаємозв'язку і взаємозалежності явищ і процесів різної природи: економічних, соціальних, екологічних, технологічних, інформаційних. Важлива роль у цих змінах належить науково-технічному прогресу. Власне кажучи, системні дослідження з'явилися як відповідь на постійно зростаючу складність інфраструктури світу:

- ♦ ускладнення техносфери і структуризація її відображення та формалізації як багатопільової, багаторівневої, багатозв'язної ієрархічної системи;
- ♦ безперервне прискорення темпів зміни поколінь технологій у різних галузях виробництва і поколінь різноманітної техніки різного призначення;
- ♦ невинне зростання складності, взаємозалежності і взаємозв'язку практичних задач управління економічними, соціальними, екологічними, технологічними, науково-технічними та іншими процесами.

Перелічені фактори зумовили суттєве підвищення вимог до якості та ефективності управління у різних сферах людської діяльності, сприяли створенню потреби в нових засобах і методах формування та обґрунтування розв'язків. Тому на певному етапі розвитку цивілізації виникає все більша потреба у системному мисленні, системній методології, системних дослідженнях.

Назвемо деякі фактори та причини, що зумовили становлення, а сьогодні ще й стимулюють розвиток системності практичної діяльності людини. Так, безперечно, що від ефективності виробництва залежать темпи розвитку економіки і зростання соціального добробуту країни. Темпи підвищення ефективності виробництва, у свою чергу, визначаються насамперед динамікою зростання продуктивності праці. Звідси впливає практична потреба в розробці та впровадженні у практику як прийомів і методів раціональної організації праці, так і нових технологій і технічних засобів підвищення її продуктивності. На ранньому етапі розвитку цивілізації переважала ручна праця з використанням

найпростіших знарядь і тяглової сили тварин, а єдиним доступним засобом підвищення продуктивності праці могла бути лише її раціональна організація.

Бурхливий розвиток технічних засобів підвищення продуктивності праці й зумовлена цим поява нових технологій припадають на період першої науково-технічної революції, початок якій поклав винахід парової машини. Парова машина стала не лише якісно новим знаряддям виробництва, що замінило тяглову силу тварин, але й потужним каталізатором створення й впровадження нових технічних засобів і промислових технологій. Ці фактори стимулювали процес досить швидкого переходу від кустарного виробництва до промислового, завдяки чому стали можливими розробка й впровадження у практику нових способів і технологій підвищення продуктивності праці. Першим таким способом стала механізація. Вона дала змогу відмовитися від багатьох видів важкої ручної праці у виробництві та суттєво підвищити його продуктивність. Однак механізація має певні недоліки та природні обмеження, що пояснюються багатьма обставинами. До найважливіших із них можна віднести обмеженість сфери механізації, збереження фізичного навантаження на людину. Наявність досить складних виробництв, що використовували різнотипні засоби механізації, потребувала спільної, погодженої діяльності обслуговуючого персоналу, що створило один із перших прецедентів системності функціонування механізмів і персоналу. Тому механізацію можна розглядати як *перший рівень системності* практичної діяльності людини.

Більш досконалим способом підвищення продуктивності праці є створення автоматизованих і автоматичних виробничих технологій та систем, що характеризують *другий рівень системності* практичної діяльності людини. Його головна ціль полягає в тому, щоб у процесі експлуатації автоматизованих виробничих систем суттєво обмежити участь людини у виробничому процесі, покласти виконання найбільш трудомістких, небезпечних, одноманітних операцій саме на такі системи, а функції управління й контролю за цими процесами передати людині.

Незважаючи на високий рівень розвитку сучасних систем автоматизації, їхні можливості виявляються також обмеженими. Автоматизувати можна лише такі технологічні процеси, які детально вивчені й підлягають алгоритмізації та програмному керуванню. У реальних виробничих умовах часто доводиться стикатися з непередбаченими позаштатними ситуаціями, що можуть призвести до випуску браку або, що ще значно гірше, до аварії або катастрофи. За цих умов у системах управління необхідно використовувати людину, її інтелект, інтуїцію та досвід, здатність орієнтуватися в незнайомих умовах і знаходити розв'язки погано формалізованих задач, здатність передбачати сценарії розвитку ситуації у процесі формування й реалізації розв'язків. У такому разі людина виконує саме ті операції з управління, що не піддаються формалізації (наприклад, експертну оцінку, якісне порівняння багатфакторних альтернатив, прийняття і реалізацію управлінських рішень тощо). Такі проблеми нерідко виникають у процесі управління багатофункціональними виробничими системами, для яких характерно періодичне багаторазове переналагоджування технологічних ліній і верстатів із вбудованим програмним управлінням. Крім того, у складних виробничих системах присутні технологічні процеси, що не можна формалізувати. Для них формалізація деяких практично важливих технологічних операцій є вкрай складною або недоцільною. Найчастіше такі проблеми виникають на етапах проектування й модернізації просторово віддалених, великих багатогалузевих технологічних комплексів.

Третій рівень системності практичної діяльності людини пов'язаний із впровадженням у виробництво потужних обчислювальних методів і засобів. Комп'ютеризація забезпе-

чує кращі можливості для підвищення продуктивності праці порівняно з автоматизацією, оскільки відкриває можливість автоматизації не лише фізичної праці, а й розумової. Останній вид автоматизації є якісно новим, він з'явився внаслідок другої науково-технічної революції, що відкрила можливість виробництва та впровадження у практику обчислювальної техніки, в першу чергу персональних комп'ютерів, і високоефективного системного та прикладного програмного забезпечення.

Якісно новим видом комп'ютеризації, який відкриває можливість системної автоматизації фізичної і розумової праці на інтелектуальному рівні, є інтелектуалізація. Саме зі створенням засобів і методів штучного інтелекту пов'язаний *четвертий рівень системності* практичної діяльності людини. З'являється можливість створювати робототехнічні комплекси із широким спектром робочих функцій і застосовувати їх у різних сферах практичної діяльності, у тому числі для роботи в умовах, небезпечних для життя людини. Такі комплекси здібні, зокрема, виконувати замість людини певні інтелектуальні функції, що потребують прийняття рішень. Крім того, відкриваються можливості для створення інтелектуальних засобів спілкування людини з комп'ютером, який буде розрізняти голос, текст, схеми.

Таким чином, до початку XXI століття цивілізація створила кілька типів засобів технічного удосконалення праці людини, які одержали практичне застосування у різних сферах її життя та діяльності. Кожний тип є характерним для певного виду робіт і певного етапу розвитку науки і техніки, що відповідним чином впливало на організацію і технологію виробництва, на структуру та функції управління ним, і тому належить до відповідних рівнів системності практичної діяльності людини. Взаємозв'язок цих типів засобів технічного удосконалювання праці і деяких їхніх властивостей відображено на діаграмах (рис. 1.2).

Отже, системність є невід'ємною властивістю практичної діяльності людини. Не викликає сумнівів, що виробництво з вищим рівнем системності здатне випускати продукцію вищої якості й більшого обсягу порівняно з виробництвом, що має нижчий рівень системності. Тому досягнутий рівень системності технологічних процесів є не тільки важливим показником потенційної продуктивності та ефективності конкретного виробництва, але й показником потенційної конкурентоспроможності його продукції. Однак не можна не зазначити, що рівень реалізації цих показників безпосередньо залежить від рівня системності, мобільності й оперативності системи управління виробництвом. Таким чином, для практичної реалізації високих показників конкретного виробництва необхідно забезпечити системну погодженість можливостей виробництва й можливостей управління за цілями, задачами, термінами, ресурсами та очікуваними результатами.

Ця умова є необхідною, але не достатньою для досягнення успіху за наявності жорсткої ринкової конкуренції. Подбати необхідно не лише про високу якість продукції, але й про її місце на національному і світовому ринках. Для досягнення цієї цілі потрібно виконати дві найважливіші умови. По-перше, забезпечити системну погодженість усіх показників і обмежень технологій та всіх якісних показників і контрольованих параметрів продукції з вимогами й обмеженнями міжнародного права, міжнародних стандартів та міжнародних договорів. У протилежному випадку може так статися, що на світовий ринок не буде допущено перспективну високоякісну продукцію, що не має у світі прототипів чи аналогів. Таку ситуацію буде проілюстровано далі на прикладі надзвукового літака ТУ-144. По-друге, необхідно апріорно забезпечити системну погодженість усіх якісних показників і контрольованих обмежень продукції з конкретними запитами та потребами потенційного споживача.

