

ТЕМА 1. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЯК МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ І ОБҐРУНТУВАННЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ

1.1. Основні поняття загальної теорії систем та системного аналізу

Визначення поняття «система». Фундаментальним поняттям системного аналізу і таких засадних теоретичних дисциплін, як теорія систем, кібернетика, дослідження операцій, є поняття «система». Незважаючи на інтуїтивну зрозумілість та велику важливість цього терміна для наукових досліджень, донині не існує загальноприйнятого його визначення.

Огляд різних трактувань поняття «система» показує, що можна виділити такі основні пов'язані з ним змістові аспекти:

- найпоширенішим, але й найвужчим є «інженерне» розуміння системи як взаємозв'язаного набору елементів та способів їх з'єднання, які слугують певній меті;
- у «конструкторському» розумінні «система» подається як проектування та створення певного комплексу методів і засобів, які дослідник або розробник застосовує для досягнення певної мети, для виконання свого завдання;
- в науково-дослідницькому трактуванні «система» уявляється як загальна методологія дослідження процесів і явищ, що відносяться до певної галузі людських знань;
- у теоретико-пізнавальному аспекті «система» розуміється як спосіб мислення.

У науковій літературі є багато визначень поняття «система», що відносяться як до загальних, так і до конкретних систем різних видів.

У перших визначеннях у тій чи іншій формі зазначалось, що система — це елементи та зв'язки між ними. Так, наприклад, основоположник теорії систем Людвіг фон Берталанфі визначав систему як комплекс взаємодіючих елементів, що перебувають у певних відношеннях між собою та зовнішнім середовищем.

Пізніше при визначенні цього терміна стало з'являтися поняття цілі. Так, у філософському словнику система визначається як «сукупність елементів, що знаходяться у відношеннях та зв'язках між собою певним чином та утворюють деяку єдність цілей». Останнім часом при визначенні системи поряд із елементами, зв'язками, їх властивостями та ціллю почали включати спостерігача, хоча на необхідність врахування взаємодії між дослідником та досліджуваною системою вказував ще один із основоположників кібернетики У.Р.Ешбі.

Зауважимо, що у різних визначеннях поняття «система» є багато спільного та взаємно доповняльного, тому краще використовувати найширше з них :

- наявність об'єкта, який являє собою множину підоб'єктів (або наявність множини об'єктів, які можуть розглядатися як один складний об'єкт);
- наявність суб'єкта дослідження, який називається спостерігачем;
- наявність завдання, яке визначає відношення спостерігача до об'єкта і є критерієм, за яким здійснюється відбір об'єктів та їх властивостей;
- наявність зв'язку між об'єктом, спостерігачем та завданням, що виражається у наявності певної мови описування.

Перші три умови утворюють єдність, що забезпечується наявністю мови, в якій проявляється їх взаємозв'язок. Це схематично показано на рис.2.

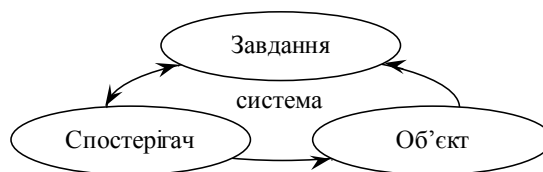


Рис.2. Умова існування системи

Тоді формально визначення системи можна виразити символами:

$$S \rightarrow_l^n \Omega(e, r)^p,$$

де S — система, n — спостерігач, l — мова описування, p — завдання, e — множина підоб'єктів, r — множина відношень між ними, Ω — оператор відображення.

У такий спосіб система S буде являти собою відображення властивостей підоб'єктів e та їх відношень r для n по p в l .

У теоретико-пізнавальному аспекті можна виділити три можливі аспекти розгляду систем:

- 1) система розглядається як взаємопов'язаний комплекс матеріальних об'єктів (такий підхід зручний, головню, при дослідженні природних об'єктів або процесів матеріального виробництва);
- 2) система включає, з одного боку, набір матеріальних об'єктів, а з іншого — інформацію про їхній стан (такий підхід застосовується при описуванні процесів управління матеріальним виробництвом);
- 3) система розглядається чисто в інформаційному аспекті як комплекс відношень, зв'язків, інформації (такий підхід прийнятий у теоретичних дослідженнях, за описування соціальних відносин та процесів управління).

Кожний із цих підходів потребує відповідного специфічного наукового інструментарію для розв'язання трьох різних видів завдань.

Системи оточують нас всюди: кожний предмет, явище, процес — це системи. Наприклад, системами є живі організми, технічні пристрої тощо. Безумовно, системами є фірми, корпорації, організації, банки, галузі економіки та вся економіка в цілому.

Розглянемо інші основні поняття, які використовуються при дослідженні систем.

Підсистемою називають сукупність елементів, які об'єднані єдиним процесом функціонування та при взаємодії реалізують певну операцію, що необхідна для досягнення поставленої перед системою в цілому мети. **Надсистемою** називають ширшу систему, в яку входить досліджувана система як складова частина.

Елементом системи називають її частину, яка виконує специфічну функцію і є неподільною з погляду завдання, що розв'язується. Внутрішня структура елементів не є предметом системного аналізу. Важливі лише властивості елемента, які визначаються його взаємодією з іншими елементами системи та справляють вплив на поведінку системи.

Слід зауважити, що поділ системи на елементи та саме поняття елемента є певною мірою відносними й умовними.

Між елементами довільної системи та між різними системами існують **зв'язки**, за допомогою яких вони взаємодіють між собою. Ці зв'язки можуть виражатися в обміні речовиною, енергією чи інформацією між взаємодіючими системами або елементами. Система може мати зовнішні та внутрішні зв'язки. Зв'язки можуть бути також як прямими, так і зворотними.

Системи мають зовсім нові якості, які відсутні у її елементів. Ці якості виникають саме завдяки наявності зв'язків між елементами. Саме за допомогою зв'язків здійснюється перенесення властивостей кожного елемента системи до інших елементів.