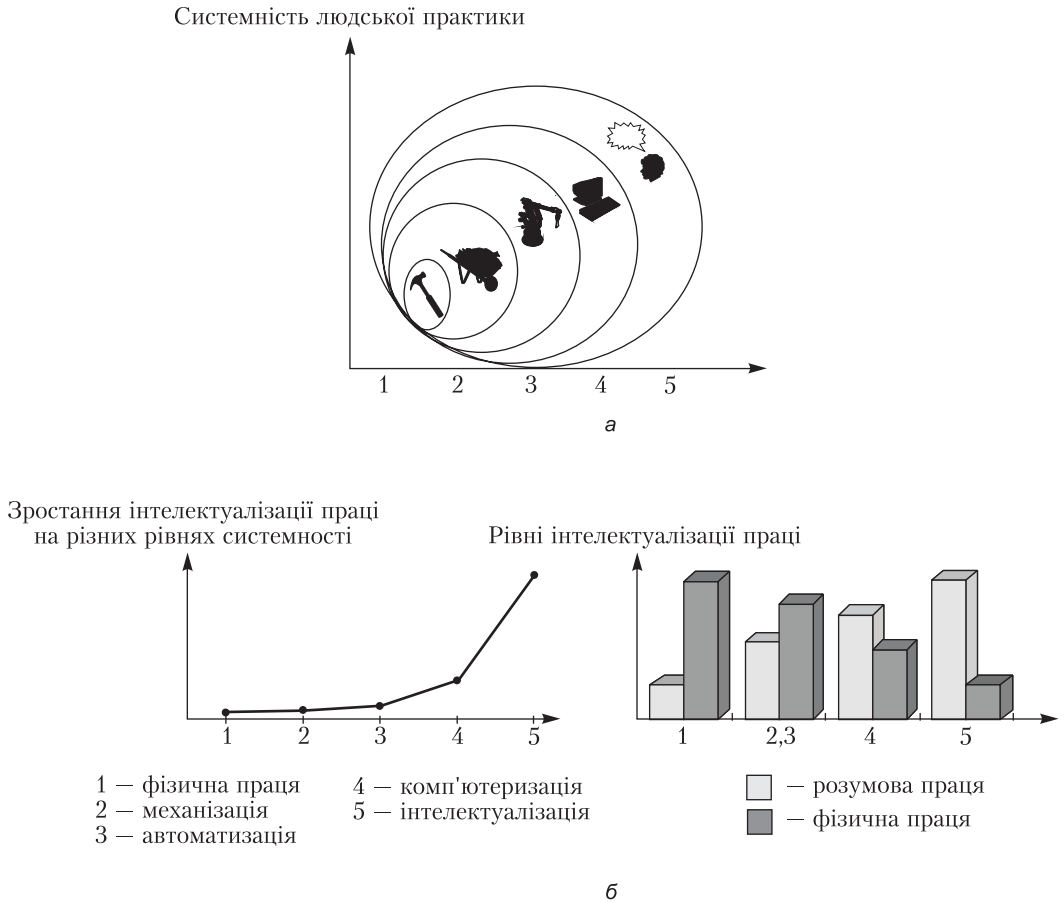


Рис. 1.2. Рівні системності у практичній діяльності людини: еволюція засобів праці з переходом від одного рівня системності до іншого (а); співвідношення між розумовою і фізичною працею на різних рівнях системності (б)

Не викликає сумнівів той факт, що склад рівнів системності та їхніх процентних співвідношень у конкретній галузі виробництва є своєрідними базовими показниками її можливостей та недоліків, які достатньо повно характеризують технологічний рівень і виробничий потенціал цієї галузі, а також побічно відображують ступінь системної погодженості її виробництв за цілями, задачами, термінами, ресурсами та очікуваними результатами.

1.4.2. Системність інноваційної діяльності

Зростання системності практичної діяльності зумовлюють не лише розглянуті раніше фактори. Воно також спричинене безупинним збільшенням обсягу та рівня залежності, динамізму і складності взаємодії багатьох взаємозалежних і суперечливих факторів. Особливо наочно роль і значення системності, мобільності й взаємозв'язку різних об'єктивних та суб'єктивних факторів виявляється у становленні та розвитку інноваційної діяльності як у світовій економіці, так і в економіці окремих держав. Цілком очевидно, що стан та інноваційний розвиток економіки кожної країни залежать від

таких об'єктивних факторів, як наявність фінансових, матеріальних, енергетичних та інших ресурсів.

Але разом із тим стан економіки суттєво залежить від рівня продуктивності праці, який, у свою чергу, визначається багатьма різномірними факторами: рівень розвитку технологій і технологічного устаткування, мобільність, рівень життя, освіти й культури населення, а також місцеві та регіональні умови, зокрема можливість наймати робочу силу, вартість життя й загальні життєві умови в різних регіонах тощо. Крім того, продуктивність у тій чи іншій галузі суттєво залежить від рівня капіталовкладень, а отже, від наявності кредиту та рівня інвестицій, від процентних ставок та податкового обкладання. У той же час наявність і рівень інвестицій, а також рівень процентних ставок багато в чому залежать від стану й стабільності економіки країни, від стану, перспектив і тенденцій розвитку інвестицій у галузі загалом і на конкретному підприємстві галузі зокрема, а також від багатьох інших економічних та соціальних факторів. До найважливіших соціальних факторів слід віднести такий латентний показник, як ступінь довіри різних верств населення до соціально-економічної політики керівництва країни.

Проте важливе значення має не лише довіра різних верств населення до керівництва країни, а й довіра до нього державних діячів і ділових кіл інших країн. Наявність високого ступеня довіри до соціально-економічної політики, яка проводиться керівництвом країни, є найважливішою умовою досягнення й забезпечення життєздатності економіки. Слід особливо наголосити, що позитивних результатів можна досягти шляхом проведення багатьох різноманітних заходів, які повинні бути, з одного боку, системно погодженими за цілями і задачами, очікуваними результатами й термінами, а з іншого боку, постійно доводити незмінність і демонструвати результативність чинної політики. Позитивний приклад такого підходу в економічній політиці продемонстрував президент США Ф. Рузвельт під час виводу країни з великої депресії 1929–1932 років. Разом із тим протилежний підхід, а саме відсутність належної оцінки системного взаємозв'язку різних процесів і факторів, відсутність системного аналізу, відмова від прогнозування сценаріїв розвитку і намагання передбачити позитивні та негативні наслідки прийнятих рішень у проведенні соціально-економічної політики може швидко призвести до суттєвого погіршення економічного і соціального становища в країні. Приклади такого нераціонального підходу до ведення соціально-економічної політики наочно продемонстрували всі нові незалежні держави, що утворилися на території колишнього СРСР, у перші роки становлення їхньої державності і незалежності.

Фактори системності проявляються не лише в економіці держави загалом, але й в окремих галузях, зокрема під час розробки та реалізації окремих великих технічних проєктів. Як негативний приклад можна ще раз згадати історію першого у світі надзвукового пасажирського літака ТУ-144, що почалася тріумфом наприкінці 70-х років минулого століття і закінчилася дуже сумно на початку 80-х, тому що літак не пішов у серійне виробництво. Необхідно зазначити, що найважливіші стадії життєвого циклу, які передують серійному виробництву і подальшій експлуатації лайнера, були виконані на найвищому рівні у повній відповідності з теорією і практикою розробки авіаційної техніки, що доводять випробування і дослідні польоти перших зразків літака. Літак мав такі льотно-технічні показники, які свідчили про створення якісно нового класу пасажирських літальних апаратів. Наприклад, його швидкість перевищувала швидкість звуку у 2,5 рази, тобто дорівнювала $M = 2,5$. Цей показник пасажирських літальних

апаратів не перевершено й дотепер. Наприклад, швидкість його конкурента, літака «Конкорд», створеного кількома роками пізніше, дорівнювала $M = 2,3$. Одним словом, усе було зроблено у повній відповідності як з усіма потрібними в такій ситуації теоріями, зокрема з теорією складних систем, так і з досвідом авіабудівельної та авіаційної практики. Більш того, в експлуатацію не було допущено навіть дослідні зразки. Цілком природно, що виникає низка запитань.

- ◆ Що призвело до настільки несподіваного фіналу процесу розробки й впровадження такого складного, технічно досконалого виробу?
- ◆ Чому явні переваги й нові можливості літака, який на той час не мав ані конкурентів, ані аналогів та прототипів, виявилися недостатніми для ухвалення рішення про його серійне виробництво і практичне використання?
- ◆ Які помилки розробників чи недоліки літака перекреслили всі його переваги і нові можливості?

Аналіз показує, що в осіб, які приймають рішення (ОПР), справді було достатньо підстав зробити висновок не лише невігідний економічно, але й настільки несподіваний і принизливий для розробників. Не заглиблюючись у деталі, подамо тільки факти, що мають безпосереднє відношення до розглянутої тут проблеми. Насамперед, аби не допустити хибного тлумачення подальших висновків і тверджень, наведемо деякі важливі відомості. По-перше, літак практично цілком відповідав усім загальним і льотно-технічним вимогам державних стандартів. По-друге, він не мав жодних недоліків, що хоча б трохи зменшували його переваги і можливості. По-третє, немає підстав стверджувати, що на певному етапі проектування розробники невірно сприймали вихідні дані або задані вимоги і тому припустилися помилки.

Суть виниклої у свій час ситуації зводиться до такого. Розробники технічного завдання, очевидно, розглядали літак як складну технічну систему не з позиції загальної теорії систем, а з використанням тільки авіаційних і аеродинамічних знань, і тому під час формування вимог не приділили належної уваги системному узгодженню льотно-технічних вимог до надзвукового літака із технічними можливостями системи його наземного обслуговування. Не надали цим аспектам належної уваги і розробники літака. Тому принципово новий літак проектували як окремий технічний об'єкт, а не як певний елемент нової складної авіаційно-технічної системи, до складу якої входять служби управління польотами, наземного обслуговування та інші функціональні підрозділи обслуговування. Отже, не було здійснено на належному рівні системного аналізу об'єкта, що складається з літального апарата і середовища його функціонування. Ця обставина не дала змоги вчасно виявити, обґрунтувати, розробити і реалізувати заходи щодо створення принципово нової системи обслуговування. На етапі випробування ТУ-144 з'ясувалося, що наявні системи управління польотами і наземним обслуговуванням нездатні забезпечити експлуатацію цього літака, тому що його надзвукова швидкість потребувала принципово нової технології забезпечення польотів. Крім того, не повною мірою було дотримано міжнародних стандартів, зокрема не забезпечено вимог щодо шумових показників у межах аеродромів. Цей приклад є, на нашу думку, переконливим доказом високої значимості системності практичної діяльності в інноваційній сфері, особливо на етапі формування об'єкта системного дослідження.

Тепер перейдемо до розгляду досить яскравого позитивного прикладу, а саме історії появи персонального комп'ютера (ПК). Передусім слід наголосити, що історія електронних обчислювальних машин відлічує шостий десяток років. А перший ПК, «Apple-1»,

був випущений у 1976 році. У ньому було передбачено можливість, яку умовно можна назвати «програмуванням користувача». Він став тією продукцією, котра зробила революцію у світі обчислювальної техніки. Наступний ПК, «Apple-2», що побачив світ у 1977 році, було оснащено клавіатурою і кольоровим монітором. Саме цей комп'ютер за виконуваними функціями і складом комплектуючих елементів уперше визначив стандарт ПК, що діє дотепер.

Винахідником першого персонального комп'ютера був американський конструктор Стів Возняк, однак тільки його співвітчизник Стів Джобс, який узаявся за втілення проекту в життя, перетворив винахід С. Возняка в реальну продукцію. С. Джобс продав свій автобус, умовив С. Возняка продати калькулятор і на одержані гроші організував у будинку батьків міні-фабрику. Реакція фахівців на випуск ПК «Apple-1» і «Apple-2» була неоднозначною. Так, компанія IBM, яка на той час вважалась найбільшим у світі виробником і незмінним лідером комп'ютерної промисловості, та сім інших відомих, але дещо дрібніших фірм, стверджували, що ринок користувачів ПК становитимуть лише самі винахідники цього комп'ютера. Такі фахівці, як Роберт Нойс — винахідник інтегральних мікросхем і творець компанії Intel, Нолан Бушнел — засновник індустрії відеоігор, президент фірми «ATARI» Білл Х'юллет — один із творців Hewlett Packard, також запевняли, що ані «Apple-1» чи «Apple-2», ані будь-який інший ПК такого класу не буде користуватися попитом. Однак, незважаючи на такі песимістичні прогнози корифеїв комп'ютерної промисловості, роботу з випуску та удосконалення ПК «Apple» було продовжено. С. Джобс, володіючи здатністю технологічного передбачення, не мав жодних сумнівів щодо значення ПК для практичної діяльності спеціалістів із найрізноманітніших галузей науки й техніки, у чому переконав і свого партнера С. Возняка.

Чим закінчилася ця історія відомо, проте не зайвим буде відзначити два такі факти. Якщо великі, середні та малі ЕОМ протягом всієї історії їхнього виробництва рахувалися одиницями, то ПК відразу почали лічити тисячами, а до кінця XX століття рахунок ішов вже на десятки й сотні мільйонів. Ринок ПК за 5 років сягнув 30 млрд. доларів, а бізнесу великих обчислювальних машин для цього знадобилося 30 років. Пояснюється це тим, що ПК наблизився до потреб людини, назавжди змінив прийоми і методи, якими людство користувалося в роботі під час оформлення документів, підготовки рукописів, передачі і читання повідомлень, різноманітних обчислень та оформлення їхніх результатів. Внесок персонального комп'ютера у розвиток науково-технічного прогресу на кілька порядків вищий, ніж обчислювальної техніки будь-якого іншого типу. ПК стимулював розвиток інформаційних технологій і систем, став основним функціональним елементом наукомістких технологій і, власне кажучи, головним каталізатором стрімкого переходу цивілізації до інформаційного суспільства. Разом із тим не слід вважати, що процес переходу від індустріального суспільства до інформаційного став можливим лише завдяки винаходу ПК. Віддаючи належне ПК і його творцям, не можна не враховувати того, що цей процес стимулювали й багато інших факторів та обставин. Серед них найважливішими досягненнями, безумовно, є:

- ♦ створення дубльованого програмного забезпечення для ПК, орієнтованого на масового користувача;
- ♦ винахід мікропроцесора і розробка технології його серійного виробництва.

Перше досягнення, що належить Біллові Гейтсу, Полу Аллену та їхній фірмі Microsoft, відкрило можливість для масового виробництва операційних систем і прикладного

програмного забезпечення для ПК. Білл Гейтс став наймолодшим мільярдером у світі і увійшов в історію XX століття як найбагатша людина планети. Друге досягнення, що належить Робертові Нойсу і його компанії Intel, дало можливість розпочати масове виробництво процесорів, які є найскладнішим функціональним елементом ПК. Ці інновації стали основою для створення індустрії персональних комп'ютерів. Так, перший у світі промисловий ПК «Apple-2» був запущений у виробництво у 1977 році, а вже у 1982 році його річний обсяг становив 700 000 штук. До кінця XX століття більш ніж 80 % ПК у світі мали програмне забезпечення Microsoft і процесор Intel.

Ця історія є досить повчальною і потребує відповіді на низку цілком природних запитань. Як могло статися, що не лише експерти найвідоміших комп'ютерних компаній світу, але й провідні спеціалісти цієї галузі, які зробили великий особистий внесок у її становлення й розвиток, були творцями і досвідченими керівниками власних великих фірм, не змогли в такому перспективному винаході, як ПК, побачити його майбутнє, зрозуміти його місце і роль у практичній діяльності людства? Чому керівники IBM та Hewlett Packard продемонстрували неймовірну короткозорість і відмовилися реалізувати проект, який їм пропонували їх колишні співробітники? Що перешкодило провідним фірмам і спеціалістам комп'ютерної галузі повірити у можливість промислової реалізації персонального комп'ютера, зрозуміти її необхідність та доцільність? А що допомогло молодому фахівцю С. Джобсу у віці 19 років, всупереч негативним прогнозам, самому взятися за втілення проекту і досягти нечуваних та непередбачуваних успіхів?

Відповідь на останнє запитання є одночасно і досить простою, і досить складною. Може здатися, що людині пощастило. Але цей фактор не зробив вирішального внеску у кінцевий результат хоча б тому, що задум С. Джобса й С. Возняка постійно зазнавав нападок з боку виробників ЕОМ. Головний фактор успіху полягає в тому, що С. Джобс, володіючи системним мисленням, усвідомив як єдину систему взаємозв'язок потреб людини під час роботи з ЕОМ і можливостей їхньої реалізації у ПК. І він зміг передбачити, з одного боку, потреби потенційних користувачів у зручному спілкуванні з ЕОМ, а з іншого боку, зумів побачити реальні шляхи їхньої реалізації. Практика довела справедливості технологічного передбачення С. Джобса. Основною ж причиною помилок, допущених зазначеними компаніями та фахівцями, є відсутність системності в оцінюванні факторів, від яких залежить обсяг ринку ПК. З огляду на високий рівень невизначеності вихідних умов і блискучі результати, що було отримано, створення ПК можна справедливо вважати одним із найяскравіших прикладів технологічного передбачення й системності практичної діяльності у реалізації нових ідей.

Як другий позитивний приклад найвищого рівня організованості і системності інноваційної практичної діяльності людини слід згадати розробку, виробництво та експлуатацію широкої номенклатури космічних апаратів у колишньому СРСР. Насамперед варто згадати, що два покоління орбітальних населених космічних комплексів, «Союз» і «Мир», експлуатували на орбіті більш ніж 20 років. Жодна інша країна світу не змогла створити за цей час жодного аналогічного комплексу. Так, США планували запустити у 1995 році у космос станцію «Фрідом», аналогічну до головного модуля комплексу «Союз», і почати її орбітальну експлуатацію з 1996 року, однак ці плани не було реалізовано. З 1997 року США стали брати участь в експериментах на комплексі «Альфа».

І лише протягом декількох останніх років США вдалося наблизитися до досягнень колишнього СРСР в освоєнні космосу за допомогою орбітальних космічних станцій.

Головними досягненнями космічної діяльності СРСР, що назавжди увійшли у світову історію, стали перший у світі запуск штучного супутника Землі, перший у світі

політ людини у космос, перший її вихід у відкритий космічний простір. Подібного успіху можна було досягти лише за умови застосування цілеспрямованого системного аналізу з урахуванням усієї сукупності факторів і проблем, взаємозв'язків та взаємодії всіх функціональних систем і пристроїв унікального наземно-космічного комплексу, що включає космічні апарати, ракети-носії, просторово-розподілені об'єкти систем запуску, засоби зв'язку й управління, різні об'єкти та устаткування систем забезпечення тощо. Цей унікальний комплекс було створено шляхом раціонально обґрунтованого, програмно-цільового планування і системно-цілеспрямованої організації колективної діяльності з розробки, виробництва, випробування, технологічної підготовки та введення в експлуатацію всіх його функціональних елементів за єдиним стратегічним задумом і системно-погодженими програмами, пов'язаними єдиною ціллю вивчення та освоєння космічного простору.