Зворотні зв'язки є складною системою причинної залежності та полягають у тому, що результат попередньої дії впливає на наступний перебіг процесу в системі: причина підпадає під вплив зворотного впливу наслідку. Якщо зворотний зв'язок підсилює результат впливу наслідку, то його називають позитивним, а якщо послаблює — негативним. Негативні зворотні зв'язки сприяють збереженню стійкості системи. Тільки завдяки наявності зворотних зв'язків у системах можуть відбуватися процеси цілеспрямованої діяльності та регулювання.

Зв'язки перетворюють систему з простого набору компонентів у єдине ціле і разом з компонентами визначають стан та структуру системи, безумовно при визначальному впливі функції.

Важливими для описування систем є поняття структури та ієрархії. Під **структурою системи** розуміють її стійку впорядкованість та зв'язки між елементами і підсистемами. *Структура відбиває найсуттєвіші зв'язки між елементами та підсистемами, які мало змінюються при змінах у системі та забезпечують існування системи і найважливіших її властивостей.* Для визначення структури системи необхідно провести її послідовну **декомпозицію**, тобто виділити в ній підсистеми всіх рівнів, доступних аналізу, та їх елементи, які відповідно до завдань дослідження не поділяються на складові частини. Завдяки ієрархічності структура складних систем може бути подана через структуру їх частин — від підсистем до елементів.

Структуру системи можна зобразити графічно, у вигляді опису, матриць або іншими способами. Так, в організаційних системах часто зустрічаються лінійні, матричні, деревоподібні структури (рис.3).

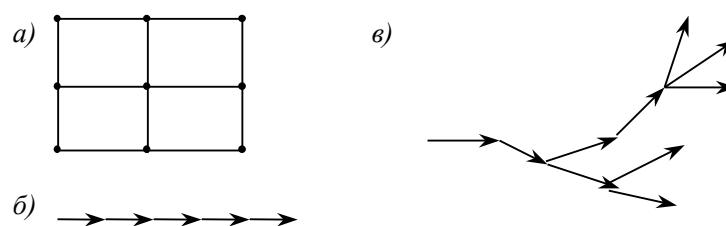


Рис. 3. Графи, що відповідають матричній (а), лінійній (б), деревоподібній структурам

Під *ієрархією* системи розуміють розташування її підсистем або елементів за певним порядком від вищого до нижчого.

Головним системоутворювальним фактором є її *функція*. Існує кілька поглядів з приводу того, що являє собою функція системи. Так, під функцією системи можна розуміти перетворення її входів у виходи. З іншого погляду функція системи може полягати у збереженні її існування, підтримці її структури та впорядкованості. Іноді функцію системи ототожнюють із функціонуванням цієї ж системи, визначаючи її як спосіб, засіб або як дії для досягнення цілі системи.

Системи функціонують у певному зовнішньому середовищі. *Зовнішнє середовище* — це все те, що знаходиться зовні системи, включаючи необхідні умови для існування та розвитку системи. Зовнішнє середовище складається із ряду природних, суспільних, інформаційних, економічних, виробничих та інших факторів, що впливають на систему та самі певною мірою перебувають під впливом цієї системи.

Взаємодія між системою та зовнішнім середовищем здійснюється за допомогою входів та виходів. *Вхід системи* — це дія на неї зовнішнього середовища. *Вихід системи* — результат функціонування системи для досягнення певної мети або її реакція на вплив зовнішнього середовища. Загальна кількість взаємодій системи з зовнішнім середовищем дуже велика, тому на практиці обмежуються аналізом найсуттєвіших зв'язків, вибір яких визначається конкретними умовами управління тим чи іншим об'єктом.

Окрім функції система може мати ціль. *Ціль системи* — це бажаний стан її виходів. Системи, що мають ціль, називають *цілеспрямованими*. Будь-які соціально-економічні системи є цілеспрямованими, бо їх елементами є люди. Отже, у загальному вигляді систему (з контуром зворотного зв'язку) можна зобразити графічно у такий спосіб (рис.4):

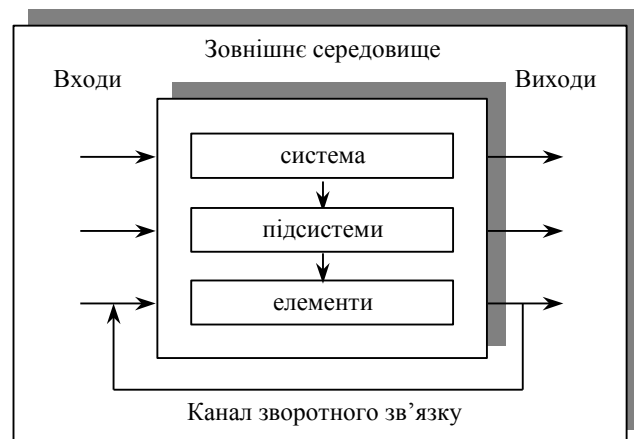


Рис. 4. Графічне зображення системи

Стан системи характеризується кількісними та якісними значеннями внутрішніх параметрів (змінних) системи в даний момент. Функціонування системи або зміну станів системи у часі називають *поведінкою* або *рухом*. Отже, поведінка системи — це розгорнута у часі послідовність реакцій системи на внутрішні зміни та зовнішній вплив.

Рівновага — це здатність системи зберігати свій стан як можна довше (як за відсутності, так і за наявності зовнішніх збурюючих впливів).

Під *стійкістю* розуміють здатність системи повертатися в стан рівноваги після виведення її з цього стану впливом зовнішніх збурень. Стан рівноваги, у який система здатна повертатися, називають стійким станом рівноваги.

Важливе значення в системному аналізі має поняття *управління*. *Управління системою* необхідне для забезпечення її *цілеспрямованої поведінки* при зміні умов зовнішнього середовища або умов її функціонування. *Управління досягається за рахунок відповідної організації системи, під якою розуміють її структуру та спосіб функціонування. Системи з управлінням називають кібернетичними системами.*

Взаємодія системи з зовнішнім середовищем свідчить, що середовище надає системі ресурси, а одержує від неї та споживає продукти кінцевої діяльності системи (ПКД). ПКД не можуть бути створені в середовищі (принаймні в достатній кількості), оскільки за таких умов нема необхідності виділяти систему із середовища. Система необхідна середовищу для задоволення деяких своїх потреб в її кінцевих продуктах. Тому можна зробити висновок, що до створення нових систем спонукає наявність незадоволених потреб, або, інакше кажучи, система створюється для вирішення деякої проблемної ситуації.