Необхідно звернути увагу на дві принципово важливі умови розробки розглянутого класу об'єктів. По-перше, розробка практично кожного космічного апарата велася за відсутності багатьох необхідних даних — важливих якісних характеристик і кількісних показників космічного середовища експлуатації апаратів, показників і характерних властивостей матеріалів в умовах інтенсивного впливу різних факторів у відкритому космосі, зокрема впливу різних видів випромінювань, мікрогравітації, мікровакууму, а також неповноти іншої кількісної та якісної інформації, що вперше стала використовуватися на практиці. Друга особливість безпосередньо впливає з першої. Суть її полягає у тому, що на етапі розробки космічного апарата практично неможливо чітко визначити, які ймовірні умови зовнішнього середовища відповідатимуть штатному режиму експлуатації, а які умови призведуть до позаштатної критичної або надзвичайної ситуації. Тому виникає потреба у прогнозуванні, аналізі та оцінці наслідків штатних ситуацій, а також можливих результатів, які у разі розробки інших об'єктів навіть не враховуються. Ці обставини є яскравою ілюстрацією не тільки загальних властивостей факторів, що визначають системність взаємозв'язку і взаємодії середовища та об'єкта, але й детального системного аналізу тонкої структури взаємозалежності властивостей цих факторів. Вони також демонструють наскільки велика складність умов розробки унікальних об'єктів, складність формування вихідної інформації, складність системного взаємозв'язку різноманітних прикладних задач, пов'язаних із розробкою, випробуванням, технічною діагностикою, експлуатацією сучасних технічних об'єктів.

Звідси випливає необхідність для розробників мати у своєму розпорядженні системно-погоджену технологію розв'язання всієї сукупності науково-технічних проблем і практичних задач, що впливають на різних етапах життєвого циклу сучасних технічних об'єктів. Ця технологія має забезпечити можливість досягнення багатьох цілей, і насамперед таких:

- ♦ раціональне використання наявної інформації різного виду, включаючи точні й наближені дані, різноманітну кількісну та якісну інформацію, зокрема нечітку, неповну, неточну і навіть суперечливу, яку нерідко формують емпірично — керуючись певним досвідом, інтуїтивно, на підставі різних здогадок, припущень, міркувань;
- ♦ своєчасне формування достатньо обґрунтованих і достовірних розв'язків за умови, що вихідна інформація не досить повна та чітка, що вона певною мірою невизначена, неточна й суперечлива.

На перший погляд цей висновок може здатися парадоксальним. Справді, чому після розв'язання найскладніших задач, що потребують розробки універсальних комплексів унікальних космічних систем і цілої низки складних технічних об'єктів інших

класів, розвитку і широкого впровадження у різні галузі виробництва наукомістких технологій, безперервного стрімкого підвищення технічних можливостей обчислювальної техніки, розробникам, як і раніше, необхідно дбати про удосконалення єдиної інтегрованої технології системно погодженого розв'язування задач, пов'язаних із розробкою, виробництвом, випробуваннями, технологічною підготовкою до введення в експлуатацію та експлуатацією виробів нової техніки? Відповідь на це запитання впливає із загальних закономірностей розвитку попиту та пропозицій. Про це дуже образно й точно сказав Д. Хіммельблад: «Складається враження, що з розширенням наших можливостей у розв'язанні складних задач із тією ж швидкістю розширюється й їхнє коло. У результаті завжди існує категорія задач, рішення яких потребує ще великих зусиль».

На завершення цього підрозділу варто сформулювати загальні висновки про сутність і значення системності у практичній діяльності людини. Із наведених вище прикладів, які демонструють її досягнення та невдачі, є очевидним, що системність, завдяки у першу чергу своїй багатогранності, відіграє важливу роль у розв'язанні складних практичних задач. Системність визначають як об'єктивні, так і суб'єктивні фактори. Її визначальними об'єктивними факторами є різноманітність взаємозв'язків і складність взаємодії різних елементів структури розглянутого об'єкта, а також високий динамізм, різноманітність і складність взаємодії даного об'єкта із зовнішнім середовищем. Найважливішими суб'єктивними факторами системності є численні форми взаємодії дослідника, системного аналітика та розробника об'єкта дослідження.

Зазначені фактори стосуються різних організаційних, науково-технічних і методологічних проблем. Серед останніх основними з позиції досягнення поставлених цілей дослідження є такі:

- ♦ визначення граничних властивостей і характеристик об'єкта дослідження;
- ♦ формулювання загальної задачі системного аналізу для об'єкта дослідження;
- ♦ вибір або розробка необхідного інструментарію для розв'язання задачі.

Під час розробки та виготовлення виробів нової техніки завжди враховують деякі умови, що визначають складність розв'язання відповідних задач. Приміром, для виробничника це будуть умови, які визначають: об'єкт праці, ціль праці, інструментарій праці та, нарешті, принцип організації праці.

Важливість зазначених умов прокоментуємо на прикладі, що на перший погляд може здатися простим чи навіть елементарним.

Насамперед потрібно звернути увагу на те, що будь-які реальні об'єкти мають практично необмежену кількість власних властивостей і необмежену кількість властивостей різних видів взаємозв'язків і взаємодій з іншими об'єктами і зовнішнім середовищем. Кожну з цих властивостей або їхню певну сукупність можна цілеспрямовано вивчати, але практично жодного реального об'єкта неможливо вивчити повністю. Більш того, вивчення багатьох властивостей складного об'єкта може виявитися зайвим чи навіть безглуздом із позиції поставленої мети дослідження. Так, безглуздо вивчати хімічний склад, радіоактивність та інші хімічні й фізичні властивості матеріалів, з яких виконано персональні комп'ютери, якщо метою системного дослідження є здатність локальної мережі деякого підприємства опрацьовувати інформацію про попит і номенклатуру продукції, яку воно випускає. Очевидно, що для досягнення поставленої мети необхідно знати інші властивості, особливості та взаємозв'язки складових об'єкта. У цьому випадку визначальними є відомості про структуру підприємства, принцип організації взаємодії його структурних підрозділів, інша інформація, що дає змогу визначити зовнішні і внутрішні інформаційні потоки, обсяг і швидкість відновлення баз

даних, необхідне математичне і програмне забезпечення для розв'язання прикладних задач забезпечення діяльності досліджуваного підприємства. Розглянутий приклад наочно показує, що в кожному конкретному дослідженні для досягнення поставленої мети дослідження потрібно з усього різноманіття властивостей, характеристик і показників об'єкта вибрати обмежену і порівняно невелику їхню кількість, але таких, що досить повно описують цей об'єкт з урахуванням його внутрішніх і зовнішніх взаємозв'язків. Іншими словами, у виборі меж досліджуваного об'єкта необхідно керуватися принципами системного аналізу, насамперед принципами цілісності.

Це твердження справедливе як у разі виконання аналізу конкретного технічного, організаційного чи іншого об'єкта на різних етапах його життєвого циклу, так і у разі виконання аналізу різних процесів його розвитку, включаючи штатні, позаштатні, критичні та надзвичайні ситуації. Звідси випливає, що об'єкт дослідження повинен бути визначений як деякий елемент реального світу, який упродовж всього його життєвого циклу можна розглядати як єдине ціле з позиції досягнення певних цілей у певних умовах. Але різні дослідники можуть трактувати цілі та очікувані результати за однакових умов по-різному через суб'єктивні фактори. Це можуть бути індивідуальні психометричні характеристики працівників, різний рівень їхніх знань, навички і досвід, уміння передбачати майбутнє і висувати гіпотези, використовувати інтуїцію під час розв'язання різних задач за умов невизначеності, неповноти, неточності і суперечливості вихідної інформації, а також нечіткості формулювання умов, критеріїв, властивостей і показників задач певного типу.

Отже, розв'язанню подібних задач притаманна певна частка суб'єктивізму. І це цілком природно, оскільки процедура формування умов і критеріїв для них є принципово неформалізованою, дослідник виконує її суб'єктивно на підставі власного досвіду та інтуїції. Неформалізованість, нечіткість, невизначеність вихідної інформації та низка інших найважливіших особливостей системності практичної діяльності людини визначає доцільність раціонального поєднання під час проведення системного аналізу як інтуїції і досвіду дослідника, так і об'єктивних знань, а також обчислювальних можливостей комп'ютерів. У цьому своєрідному симбіозі можливостей та об'єктивних наукових знань комп'ютер відіграє роль підсилювача інтуїції і творчого начала людини, тобто роль потужного інструмента у розв'язанні задач системного аналізу.

Отже, системність практичної діяльності людини визначається самою сутністю навколишнього цілісного світу, тобто вона не є результатом трактування та розуміння об'єкта дослідження відповідним розробником чи системним аналітиком. Іншими словами, ця категорія є об'єктивною. І чим повніше людина опановує метод системності, тим складнішим і загадковішим для неї стає цей феномен. Це положення створює значні труднощі у виявленні та інтерпретації фізичного змісту системності. Труднощі інтерпретації фізичного чи іншого змісту системності зумовлено як складністю та цілісністю навколишнього світу, так і складністю та багатогранністю взаємодії з ним людини. Отже, інтерпретація системності повинна бути пов'язана з інтерпретацією складності. Але, як справедливо зазначив Р. Розен: «Наші інтерпретації поняття «складності» майже настільки ж різноманітні, як і сама складність». Тому узагальнені інтерпретації системності не можуть бути єдиними.