Отже, об'єктивною основою формування системи є проблемна ситуація, тобто такий незадовільний стан елементів зовнішнього середовища, який середовище власними засобами (сукупністю систем зовнішнього середовища) на даному етапі не в змозі нормалізувати.

1.2. Класифікація систем

Залежно від мети дослідження та враховуючи велике різноманіття систем можна обрати різні принципи та підходи до їх класифікації. При цьому систему можна характеризувати однією чи кількома ознаками.

Так, за походженням, розрізняють **природні** системи, які існують в об'єктивній дійсності — біологічні, фізичні, хімічні тощо (атом, молекула, організм, популяція, суспільство — приклади таких систем) та **штучні** — системи, які створені людиною. Вони включають як різноманітні технічні системи (від простих механізмів до найскладніших виробничих комплексів та інформаційних систем), так і організаційні системи, що складаються з груп людей, діяльність яких свідомо координується для досягнення певної мети або виконання деяких функцій (наприклад, система управління підприємством, система державного управління).

За взаємодією із зовнішнім середовищем розрізняють **замкнені** та **відкриті** системи. Замкнена система характеризується високим рівнем незалежності від навколишнього середовища (наприклад, годинник). Відкрита система активно взаємодіє із зовнішнім середовищем, що полягає в обміні речовинами, енергією, інформацією. Безумовно, значна більшість систем, особливо економічних, є відкритими, наприклад країна, суспільство, людина, фірма, організація тощо.

Розрізняють **статичні** та **динамічні** системи. У статичній системі фіксуються статичні взаємовідношення на певний момент. Опис структури статичної системи є початком систематизованого дослідження в довільній галузі науки. Системи статичної структури корисні для створення теоретичної бази з метою подальшого аналізу та синтезу систем. Якщо система переходить із часом від одного стану до іншого, то такі системи називають динамічними.

Системи поділяються також на **детерміновані** та **стохастичні**. У детермінованих системах перехід з одного стану в інший (тобто поведінка системи) є визначеним. На відміну від детермінованих систем рух (розвиток) стохастичних систем не є чітко визначеним та розглядається як випадковий процес.

Важливою класифікаційною ознакою систем є їх **складність**. Але й досі нема чіткого критерію визначення складності системи. Тому будемо розрізняти прості, складні та дуже складні системи. Ознакою простої системи може бути порівняно невеликий обсяг інформації, що необхідний для її описування та управління. Під дуже складними розуміють системи, стан яких неможливо достатньо вичерпно та точно описати. Приклади дуже складних систем: людина, корпорація з чисельністю співробітників понад 15 тис., економічна система країни тощо.

Розрізняють також **великі** системи — системи, моделювання яких ускладнено внаслідок їх розмірності, хоча часто в літературі поняття складної та великої системи ототожнюють.

Окремо слід виділити **соціально-економічні** системи — комплексні структури, що складаються із економічних, виробничо-технічних та соціальних підсистем, які виконують різні цілі (наприклад, місто, організація).

1.3. Властивості систем

Аналіз різноманітних тлумачень терміна «система» свідчить, що можна виділити такі головні групи притаманних системам властивостей, що характеризують:

- сутність та складність систем;
- зв'язок систем із зовнішнім середовищем;
- цілеспрямованість систем;
- параметри розвитку та функціонування систем.

Зупинимося на найважливіших властивостях систем.

Цілісність та подільність. Система є, передусім, цілісною сукупністю елементів. Це означає, що, з одного боку, система — це цілісне утворення, а з іншого — в її складі чітко можуть бути виділені окремі цілісні об'єкти (елементи). Але не компоненти утворюють ціле (систему), а навпаки, при поділі цілого виявляють компоненти системи. *Первинність цілого* — головний постулат теорії систем.

Неадитивність системи (емерджентність). Властивості системи хоча і залежать від властивостей елементів, але не визначаються ними повністю. Функціонування системи не може бути зведено до функці-

онування окремих її компонентів. Сукупне функціонування взаємозв'язаних елементів системи породжує якісно нові функціональні властивості системи. Звідси випливає важливий висновок: *система не зводиться до простої сукупності елементів*; розділяючи систему на частини, досліджуючи кожен з них окремо, неможливо пізнати всі властивості системи в цілому. Цю властивість ще називають системною, або *інтегративною*.

Емерджентність є результатом виникнення між елементами системи так званих *синергічних зв'язків*, які забезпечують загальний ефект функціонування системи, більший, ніж сума ефектів елементів системи, діючих незалежно.

Синергетика — (від грец. *synergetikos* — спільний, погоджений, діючий), науковий напрямок, що вивчає зв'язки між елементами структури (підсистемами), які утворюються у відкритих системах (біологічних, фізико-хімічних, економічних та інших) завдяки інтенсивному (потоківому) обміну речовинами й енергією з навколишнім середовищем за нерівноважних умов. Теоретичні засади синергетики — термодинаміка нерівноважних процесів, теорія випадкових процесів, теорія нелінійних коливань і хвиль.

У складних системах спостерігається погоджена поведінка підсистем, у результаті чого зростає рівень її впорядкованості (явище самоорганізації), тобто зменшується ентропія. Це, зокрема, стосується економічних систем. Результатом самоорганізації стає виникнення взаємодії (наприклад, кооперація) і, можливо, регенерація динамічних об'єктів (підсистем), складніших в інформаційному аспекті, ніж елементи (об'єкти) середовища, з яких вони виникають.

Спрямованість процесів самоорганізації обумовлена внутрішніми властивостями об'єктів (підсистем) у їх індивідуальному і колективному прояві, а також впливами з боку середовища, у яке «занурена» система. Але поведінка елементів (підсистем) і системи в цілому істотно характеризується спонтанністю — акти поведінки не є строго детермінованими.