Наведемо одну з можливих інтерпретацій. Системність є такою багатогранною властивістю практичної діяльності людини, яка зумовлює ефективність і результативність суб'єктивної взаємодії з об'єктивним навколишнім світом у процесі розв'язання конкретних практичних задач. За своєю природою системність є латентною, безпосередньо

невимірюваною властивістю, по суті аналогічною коефіцієнту корисної дії певного технічного пристрою.

У широкому значенні під системністю слід розуміти структурний взаємозв'язок і цілеспрямовану функціональну взаємодію певних елементів та частин як матерії, так і матеріальних об'єктів. З цієї точки зору системність є глобальною властивістю Всесвіту, що виражена як загальна властивість матерії, зокрема людського суспільства.

Слід зазначити, що різні аспекти цієї властивості з тією чи іншою мірою повноти вивчають різні природні, технічні та суспільні науки. Разом із тим жодна з цих наук не дає достатньо цілісного уявлення як про об'єкти, які мають зазначену властивість, так і про методи розв'язання системних задач, що за різноманітністю досліджуваних факторів та умов є міждисциплінарними. Припущення та обмеження аксіоматичних наукових дисциплін не завжди виконуються на практиці, і тому їхні методи в багатьох випадках неможливо застосовувати для розв'язання практичних задач. Зокрема, методи теорії дослідження операцій виявилися непридатними для знаходження розв'язків задач системного вибору раціональних альтернатив під час розв'язання складних практичних, системних проблем. І ця обставина стимулювала пошук нових підходів та методів їхнього розв'язання, які принципово відрізнялися б від прийомів і методів аксіоматичних дисциплін.

1.5. Системний аналіз як універсальна наукова методологія

Проведений аналіз основних етапів розвитку системності дає змогу визначити загальну роль і місце системного аналізу у практичній діяльності людини. Для цього розглянемо докладніше загальну структуру системної взаємодії людини, об'єкта його вивчення і навколишнього середовища. Можна показати, що до такої взаємодії зводиться задача системного аналізу багатьох типів реальних складних систем різного призначення.

Наведемо трактування деяких понять. Під *об'єктом вивчення* будемо розуміти матеріальний об'єкт природного або штучного походження, що використовується чи виробляється у процесі практичної діяльності людини, або певну ситуацію, яка з'являється внаслідок впливу природних процесів або складається в результаті практичної діяльності. *Середовище* — зовнішнє оточення людини та об'єкта дослідження (природне середовище, зовнішні об'єкти, що залежать від розглянутого об'єкта або взаємодіють із ним). *Людина* — розробник, виробник, користувач, продавець чи покупець об'єкта або фахівець-дослідник відповідної предметної галузі, до якої належить досліджуваний об'єкт.

1.5.1. Роль і місце системного аналітика під час розв'язання складних задач

Розглянемо роль системного аналітика у практичній діяльності людини. Для цього наперед необхідно з'ясувати роль системного аналізу шляхом зіставлення двох задач: традиційної фізичної задачі гравітаційної взаємодії трьох тіл і задачі системної взаємодії людина $\Leftrightarrow$ об'єкт $\Leftrightarrow$ середовище. Схематично системну взаємодію можна зобразити у вигляді трикутника, вершинами якого є людина, об'єкт і середовище. Цю схему

називатимемо схемою 1 (рис. 1.3). Вибір фізичної задачі зумовлений тим, що її структурна схема найближче збігається з прийнятою схемою 1.

Однак властивості взаємодії об'єктів у цих задачах принципово відрізняються. Справді, для задачі взаємодії трьох тіл єдиним і визначальним фактором є взаємні гравітаційні впливи. Тому системні властивості визначає лише взаємодія трьох гравітаційних мас. Вона має точний математичний опис. Єдина складність дослідження такої взаємодії полягає в тому, що динамічні рівняння, які описують подібну систему, не можуть бути розв'язані аналітично. Від дослідника залежить тільки вибір методу чисельного розв'язання системи рівнянь і, як наслідок, точність отриманого розв'язку. Отже, розв'язки, одержані різними дослідниками, відрізнятимуться лише величиною похибки і, можливо, часом, що витрачається на процес обчислення. Зіставлення таких розв'язків не становить ані математичної, ані методологічної складності.

Принципово іншою є взаємодія людина $\Leftrightarrow$ об'єкт $\Leftrightarrow$ середовище в процесі практичної діяльності людини. У цьому випадку визначальною особливістю задачі є неповнота, невизначеність, неточність, нечіткість і суперечливість вихідної інформації. Справді, під час розробки, експлуатації або дослідження об'єкта не вдається повною мірою враховувати властивості і вплив середовища. Але зовнішнє оточення об'єкта зазвичай не має чітких меж, оскільки будь-який об'єкт у практичній діяльності людини має різноманітні зв'язки із зовнішнім світом — енергетичні, матеріальні, інформаційні, природні тощо. Більш того, не існує в принципі системи універсальних сталих, котрі дали б змогу чітко й однозначно кількісно характеризувати всі можливі зв'язки та взаємодії. Приміром, не можна кількісно однозначно визначити уніфіковані природні умови експлуатації техніки, зокрема для транспортних наземних засобів. Так, умови Крайньої Півночі принципово відрізняються від умов пустель і напівпустель, а ті, у свою чергу, різко відрізняються від умов джунглів. Крім того, навіть у межах однієї кліматичної зони різні групи факторів за багатьма характеристиками є протилежними, висувають протилежні вимоги до об'єкта (спорудження, технології, транспортного засобу тощо).

Ще однією особливістю системної задачі у структурі взаємодії людина $\Leftrightarrow$ об'єкт $\Leftrightarrow$ середовище є невизначеність і неоднозначність цілей. У задачі взаємодії неможливо кількісно однозначно охарактеризувати цілі розробки або дослідження певного об'єкта. Справа в тому, що будь-який об'єкт повинен задовольняти одночасно багатьом цілям, які зазвичай є суперечливими або протилежними. Приміром, суперечливими є цілі досягнення високої міцності конструкції й малої ваги, високої надійності та низької вартості тощо. До того ж цілі розробки повинні враховувати багато латентних факторів, що можуть мати принципове значення у разі наявності альтернативних розв'язків. Це можуть бути естетичні, ергономічні, етнічні та деякі інші фактори, зокрема певні звички та навички потенційного користувача тощо. Звідси випливає необхідність у пошуку раціонального компромісу як між різними групами факторів взаємодії людина $\Leftrightarrow$ об'єкт $\Leftrightarrow$ середовище, так і всередині кожної групи. Зокрема, під час визначення меж об'єкта, розробки загального формулювання задачі дослідження необхідно забезпечити раціональний компроміс між визначальними узагальненими протилежними критеріями — максимізацією якості розв'язку і мінімізацією складності процедури розв'язування.

Подібних прикладів можна навести багато. Але й розглянутих досить для того, щоб став очевидним висновок: розв'язання багатьох задач у процесі практичної діяльності людини потребує пошуку раціонального компромісу. А така процедура є достатньо

суб'єктивною, оскільки критерії порівняння і переваги альтернативних варіантів вибираються особою, що приймає рішення (ОПР). Звідси випливає висновок, що за тих самих вихідних даних різні ОПР можуть одержувати розв'язки, що суттєво різняться між собою практично за більшістю показників. У житті є чимало переконливих прикладів, які практично підтверджують цю тезу. Зокрема, переконливим доказом є велика різноманітність однотипної продукції навіть за умов жорстких обмежень національних та міжнародних стандартів.

Цілком природно, що за умови різноманітності виробів однакового призначення постає необхідність оцінити та порівняти якість деяких альтернативних варіантів однотипних виробів. Така задача ставиться багатьма категоріями осіб. Вона насамперед має важливе значення для споживача. Але не менш важливе значення обґрунтоване та достовірне розв'язання цієї задачі має для виробника відповідної продукції, якщо він прагне забезпечити її конкурентоспроможність на ринку. Більше того, для розробника і виробника продукції важливість і складність розв'язання цієї задачі суттєво вищі, ніж для споживача. Справді, виробник повинен розглядати всі аспекти якості продукції не лише з позиції власних уподобань і можливостей, але й з урахуванням дій конкурентів на ринку, а також динаміки росту запитів покупців. Отже, під час практичної діяльності з'являється потреба в аналізі взаємодії людина $\Leftrightarrow$ об'єкт $\Leftrightarrow$ середовище з більш загальної позиції, ніж у схемі 1. Такий аналіз, по суті, є дослідженням якості та ефективності прийнятої методології й стратегії дій людини в зазначеній системі.

Подібну задачу повинен розв'язувати *системний аналітик*. Тому приходимо до структурної схеми 2 — взаємодії системного аналітика та розглянутої вище системи, тобто до нової системи: системний аналітик $\Leftrightarrow$ людина $\Leftrightarrow$ об'єкт $\Leftrightarrow$ середовище (рис. 1.3).

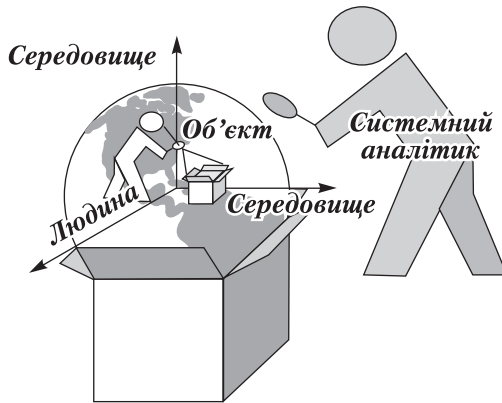


Рис. 1.3. Взаємодія системного аналітика і системи людина $\Leftrightarrow$ об'єкт $\Leftrightarrow$ середовище

У цій схемі дослідження слід виконувати шляхом зіставлення, порівняльної оцінки результату, одержаного в розглянутій системі, з аналогічними результатами конкурентів, а також із загальними тенденціями і перспективами розвитку виробництва, ринку збуту і запитів споживачів.

Виникає запитання: чому цю задачу не може розв'язати людина (розробник, користувач, дослідник чи інша особа) у рамках схеми 1, чому необхідно аналізувати такі взаємодії з іншої позиції — позиції системного аналітика, що вивчає взаємодію в рамках схеми 2? Справді, будь-який досвідчений розробник або виробник виконує аналіз запитів споживача, прогнозує та оцінює дії конкурентів, оцінює ринок збуту та попиту, розробляє відповідну стратегію дій з урахуванням багатьох факторів, власних цілей

і можливостей. Існує практична необхідність у проведенні системного аналізу взаємодії на основі схеми 2, який зумовлюють багато факторів. Відзначимо найсуттєвіші.

Будь-який розробник чи виробник під час розв'язання задачі формує власну систему критеріїв, показників і припущень. Подібна система критеріїв зазвичай є суб'єктивною, а отже, суб'єктивною є і відповідна оцінка. Внаслідок такого підходу розробник чи виробник, що спеціалізується на певному класі продукції, часто переоцінює її позитивні властивості, можливості та перспективи, і недооцінює її недоліки, а також можливості та перспективи конкурентного класу продукції. Доказом цього є приклади банкрутства, збитковості, які практично щорічно спостерігаються в масовій кількості у країнах із ринковою економікою.

Другий фактор визначає необхідність участі у прийнятті рішень подібних задач системного аналітика. Оцінити якість прийнятої методології і стратегії одержання розв'язку, його вірогідність і обґрунтованість із використанням системи критеріїв, прийнятих для схеми 1, практично неможливо. Такий висновок впливає безпосередньо з математично обґрунтованого принципу додатковості К. Геделя [56]. Згідно з цим принципом, для оцінки якості та ефективності прийнятої стратегії й методів розв'язання з використанням певної системи критеріїв необхідно перейти до більш потужної системи критеріїв, яка доповнює вихідну систему новими властивостями і відкриває можливість для використання додаткового апарату оцінки. Саме така можливість з'явиться внаслідок системного аналізу задачі за схемою 2. Звідси впливає, що розв'язання подібних задач із методологічної точки зору принципово відрізняється від розв'язання традиційних фізичних задач.

Проведений аналіз дає змогу зробити такий висновок. Системність практичної діяльності людини зумовлює необхідність системного аналізу на різних рівнях дослідження взаємодії елементів як усередині системи людина $\Leftrightarrow$ об'єкт $\Leftrightarrow$ середовище, так і на більш високому рівні: системний аналітик $\Leftrightarrow$ людина $\Leftrightarrow$ об'єкт $\Leftrightarrow$ середовище.

Розглянутий приклад по суті визначає роль і місце системного аналітика у практичній діяльності. Показана його роль як експерта, що повинен оцінити можливий ступінь досягнення поставлених цілей на основі результатів діяльності складної системи. Очевидно, що тільки цією функцією значення системного аналітика і відповідно роль системного аналізу як наукової методології не обмежуються. Такий висновок впливає безпосередньо з принципів особливостей і відмінностей практичних системних задач від типових задач аксіоматичних дисциплін, наприклад, розглянутих у рамках теорії дослідження операцій, теорії оптимізації тощо. Ця відмінність полягає у тому, що практичні системні задачі є концептуально невизначеними [120], адже їм властиві принципові невизначеності, неоднозначності, ризики, суперечливості множинних цілей, наявність у досліджуваних системах елементів різної природи та інформації різного характеру (кількісного і якісного), що циркулює між цими елементами. Звідси впливає, що складність таких задач набагато вища за складність задач з аксіоматичних дисциплін, оскільки у вихідній постановці вони є неформалізованими. Формалізація є однією з найскладніших процедур під час постановки та розв'язання системних задач будь-якого типу. Проте на практиці формалізації підлягають лише окремі складові більш складних задач. Зокрема, однією з найважливіших складових є визначення і формулювання цілей у вигляді цільових функцій. Задачу їхнього формування можна зобразити такою послідовністю взаємозалежних задач:

- ♦ зведення вихідної вербальної, числової, емпіричної та інших видів інформації до деякого стандартного вигляду, що дає можливість сформулювати цілі дослідження;

- ♦ вибір класу і структури наближувальних функцій під час формування цілей;
- ♦ вибір критеріїв, принципів, підходів та методів побудови цільових функцій;
- ♦ відшукування цільових функцій у прийнятому класі функцій, які забезпечують формалізацію вербально сформульованих цілей із допустимою на практиці похибкою.

Від обґрунтованості і вірогідності результатів виконання цієї початкової процедури під час розв'язання практичних системних задач може залежати кінцевий результат розробки нового складного технічного виробу або результат аналізу складної проблемної ситуації. У той же час від кінцевого результату може залежати діяльність великих колективів виконавців, наукових організацій і промислових підприємств, що характерно для розробки складних технічних систем, наприклад, космічних апаратів, електростанцій тощо. Аналогічні властивості притаманні багатьом локальним задачам, що виникають після декомпозиції загальної задачі системного аналізу. Очевидно, що розв'язання цих задач потребує системного мислення і системних досліджень.

Звідси випливає, що для розв'язання системних задач на різних стадіях життєвого циклу багаторівневих ієрархічних складних систем або для дослідження багаторівневих, багатоцільових, багатofакторних проблемних ситуацій необхідно створити адекватну багаторівневу ієрархічну організаційну систему, на кожному рівні якої повинні приймати рішення групи системних аналітиків, здатних розв'язувати складні практичні задачі або аналізувати проблемні ситуації. Можливу структуру такої організаційної системи буде показано в наступних розділах.

1.5.2. Системний аналіз як прикладна наукова методологія

Історія становлення та розвитку системних досліджень і системного аналізу тісно пов'язана з проблемами та тенденціями безперервного підвищення складності систем різної природи, наприклад, технічних, біологічних, соціальних, економічних тощо, з якими людина стикається в різних сферах своєї діяльності. Характерною рисою таких систем є неформалізованість ряду процесів, що в них відбувається, невизначеність зовнішніх умов, неповнота, неточність, нечіткість вихідної інформації, можливість появи під час функціонування позаштатних, критичних і надзвичайних ситуацій.

Одним з основних проявів тенденції зростання складності було виникнення великих, надзвичайно складних систем сучасного суспільства. З одного боку, це організаційні, нефізичні системи, наприклад соціальні або економічні, з іншого — великі фізичні системи, зокрема космічні, екологічні, енергетичні, телекомунікаційні, транспортні. Складність аналізу й управління такими системами різко зросла, що зумовило необхідність розробки методів, які дають змогу здійснювати ефективне планування і проектування у складних ситуаціях, де жодна традиційна наукова дисципліна не здатна врахувати усі фактори [145].

Сучасні традиційні наукові дисципліни поділяють на дві великі групи: ті, що вивчають певний тип об'єктів і об'єктивні закони, які описують їхній розвиток та життєдіяльність, і ті, предметом вивчення яких є принципи і закони відношень між об'єктами. До першої групи належать дисципліни, кожна з яких займається певним типом об'єктів, наприклад, фізичних, хімічних, біологічних, політичних, економічних, соціальних, незалежно від типу відношень між цими об'єктами. Наукові дисципліни, що вивчають відношення між об'єктами (тип об'єктів може бути довільним), належать до другої групи.

У цю групу входять, зокрема, кібернетика, теорія управління, теорія прийняття рішень тощо. Ці дві групи дисциплін умовно можна розглядати як «ортогональні».

Системний аналіз застосовується в обох зазначених групах, тобто має міждисциплінарний характер. Це зумовлено кількома факторами. По-перше, системні принципи, прийоми і методологію можна використовувати для дослідження проблем, характерних практично для всіх традиційних дисциплін першої групи. По-друге, за його допомогою зручно вивчати властивості відношень між різними об'єктами в різних умовах і ситуаціях, що властиво другій групі дисциплін. По-третє, системний аналіз дає змогу розглядати досліджуваний об'єкт із позиції цілісності, розглядаючи одночасно як властивості елементів об'єкта, так і властивості взаємодії елементів об'єкта між собою.

Завдяки переліченим особливостям системний аналіз можна сприймати як універсальну наукову методологію, що з єдиних позицій вивчає і властивості об'єктів, і відношення між ними. Становлення та розвиток теорії та практики системного аналізу підтверджує справедливність висловлювання відомого системного аналітика Дж. Кліра [66]: «Головне у розвитку науки у другій половині нашого століття — це перехід від одновимірної науки, що спиралася переважно на експериментування, до науки двовимірної, в яку наука про системи, базована переважно на відношеннях, поступово входить як другий вимір». Безумовно, спираючись на це визначення, системний аналіз можна віднести до *двовимірної наукової методології*.