Ієрархічність системи — це складність структури системи, яка характеризується такими показниками: кількістю рівнів ієрархії управління системою, різноманітням компонентів та зв'язків, складністю поведінки та неадитивністю властивостей, складністю опису та управління системою, кількістю параметрів та необхідним обсягом інформації для управління системою. Ієрархічність системи також полягає у тому, що систему можна розглядати як елемент системи вищого порядку (надсистеми), а її елементи — як системи.

Взаємозалежність між системою та зовнішнім середовищем. Система формує та проявляє свої властивості при взаємодії із зовнішнім середовищем. Вона розвивається під впливом зовнішнього середовища, але при цьому намагається зберегти якісну визначеність та властивості, що забезпечують відносну стійкість та адаптивність її функціонування.

Рівень самостійності та відкритості системи визначається такими показниками: кількістю зв'язків системи із зовнішнім середовищем у середньому на один її елемент чи інший параметр; інтенсивністю обміну інформацією чи ресурсами між системою та зовнішнім середовищем; ступенем впливу інших систем.

Цілеспрямованість системи означає наявність у неї цілі.

Надійність системи (наприклад, організації) характеризується, зокрема: безперебійністю функціонування системи при виході із ладу одного із компонентів; фінансовою стійкістю та платоспроможністю організації; перспективністю запровадженої економічної, технічної, соціальної політики.

Розмірність системи — кількість компонентів системи та зв'язків між ними. Ці показники характеризують також складність системи.

1.4. Основні завдання та принципи теорії систем і системного аналізу

Загалом головне завдання системних досліджень полягає в пошуку простоти у складному, а також ефективних методів та засобів дослідження й управління об'єктами. Детальніше до основних завдань, що розв'язуються за допомогою системного аналізу та теорії систем, можна віднести такі: виявлення та чітке формулювання проблеми за умов невизначеності; визначення або вибір оптимальної структури системи; виявлення цілей функціонування та розвитку систем; вивчення організації взаємодії між підсистемами та елементами; врахування впливу зовнішнього середовища; вибір оптимальних алгоритмів функціонування системи.

Принципи системного підходу — це положення загального характеру, що є узагальненням досвіду дослідження людиною складних систем. Їх часто вважають ядром методології. Відомо біля двох десятків таких принципів, але найважливішими базовими принципами, на які спирається загальна теорія систем та системний аналіз, є *принцип системності* та *принцип ізоморфізму*.

Принцип системності відбиває загальність погляду на об'єкти, явища і процеси світу як на системи з усіма властивими їм закономірностями. Цей принцип обумовлює необхідність спільного розгляду

системи як цілого і як сукупності елементів, дослідження будь-якої частини системи разом з її зв'язками з іншими частинами та із зовнішнім середовищем.

Цей принцип постулює необхідність ієрархічного, принаймні трирівневого, дослідження системи: необхідно досліджувати власне систему, її підсистеми та елементи, а також розглядати систему як елемент системи вищого порядку.

Принцип ізоморфізму постулює наявність однозначної (власне ізоморфізм) чи часткової (гомоморфізм) відповідності структури однієї системи структурі іншої, що дає змогу моделювати одну систему за допомогою іншої, подібної в деякому відношенні. Сучасні дослідження як у загальній теорії систем, так і в тих галузях знань, які, головню, виникли на її основі (синергетика, теорія катастроф), свідчать про наявність не тільки ізоморфізму чи суворої відповідності структури систем, а й загального у їх розвитку та функціонуванні.

Обидва ці принципи підкреслюють наявність загальних системних закономірностей, але вони не виключають специфіки будови, функціонування та руху систем різних типів. Загальні закономірності і намагається розкрити загальна теорія систем, тоді як аналізом загального й особливого в конкретних системах займаються інші галузі науки.

Серед інших важливих принципів слід відмітити такі:

- принцип кінцевої мети: абсолютний пріоритет кінцевої цілі системи;
- принцип ієрархії: корисне введення ієрархії елементів та (чи) їхнє ранжирування, корисне виділення модулів (підсистем) у системі та розгляд системи як сукупності підсистем;
- принцип функціональності: спільний розгляд структури і функції системи з пріоритетом функції над структурою;
- принцип розвитку: врахування динамічності системи, її здатності до розвитку, розширення, накопичення інформації, врахування невизначеності та випадковості при функціонуванні системи.

Отже, *метою теорії систем та системного аналізу є відшукування принципів, загальних для різних складних об'єктів, на основі встановлення емпіричними дослідженнями їх ізоморфізму, функцій та динаміки.*

ТЕМА 2. ОСНОВНІ ЕТАПИ ТА МЕТОДИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

2.1. Основні етапи системного аналізу

Методики, що реалізують принципи системного аналізу за конкретних умов, спрямовані на формалізацію процесу дослідження системи, процесу постановки та розв'язання проблеми. Методика системного аналізу розробляється та використовується тоді, коли досліднику бракує інформації про систему, яка б дала можливість обрати адекватний метод формального подання системи (або розв'язання проблеми).

Загальним для всіх методик системного аналізу є формування варіантів подання системи (процесу розв'язання задачі) та вибір кращого варіанта. На кожній стадії дослідження використовуються різноманітні наукові методи і прийоми, що складаються із неоднакової кількості етапів аналізу, зміст яких залежить від складності розв'язуваних завдань.

У загальному вигляді системне дослідження проблеми складається з таких етапів:

- формулювання проблеми;
- виявлення цілей;
- формулювання критеріїв;
- визначення наявних ресурсів для досягнення цілей;
- генерація альтернатив та сценаріїв.

Розглянемо детальніше принципову послідовність етапів системного аналізу (починаючи з моменту постановки проблеми) та методи дослідження, що найчастіше застосовуються на практиці (табл. 1).

Системне дослідження довільної проблеми починається з формулювання та опису проблемної ситуації. Попереднє формулювання проблеми є досить наближеним та може істотно відрізнятись від того, яким насправді має бути робочий варіант сформульованої проблеми. Формулювання проблеми здійснюється на вербальному рівні і, як правило, є досить розпливчастим.

Таблиця 1 - Принципова послідовність етапів системного аналізу

Назва етапу	Зміст виконуваних робіт
Аналіз проблеми	Точне формулювання проблеми. Аналіз логічної структури проблеми. Розвиток проблеми (у минулому і в майбутньому). Зовнішні зв'язки проблеми (з іншими проблемами). Принципова можливість розв'язання проблеми.
Визначення системи	Формулювання завдань, виходячи з проблеми. Визначення позиції спостерігача. Визначення об'єкта дослідження. Виділення елементів (визначення меж поділу системи). Визначення зовнішнього середовища
Аналіз структури системи	Визначення рівнів ієрархії. Виділення підсистем. Визначення функціональних і структурних зв'язків.
Формулювання загальної мети і критерію системи	Визначення цілей — вимог надсистеми. Визначення обмежень середовища. Формулювання загальної мети. Визначення критеріїв. Декомпозиція критеріїв по підсистемах. Композиція загального критерію з критеріями підсистем.
Декомпозиція мети, виявлення потреби в ресурсах	Формулювання цілей вищого рангу. Формулювання цілей підсистем. Виявлення потреб у ресурсах.
Виявлення ресурсів, композиція цілей	Оцінювання існуючої технології і виробничих потужностей Оцінювання теперішнього стану ресурсів. Оцінювання можливостей взаємодії з іншими системами. Оцінювання соціальних факторів. Композиція цілей.
Прогноз і аналіз майбутніх умов	Аналіз стійких тенденцій розвитку системи. Прогноз розвитку і зміни середовища. Передбачення виникнення нових факторів, що можуть впливати на розвиток системи. Аналіз майбутніх можливостей та ресурсів.
Оцінювання цілей і засобів	Обчислення оцінок за критерієм. Оцінювання взаємозалежності цілей. Оцінювання відносної важливості цілей. Оцінювання дефіцитності і вартості ресурсів. Оцінювання впливу зовнішніх факторів. Обчислення комплексних розрахункових оцінок.

Назва етапу	Зміст виконуваних робіт
Вибір варіантів	Аналіз цілей на сумісність. Перевірка цілей на повноту. Відсікання надлишкових цілей. Розроблення варіантів досягнення окремих цілей. Оцінювання і порівняння варіантів. Синтез комплексу взаємозалежних варіантів.
Реалізація варіантів	Моделювання економічного (технологічного) процесу. Проектування організаційної структури. Проектування інформаційних механізмів. Виявлення недоліків організації управління та виробництва. Виявлення та аналіз заходів щодо удосконалення організації.

До довільної проблеми необхідно відноситись не як до ізольованої, а як до комплексу взаємопов'язаних проблем. Тому після виявлення проблеми необхідно здійснити її розширення до проблематики, тобто виявити інші проблеми, які пов'язані з досліджуваною та без врахування яких вона не може бути розв'язана.

Для виявлення та структуризації важких для розуміння та нечітко сформульованих проблем, що характеризуються великою кількістю та складним характером взаємозв'язків, застосовується **дерево аналізу проблеми**. Дерево проблеми, як правило, включає такі основні компоненти:

- що необхідно дослідити та розробити? Із яких елементів складається система?
- що має вирішити поставлене завдання?
- як система функціонує і як вона взаємодіє з іншими системами?

Для розширення проблеми необхідно розглядати як над-, так і підсистеми відносно системи, для якої сформульовано вихідну проблему, з метою виявлення основних факторів, що впливають на досліджувані процеси або систему, та визначення відношень між ними. Ці перші етапи є найважливішими, оскільки правильне розв'язання довільної проблеми залежить передусім від того, наскільки правильно з'ясовано, у чому насправді вона полягає й у чому полягає її складність.

Для розширення проблематики при аналізі організаційних систем визначають перелік заінтересованих сторін, до яких відносять:

- замовника;
- осіб, які приймають рішення;
- учасників (як активних — тих, чиї дії необхідні для розв'язання проблеми, так і пасивних — тих, на кому позначаються наслідки);
- системних аналітиків (для мінімізації їхнього впливу на інших заінтересованих осіб).

Кожна з заінтересованих сторін має своє бачення проблеми та своє ставлення до неї. Формування проблематики полягає у визначенні того, які зміни і чому бажає внести кожна із заінтересованих сторін.

На наступному етапі потрібно визначити цілі, тому що як формалізовані, так і слабо структуровані проблеми необхідно звести до такого вигляду, коли вони стають завданнями відшукування відповідних засобів для досягнення заданих цілей. Коли йдеться про цілі, то слід з'ясувати, чого ми насправді бажаємо.

Існує небезпека підміни цілей засобами, якщо суб'єкт, цілі якого необхідно виявити, сам їх чітко не усвідомлює.

2.2. Метод побудови дерева цілей

Слід зауважити, що на практиці, як правило, існує кілька цілей і тому важливо, окрім визначення головної мети, не упустити деякі з суттєвих серед інших. Для цього застосовують метод побудови дерева цілей, що був запропонований ще 1957 року групою американських учених та успішно використаний в ряді військових та промислових програм у США, а нині є повсякденним інструментом практично будь-якого сучасного менеджера.

Під деревом цілей розуміють ієрархічну деревоподібну структуру, яка отримується поділом загальної цілі на підцілі, а їх, у свою чергу, — на детальніші складові — нові підцілі, функції тощо. Якщо всі ці елементи зобразити графічно, то одержимо «дерево цілей», повернуте «короною» донизу (рис.5). При цьому головну ціль розміщують на найвищому рівні.

Перевагою цього методу є те, що він уможлиблює поділ складного завдання, яке важко формалізувати, на сукупність простіших завдань, для розв'язання яких існують перевірені прийоми і методи. Послідовний поділ розв'язуваної проблеми на її частини — підпроблеми — є важливим етапом системного аналізу проблем. Поділ продовжують доти, доки не отримають прості, звичні, очевидні завдання, які можна розв'язати відомими методами.