Поняття одновимірної та двовимірної наукових методологій базуються на двох фундаментальних критеріях:

- ◆ спільність типів елементів;
- ◆ спільність типів відношень.

Вважається, що критерії утворюють взаємно ортогональну систему координат.

Прикладом класифікації за першим критерієм служить традиційний поділ науки і техніки на дисципліни, спеціальності, галузі. Кожна дисципліна (спеціальність, галузь) займається певним типом елементів (фізичні, хімічні, біологічні, політичні, економічні тощо). При цьому тип відношень не фіксується, і відношення між елементами одного конкретного типу можуть бути різними.

Використання другого критерію приводить до зовсім іншої класифікації, згідно з якою задається певний тип відношень, а тип елементів не фіксується. При цьому термін «відношення» використовується у найширшому розумінні, що включає набір таких споріднених понять, як організація, структура, взаємозв'язок, залежність, кореляція, обмеження тощо. Ця класифікація ґрунтується, власне кажучи, на результатах обробки інформації про взаємовідношення певного типу для об'єктів різних класів.

Прикладами класифікації за другим критерієм можуть служити різні способи групування розділів знань, прийняті в кібернетичі виходячи зі спільності формалізованого опису відношень елементів, принципу класифікації задач математичного програмування тощо.

Сучасні системні дослідження виконуються з використанням великого комплексу наукових, технічних, організаційно-управлінських методів, а також спеціальних обчислювальних підходів. Представляючи, таким чином, певну галузь сучасної науки і техніки, системні дослідження як одна з форм науково-технічної діяльності потребують, поза всяким сумнівом, теоретичного обґрунтування. Цілком природньо, що настільки складний і багатогранний феномен, яким є системні дослідження, має потребу у визначенні свого місця в сучасній методології наук.

Сучасне методологічне знання не є якимось однорідним гомогенним утворенням. Бурхливий розвиток науки у XX столітті, ускладнення її структури та суттєве зростання в ній ролі теоретичного, абстрактного мислення, широка математизація і формалізація сучасної науки супроводжувалися процесом інтенсивної диференціації методологічного інструментарію досліджень поряд із розвитком загальнофілософських методологічних принципів пізнання. Ця нова ситуація в методології науки дає змогу виділити її чотири основних рівні [66].

- ♦ **Філософська методологія.** Аналіз загальних принципів пізнання і категорійного базису науки. Цей рівень методології є розділом філософського знання, що розробляються властивими тільки для філософії методами.
- ♦ **Загальнонаукова методологія.** Розробка загальнонаукових концепцій пізнання та формальних методологічних теорій (логіка науки, розроблювана із застосуванням апарату математичної логіки, тощо). Загальнонауковий характер методологічних концепцій, по суті, свідчить про їхню міждисциплінарну природу, тобто застосованість до різних галузей науки, на стиках традиційних дисциплін, і принципову можливість перенесення засобів і методів таких концепцій з однієї сфери наукових знань в інші. Оскільки загальнонаукові методологічні концепції не претендують на розв'язання світоглядних, загальнофілософських проблем, їхню розробку здійснюють у сфері нефілософського знання, а саме у рамках сучасної логіки та методології науки.
- ♦ **Конкретно-наукова методологія.** На цьому рівні аналізують методи, принципи і процедури дослідження, що застосовуються у спеціальних наукових дисциплінах. Основне завдання цього рівня методології полягає у виявленні та описі сукупності методологічних прийомів і принципів, специфічних для тієї чи іншої дисципліни — фізики, біології, хімії, психології, соціології тощо.
- ♦ **Методологія прикладних досліджень.** Опис способів одержання релевантної інформації, умов проведення експериментів, врахування похибок, методів обробки експериментальних даних тощо. Методологічні знання на цьому рівні складаються з вимог, регламентацій та практичних прийомів використання тих чи інших наукових результатів.

Врахування різних рівнів методології дає можливість охарактеризувати системний аналіз як загальнонаукове міждисциплінарне методологічне знання. Відповідно до цієї класифікації системний аналіз можна віднести до другого рівня загальнонаукової методології. Тому методологія системного аналізу має більшу загальність, ніж методологічні твердження, які формують і приймають у конкретних галузях наукових знань, але при цьому вони не претендують на філософський рівень узагальнень і не займаються розробкою загальних принципів пізнання.

Розмежування рівнів методології дає змогу не лише виділити різні типи методологічного аналізу, але й встановити взаємозв'язок між ними. Зокрема, воно передбачає, що філософську методологію покладено в основу для будь-яких форм методологічних знань. Важливим наслідком такого уявлення є переважаючий вплив більш загальних рівнів методології на часткові. Так, наприклад, загальнонаукові методології і, зокрема, системний аналіз впливають на формування методологічного знання на рівні конкретно-наукової методології і на рівні методики та техніки дослідження.

Отже, системний аналіз як загальнонаукова міждисциплінарна методологія має такі особливості:

- ♦ являє собою погоджену сукупність методологічних принципів, процедур і методів досліджень, орієнтованих на діалектичне пізнання загальних властивостей та особливостей міждисциплінарних системних задач і способів їхнього розв'язання з метою одержання конкретно-наукових і прикладних результатів у різних сферах людської діяльності;
- ♦ є наступним кроком у розвитку сучасної науки, а саме перехідним етапом від двовимірної науки до багатовимірної, здатної всебічно досліджувати не лише власне систему, але й вихідні умови її створення, а також умови її функціонування та управління у штатних і позаштатних ситуаціях, тому виникає необхідність, по-перше, у багатовимірному системному аналізі умов функціонування системи і, по-друге, у багатовимірному системному аналізі системи як цілісного об'єкта.

Вкажемо на ще одну принципову відмінність системного аналізу від традиційних одновимірних дисциплін. Її суть полягає у дещо інших цілях дослідження. Так, в основі традиційних дисциплін лежить аксіоматична теорія, що базується на певній системі аксіом, постулатів, допущень. При цьому головна мета дослідження полягає у тому, щоб, по-перше, довести, що для прийнятих допущень, аксіом і обмежень сформульована задача розв'язана, а по-друге, обґрунтувати, що методи її розв'язання мають певні властивості (збіжність, точність, коректність, існування розв'язку тощо). А питання про те, чи існує практична інтерпретація сформульованої теорії, чи реалізовані на практиці введені теоретичні обмеження і допущення, не є метою дослідження цих дисциплін. Відповіді на такі питання шукають «фахівці–прикладники», що ставлять перед собою мету знайти практичні інтерпретації аксіоматичних теорій і створити методичні засоби для конкретного використання цих теорій на практиці.

Виходячи з цих позицій, системний аналіз можна інтерпретувати як прикладну наукову методологію, арсенал засобів якої базується не тільки і не стільки на аксіомах, скільки на евристичних методах, прийомах, алгоритмах. Системний аналіз на відміну від аксіоматичних дисциплін має прямо протилежну мету дослідження: за умови, що існує практична задача, для якої відомі фізичні, технологічні, економічні та інші обмеження, потрібно знайти систему прийомів і методів, що дадуть змогу одержати її розв'язок із практично прийнятною точністю, за допустимий час та за прийнятних витрат усіх видів ресурсів. При цьому системний аналіз дає можливість вивчати все різноманіття властивостей об'єкта з позиції досягнення поставленої мети його дослідження як єдиного цілого. У той же час аксіоматичні дисципліни дають змогу вивчати окремі властивості об'єкта з позиції аналізу тільки цих властивостей, без врахування впливу на них інших властивостей. Приміром, під час дослідження властивостей і характеристик міцності об'єкта не враховують такі важливі властивості, як технологічність, техніко-економічну ефективність тощо. І навпаки, у разі дослідження техніко-економічної ефективності не враховуються міцність та інші конструктивні властивості.

Наступна відмінність прикладного системного аналізу від аксіоматичних дисциплін полягає у відмінності їхніх вихідних інформаційних платформ. В аксіоматичних дисциплінах всю інформацію, необхідну для формалізованого опису об'єкта дослідження, вважають заданою. Зокрема, покладають відомими:

- ♦ параметри, що характеризують досліджувані властивості об'єкта;
- ♦ залежність зазначених параметрів від показників зовнішніх впливів і управління;

- ♦ критерії, за якими можна оцінювати ступінь досягнення мети дослідження; допущення та обмеження на параметри і критерії;
- ♦ іншу додаткову інформацію, яка визначає властивості та особливості об'єкта, що розглядається.

При цьому вихідної інформації цілком достатньо для розробки змістовного формулювання і математичної постановки задачі дослідження об'єкта. Більш того, часто як вихідну інформацію наводять повне математичне формулювання задачі з необхідними залежностями, критеріями, обмеженнями і допущеннями.

Принципово інший обсяг і характер вихідної інформації властивий прикладним задачам системного аналізу. Передусім вихідну інформацію про об'єкт дослідження відрізняють неповнота, неточність, нечіткість і суперечливість. До того ж зазвичай відсутня найважливіша інформація, зокрема про критерії оцінювання ступеня досягнення цілей дослідження. Більше того, у багатьох випадках, зокрема у разі проектування складних систем, ставляться суперечливі вимоги до заданих технічних, експлуатаційних, технологічних показників і характеристик. Потрібно знайти раціональний компроміс, однак умови і критерії компромісу мають бути обрані й обґрунтовані у процесі проведення системного дослідження.