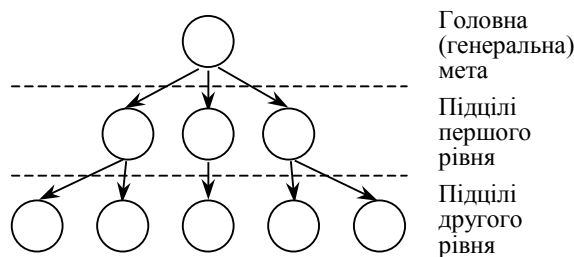


Рис. 5. Граф дерева цілей

Метод побудови дерева цілей являє собою один із найрозповсюдженіших та найефективніших способів аналізу слабко структурованих завдань, що стоять перед економічними об'єктами. Деревоподібні ієрархічні структури використовуються і при дослідженні та удосконаленні організаційних структур.

При побудові дерева цілей необхідно, з одного боку, здійснювати дослідження цілей заінтересованими у розв'язанні проблеми сторонами, а з іншого — передбачати можливість уточнення цілей, їх розширення або зміни. В цьому полягає одна із головних причин ітеративності системного аналізу.

Отже, в рамках цього етапу дослідникові треба:

- чітко визначити цілі, досягнення яких сприяє вирішенню виявленої проблеми;
- виявити інформацію про параметри системи та зовнішнього середовища, які необхідно врахувати;
- визначити сукупність допущень та обмежень, в рамках яких буде розв'язуватись проблема.

На наступному етапі необхідно визначити **критерії** та **обмеження**. Під критеріями розуміють кількісні показники якісних цілей, які мають точніше їх характеризувати. Критерії мають якомога точніше відповідати цілям, хоча і не можуть повністю збігатися з ними, оскільки вони фіксуються в різних шкалах вимірювання: цілі — в номінальних, а критерії — в шкалах, що передбачають упорядкування.

Найпоширенішими та важливими критеріями при аналізі ефективності функціонування економічних систем (наприклад, підприємств) є прибуток, собівартість продукції, обсяги виробництва та збуту, якість, надійність та конкурентоспроможність продукції, ефективність управління тощо.

При формуванні критеріїв головним є не їх кількість, а те, наскільки повно вони характеризують ціль. Тому тут прагнуть досягти компромісу між повнотою описування цілей та кількістю критеріїв. Для повноти описування проблемної ситуації необхідно розглядати три взаємодіючі системи:

- систему, в якій існуюча ситуація розглядається як проблема;
- систему, в рамках якої можна вплинути на проблему для її вирішення;
- зовнішнє середовище, в якому існують та з яким взаємодіють ці дві системи.

Необхідно враховувати, що характер цілей цих трьох систем істотно відрізняється: для першої системи необхідно розв'язати проблему, для другої головна мета полягає в розв'язанні проблеми з найменшими витратами ресурсів, при цьому необхідно враховувати вплив зовнішнього середовища.

Приклад. Якщо головною метою керівництва фірми є збільшення сегмента ринку, то для реалізації цієї мети для відділу маркетингу головною метою буде визначення стратегії просування продукції на ринку, а для виробничого відділу головною метою буде збільшення обсягів виробництва за умови обмежених наявних ресурсів (трудових, фінансових, виробничих, часу тощо). При цьому як зовнішнє середовище можна розглядати дії конкурентів, зміни у податковій політиці держави, зміни в уподобаннях споживачів тощо.

Приклад. Розглянемо з погляду системного підходу цілі соціально-економічного розвитку України.

Якщо розглядати управління економікою з погляду системного підходу, то цілі економічного та соціального розвитку країни розробляються виходячи із стратегічної мети розвитку суспільства.

Стратегічною метою для України можна вважати зростання рівня життя населення, тобто добробуту суспільства в цілому. Одним із показників, який характеризує рівень життя, є обсяг внутрішнього валового продукту, що припадає на душу населення, який на нинішньому етапі розвитку економіки України є одним із нижчих в Європі. Тому стратегічну ціль можна сформулювати так: «забезпечення умов для сталого економічного зростання та забезпечення на цій основі підвищення рівня життя населення».

Розглянемо схематично декомпозицію цієї генеральної мети України, тобто побудуємо дерево цілей. Її досягнення забезпечується за допомогою таких підцілей економічної політики:

- фінансової стабільності;
- досягнення необхідного рівня реформування різних сфер економіки;
- ефективного використання наявних ресурсів (трудових, фінансових, природних, інвестиційних тощо).

Варіант подальшої декомпозиції цих підцілей зображено на рис.6, на якому наведено тільки кілька рівнів дерева.

Досягнення загальних цілей забезпечується застосуванням правових та економічних методів управління, що мають на меті підвищення ефективності функціонування підприємств усіх форм власності. Дія ринкових механізмів забезпечується через створення чіткого законодавчого середовища.



Рис. 6. Декомпозиція генеральної мети соціально-економічного розвитку України

Державне регулювання та управління здійснюється застосуванням економічних та адміністративних важелів. Перелік деяких видів державної політики та інструментів, що застосовуються для досягнення її цілей, наведено у табл.2.

Таблиця 2

ВИДИ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ІНСТРУМЕНТИ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ

Вид державної політики	Важелі, що застосовуються для економічного регулювання
Макроекономічна	Законодавство, постанови Кабінету Міністрів та програма Уряду, пропорції виробництва товарів і послуг, пропорції розподілу та кінцевого використання доходів, міжгалузеві пропорції тощо
Цінова	Ціни природних монополій. Важелі бюджетної, податкової та грошово-кредитної політики, безпосереднє регулювання цін, встановлення цінових пропорцій через обмеження рентабельності тощо
Бюджетна	Законодавство, доходи, видатки бюджету, джерела фінансування дефіциту бюджету, державний борг тощо
Податкова	Законодавство, ставки оподаткування, пільги тощо
Грошово-кредитна	Законодавство, облікова ставка НБУ, режим валютного курсу, номінальне значення валютного курсу, грошова маса та грошова база, обсяги валютних резервів, ставки за кредитами та депозитами тощо
Інвестиційна	Законодавство, норми амортизації, державні інвестиції