Цей перелік особливостей вихідного інформаційного забезпечення прикладних системних задач можна значно розширити. Усі вони призводять до того, що у загальному випадку задачі системного аналізу для реальних об'єктів є принципово неформалізованими, оскільки містять принципово неформалізовані процедури. Наприклад, вибір критеріїв, вибір умов раціонального компромісу тощо. Задачі системного аналізу для реальних об'єктів розв'язуються шляхом раціонального об'єднання можливостей людини-експерта та можливостей, які дає застосування сучасних об'єктивних знань і наукового інструментарію, насамперед обчислювальної техніки, можливостей евристичних прийомів і процедур та можливостей математичних методів і алгоритмів.

Отже, стосовно традиційних наукових дисциплін системний аналіз можна розглядати як наступний крок у розвитку методології сучасної науки, а саме як перехід від одновимірної науки до багатовимірної, де всебічно досліджують не лише власне систему, але й умови її створення й функціонування, умови управління функціонуванням системи у штатних, позаштатних, критичних і надзвичайних ситуаціях з урахуванням факторів ризику, а також неповноти, неточності і недостовірності інформації.

Враховуючи наведені особливості системного аналізу, його змістовне визначення як наукової методології може бути таким.

Системний аналіз — це прикладна наукова методологія, що спирається на широке різноманіття системно організованих, структурно взаємозалежних і функціонально взаємодіючих евристичних процедур, методичних прийомів, математичних методів, алгоритмічних програмних і обчислювальних засобів, що забезпечує формування цілісних, міждисциплінарних знань про досліджуваний об'єкт як про сукупність взаємозалежних процесів різної природи. Ці знання використовуються для прийняття рішень щодо подальшого розвитку і поведінки об'єкта з урахуванням багатьох конфліктних критеріїв і цілей, наявності факторів ризику, неповноти і недостовірності інформації.

Зазначимо, що класичне визначення наукової дисципліни не може бути строго застосоване до системного аналізу у зв'язку з неможливістю хоча б більш-менш точно окреслити арсенал методів і засобів, якими він оперує, принциповою міждисциплінарністю і багатовимірністю його наукового підходу до вивчення складних об'єктів.

Умови переходу людства до інформаційного суспільства, проникнення нових інформаційних технологій у різні сфери життя та діяльності людини якісно змінюють не лише цілі, задачі та зміст освіти, але і роль, місце й значення окремих дисциплін у загальній системі освіти. Потреба у формуванні людини і дослідника, здатного адаптуватися до швидко змінюваних умов та норм сучасного суспільства і націленого на удосконалення цього суспільства, зумовлює необхідність перегляду парадигми освіти і зміни багатьох аспектів процесу пізнання. У світовій практиці чітко простежується тенденція корінної зміни цього процесу — тепер більше уваги приділяється системному мисленню, що дає можливість виявляти глибинні явища, взаємні зв'язки та вплив елементів навколишнього світу. Тому формування і розвиток теоретичних основ системного аналізу як прикладної наукової методології повинні бути системно погоджені з цілями, задачами, очікуваними результатами і стратегією розвитку систем освіти, а також із загальними тенденціями розвитку сучасного суспільства. Необхідність у такому підході випливає з основних вимог до випереджальної системи освіти і, зокрема, з вимоги освоєння наукової методології та способів застосування системного аналізу на практиці з метою виявлення суті і визначення шляхів розв'язання політичних, економічних, соціальних, науково-технічних та інших практично важливих проблем.

Висновки

- ♦ Для розуміння ролі та об'єктивної оцінки значення системних досліджень і системного аналізу в різних сферах практичної діяльності людини проведено дослідження процесу становлення і розвитку системного аналізу із прагматичної точки зору. Наведено визначення поняття «системне мислення», виявлено основні властивості та особливості розвитку системного мислення. Обґрунтовано вимоги до системного аналітика: здатність до самооцінки та самоадаптації, до оцінювання і формування апарату дослідження, до оцінювання і формалізації задачі.
- ♦ Виділено чотири етапи формування системного аналізу як прикладної наукової методології. Найважливішим підсумком першого періоду слід вважати створення ідейної бази для формування нової фундаментальної парадигми в науці. Основні ідеї цієї парадигми, що відображають її різні аспекти, незалежно подано у працях В. І. Вернадського, Л. фон Берталанфі та Н. Вінера. Перший етап є періодом формування теоретичної бази системного мислення як основи концептуальної парадигми системного аналізу. Другий етап становлення системного аналізу формувався у надзвичайних умовах у період від початку 30-х до кінця 40-х років XX століття. Саме тоді з'явилася необхідність у створенні різних технічних систем військового призначення за умов жорсткого ліміту часу. Розробка методологічного апарату велася емпірично і незалежно в різних країнах. Обмін досвідом в умовах воєнного часу був неможливим. У результаті було створено емпіричні передумови формування парадигми системного аналізу як методології розв'язання реальних системних задач за допустимий термін із практично прийнятною похибкою за умов концептуальної невизначеності. Цей період можна вважати етапом емпіричного розвитку теорії і практики системного аналізу, колективного формування системної методології. Третій етап становлення і розвитку системного аналізу формувався в умовах післявоєнного часу — із середини 40-х до кінця 70-х років XX століття. Він суттєво відрізняється від попередніх етапів якісно новими задачами, пов'язаними з принциповими

соціально-політичними змінами у світі, унікальними теоретичними і практичними науково-технічними досягненнями. Було створено теоретичний базис математичного і методологічного інструментарію формалізації та автоматизації на базі ЕОМ процедур розв'язання реальних найскладніших організаційних і технічних системних проблем у різних сферах практичної діяльності. Створено такі принципово нові галузі, як космонавтика й атомна енергетика. Розроблено й введено в експлуатацію складні унікальні технічні системи різного призначення. Теоретично обґрунтовано і практично реалізовано у спеціальному математичному та програмному забезпеченні фундаментальну парадигму системного аналізу. Цей етап є періодом синхронного розвитку теорії системного аналізу та практики системних досліджень. На кінець цього періоду з'явилися глобальні системні проблеми, що не були розв'язані з використанням арсеналу, наявного на той час, зокрема математичних і методологічних засобів системного аналізу.

- ♦ Четвертий етап розвитку системного аналізу триває від початку 80-х років минулого століття і дотепер та є періодом глобалізації світових процесів і загроз. Світові процеси розвитку характеризуються високими темпами глобалізації й безперервним зростанням складності їх взаємозалежності і взаємодії. Сучасна методологія прикладного системного аналізу не відповідає глобальній, багаторівневій ієрархічній структурі різномірних, багатofакторних, багатofункціональних взаємозв'язків, взаємозалежностей і взаємодій об'єктів дослідження і не в повній мірі використовує потенційні можливості глобальної, багаторівневої системи інформаційних комп'ютерних мереж. Одним із перспективних шляхів усунення недоліків можна вважати оперативну, послідовну розробку концепцій, стратегій і програм дослідження найважливіших глобальних проблем сучасності. І на цій основі доцільно виконувати формування багаторівневої ієрархічної структури метаметодології системного аналізу глобальної проблематики, забезпечивши її системне, функціональне узгодження з ієрархічною структурою взаємозв'язків, взаємозалежностей і взаємодій об'єктів дослідження відповідно до ієрархічної структури інформаційних комп'ютерних систем і мереж як інструментальної основи її реалізації. Отже, четвертий етап є етапом глобалізації системної проблематики.
- ♦ Показано роль глобалізації світових процесів у розвитку інформаційного суспільства. Розкрито особливості світових процесів переходу від індустріального суспільства до інформаційного.
- ♦ Показано, що системність є такою багатогранною властивістю практичної діяльності людини, яка визначає ефективність і результативність її суб'єктивної взаємодії з об'єктивним навколишнім світом у процесі розв'язання конкретних практичних задач. Описано рівні системності у практичній діяльності людини: механізація, автоматизація, комп'ютеризація, інтелектуалізація. На прикладах унікальних складних систем показано системність інноваційної практики.
- ♦ Визначено роль у практичній діяльності системного аналітика як експерта, який повинен оцінити ступінь досягнення системою поставлених цілей на підставі результатів її функціонування.
- ♦ Визначено роль і місце системного аналізу як наукової методології у практичній діяльності людини, показано принципи відмінності системного аналізу від традиційних аксіоматичних одновимірних дисциплін. Доведено необхідність здійснення системного аналізу на різних рівнях дослідження взаємодії як усередині системи

людина $\Leftrightarrow$ об'єкт $\Leftrightarrow$ середовище, так і на більш високому рівні: системний аналітик $\Leftrightarrow$ людина $\Leftrightarrow$ об'єкт $\Leftrightarrow$ середовище. Показано, що системний аналіз як загальнонаукова міждисциплінарна методологія характеризується погодженою сукупністю методологічних принципів, процедур і методів дослідження, орієнтованих на діалектичне пізнання загальних властивостей та особливостей міждисциплінарних системних задач і способів їхнього розв'язання для одержання конкретно-наукових та прикладних результатів у різних сферах людської діяльності. Системний аналіз — це наступний крок у розвитку сучасної науки, а саме перехід від двовимірної науки до багатовимірної, де всебічно досліджують не лише власне систему, але й вихідні умови її створення, а також умови функціонування й управління у штатних та позаштатних ситуаціях.