Науково-технічна та інноваційна	Законодавство, державне фінансування науки та інноваційної діяльності, державних наукових програм, патенти та ліцензії
Інституційна	Антимонопольне законодавство, регулювання фондового ринку та ринку цінних паперів, страхового ринку, управління державним сектором, рівень незалежності НБУ від органів державної та законодавчої влади тощо
Зовнішньоекономічна	Законодавство, міждержавні угоди, договори, тарифи, мито, субсидії на експорт та імпорт, нетарифні методи
Соціальна	Законодавство, рівень мінімальної зарплати, пенсій та допомоги, прожиткового мінімуму, державні витрати на фінансування соціальних програм у сфері охорони здоров'я, освіти, культури тощо.
Екологічна	Законодавство, витрати на охорону зовнішнього середовища
Розвиток галузей	Державна підтримка національного виробника, податки, субсидії, мито, важелі інвестиційної політики тощо
Регіональна	Законодавство, розподіл повноважень між центром та регіонами, розподіл податкових надходжень та соціальних виплат

2.3. Евристичні методи генерування альтернатив

Наступним етапом системного аналізу є генерування альтернатив, тобто ідей та можливих шляхів досягнення визначеної мети. Генерування альтернатив є творчим процесом. Існує кілька методів, які застосовують для цього: метод мозкового штурму, метод Дельфі, синектика, сценарний аналіз, ділові ігри.

Метод мозкового штурму — це метод посилення творчого підходу стимулюванням генерування ідей у процесі їх обговорення групою людей, при якому забороняється критика. Мета цього методу полягає в стимулюванні висловлення ідей через заохочення ініціативи учасників. При цьому передбачається дотримання таких правил:

- жодна ідея не вважається безглуздою, і тому членів групи заохочують висловлювати довільні крайнощі та неймовірні ідеї;
- кожна з висловлених ідей належить колективу, а не особі, що запропонувала її. Тому кожен член групи використовує ідеї інших;
- жодна з ідей не піддається критиці, тому що головна мета — породжувати, а не оцінювати ідеї.

Метод мозкового штурму широко застосовується в рекламі та деяких інших галузях, де він, напевно, найефективніший.

Метод Дельфі передбачає одержання та зіставлення анонімних суджень про питання, яке становить для нас інтерес, через послідовне розсилання анкет, що перемежовується з обробленням отриманої інформації. При методі Дельфі зберігаються переваги наявності кількох суджень і водночас усувається ефект зміщених оцінок, який можливий за особистої взаємодії респондентів. Основа методу — збір поштових анкет. Наприклад, учасники опитування відповідають на першу анкету та відсилають її. Спеціалісти узагальнюють відповіді, визначаючи груповий консенсус, та відправляють цей результат респондентам разом із другою анкетною для переоцінки своїх попередніх відповідей. Основна ідея цього методу полягає в тому, що консенсус приводить до кращого розв'язку після кількох раундів опитування. Але, як показують дослідження, досить часто значні зміни не відбуваються вже після другого раунду.

Приклад. Цікаві результати одержала Американська асоціація маркетологів, що застосувала метод Дельфі з метою виявлення основних міжнародних проблем, які ймовірно будуть суттєво впливати на маркетинг у 2000 році. Опитування проводилось 1991 року, і в ньому взяли участь 29 експертів з міжнародного маркетингу. Головними проблемами, які виявили експерти, були: стан навколишнього середовища, глобалізація, регіональні торгові блоки, інтернаціоналізація галузей сфери послуг та зростання прямих іноземних інвестицій.

Синектика призначена для генерування альтернатив через пошук аналогій до поставленого завдання за допомогою асоціативного мислення. На відміну від мозкового штурму головною метою тут є генерування невеликої кількості альтернатив. Для цього формується група з 5—7 осіб, які характеризуються гнучкістю мислення, широким кругозором та практичним досвідом у різних сферах діяльності, психологічною сумісністю тощо. Після набуття певного досвіду спільної роботи група починає цілеспрямоване систематичне обговорення довільних (можливо, і фантастичних) аналогій, що виникають стосовно проблеми, яка розглядається.

Особливе значення синектика надає аналогіям, які пов'язані із відчуттям рухів, що обумовлено високою організацією наших рухових рефлексів, і їх осмислення може підказати корисну нестандартну ідею. Для успішної роботи, так само як і при мозковому штурмі, необхідно дотримуватись деяких правил: забороняється обговорювати недоліки та переваги окремих членів групи, кожен має право припинити роботу без жодних пояснень, роль ведучого постійно переходить до інших членів групи. Але

на відміну від мозкового штурму при застосуванні синектики необхідна спеціальна та тривала підготовка.

Приклад. Ефективність синектики була продемонстрована при розв'язанні багатьох інженерних завдань: спроектувати міцніший дах, віднайти нову конструкцію консервного ножа тощо. Але відомий і приклад розв'язання такої проблеми, як розроблення нового виду продукції з потенційним річним обсягом продаж, що дорівнює 300 млн дол.

Розробка сценаріїв — це метод генерації альтернатив за допомогою аналізу ймовірних шляхів розвитку або поведінки системи у майбутньому. Отже, сценарій являє собою певний варіант можливого розвитку подій, деякий логічно обґрунтований прогноз, який з певною ймовірністю реалізується після прийняття рішення. Корисно розробляти кілька варіантів сценаріїв, як правило, песимістичних та оптимістичних, у межах яких найімовірнішим є розвиток майбутніх подій.

До сценаріїв відносять не тільки змістовні міркування, що дають змогу не втратити деякі важливі деталі, які не завжди враховуються при формальному описуванні системи, а й результати кількісного техніко-економічного або статистичного аналізу із попередніми висновками, які можна одержати на їх підставі. На практиці за сценаріями розробляють комплексні програми розвитку економіки, прогнози для окремих галузей промисловості.

Отже, сценарій є попередньою інформацією, на основі якої виконується подальша робота з прогнозування галузі чи розроблення варіанта проекту. Він уможливує уявлення проблеми, а потім перехід до формального зображення системи у вигляді графіків, таблиць для проведення експертного опитування та інших методів системного аналізу.

Метод експертних оцінок полягає в опитуванні групи фахівців з метою з'ясування їхньої думки стосовно досліджуваної проблеми. При застосуванні цього методу вважається, що думка групи експертів надійніша, ніж думка окремого експерта. Він ґрунтується на тому, що невідома характеристика досліджуваного явища трактується як випадкова величина, а індивідуальна оцінка кожного експерта щодо істинності та значущості тієї чи іншої події є відображенням її закону розподілу.

При обробленні результатів колективної експертної оцінки застосовують методи теорії рангової кореляції. Для кількісного оцінювання рівня узгодженості оцінок експертів використовують коефіцієнт конкордації (W):

$$W = \frac{12d}{m^2(n^3 - n)},$$

де

$$d = \sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^m r_{ij} - 0,5m(n+1) \right]^2;$$

m — кількість експертів, $j = \overline{1, m}$;

n — кількість властивостей, що розглядаються, $i = \overline{1, n}$;

r_{ij} — місце, яке зайняла i -та властивість у ранжируванні j -тим експертом;

d_i — відхилення від норми рангів за i -тою властивістю від середньої арифметичної суми рангів за n властивостями.

Коефіцієнт конкордації W дає змогу оцінити, наскільки узгоджені між собою ряди переваг, що побудовані кожним експертом. Його значення знаходяться в межах $0 \leq W \leq 1$. Практично тіснота зв'язку вважається непоганою, якщо W знаходиться в межах $0,7—0,8$.

Невелике значення цього коефіцієнта свідчить про слабку узгодженість думок експертів щодо досліджуваної проблеми. Це може бути зумовлено тим, що насправді у цієї групи експертів відсутня єдність поглядів або в групі експертів є підгрупи з високою узгодженістю думок, але погляди деяких інших підгруп експертів протилежні.

Під **діловими іграми** розуміють імітаційне моделювання реальних ситуацій, за якого учасники гри поводять себе так, як би вони діяли в реальній ситуації. При цьому реальність замінюється певною моделлю. І хоча такі ігри найчастіше використовуються для навчання (наприклад, робота за тренажерами при підготовці пілотів, штабні ігри чи навчання військових, або різноманітні тренінги та бізнес-табори, які стали популярними останнім часом), їх можна використовувати і для генерування альтернатив, особливо у ситуаціях, що важко піддаються формалізації. Важлива роль при цьому надається контрольно-арбітражним групам, що керують моделлю, реєструють хід гри та узагальнюють результати.

Початкові, переважно неформальні етапи системного дослідження проблеми подано на рис.7.



Рис. 7. Головні етапи проведення системних досліджень

Проблеми алгоритмізації системних досліджень

Під *алгоритмом* розуміють скінченний упорядкований набір точних правил, що описують, які дії і в якій послідовності необхідно виконувати, щоб після скінченного числа кроків досягти поставлену мету або одержати розв'язок завдання.

Тому, якщо формалізацію системних досліджень розглядати у вузькому значенні цього слова (як математичне формулювання задачі та знаходження методу або алгоритму її однозначного розв'язку), то системний аналіз не може бути повністю формалізований (а отже, не може бути знайдений єдиний алгоритм знаходження розв'язку), оскільки в ньому значну роль відіграє творча робота, що виконується системними аналітиками та експертами.

Особливо це стосується системних досліджень соціально-економічних систем, які, як зазначалося вище, характеризуються великою складністю, значною кількістю взаємозв'язків, динамічністю та невизначеністю зовнішнього середовища і поведінки людей, неповнотою або неточністю вхідної інформації та ін.

Застосування необхідних методів та процедур (математичних, кібернетичних, евристичних, інформаційних) та їхня конкретна послідовність індивідуально визначаються залежно від конкретної проблеми та її специфіки, наявності ресурсів для її вирішення, досвіду та інтуїції дослідника.

Зазначені труднощі приводять до того, що системний аналітик діє залежно від конкретної ситуації гнучко та різноманітно. Так, дослідник має можливості використовувати у різній послідовності ті чи інші процедури та операції дослідження систем і певною мірою спланувати свої дії наперед (у добре структурованих задачах), а може обирати чергову операцію залежно від результату, одержаного на попередньому етапі, або використовувати деякі готові алгоритми чи підпрограми аналізу.

2.4. Аналіз і синтез систем

У філософському розумінні аналіз і синтез є методами пізнання дійсності. Сутність аналітичного методу пізнання полягає у поділі (реальному чи мисленому) цілого на частини, в поданні складного у вигляді сукупності простіших компонентів та дослідженні властивостей цих компонентів. Потім знання про частини агрегується в знання про систему в цілому. Але при поділі системи в процесі аналізу можуть втрачатися суттєві властивості як самої системи, так і окремих відділених від неї частин. Це обумовлено такими важливими властивостями систем, як цілісність та емерджентність.

Синтетичний метод пізнання полягає в об'єднанні частин у ціле. Проте синтез не зводиться лише до «механічного збирання» частин, що були одержані шляхом аналізу. При синтетичному підході систему необхідно розглядати як складову більшої системи (надсистеми) та, дослідивши її, дезагрегувати знання про неї для пояснення частин. Це досягається вивченням значення та функцій частин у цілому. У такий спосіб аналіз і синтез доповнюють один одного.

Операції поділу цілого на частини та їх з'єднання у ціле називають відповідно *декомпозицією* та *агрегуванням*.

У вужчому розумінні *аналіз* системи полягає в її декомпозиції з подальшим визначенням статичних та динамічних характеристик її елементів, що розглядаються у взаємодії з іншими елементами системи та зовнішнім середовищем. *Синтез* системи полягає в її створенні (проектуванні, організації, оптимізації) через визначення статичних та динамічних характеристик, що мають забезпечувати у сукупності максимальну відповідність системи поставленим завданням.

Розглянемо головні завдання, що вирішуються за допомогою аналізу та синтезу систем.

На етапі декомпозиції системи здійснюється:

- визначення та декомпозиція загальної мети дослідження та головної функції системи як обмеження траєкторії в просторі станів системи або в області допустимих ситуацій. Найчастіше декомпозицію виконують побудовою дерева цілей та дерева функцій;
- виділення системи із середовища (поділ на «систему» та «несистему»);
- опис впливових факторів;
- опис тенденцій розвитку;
- опис системи як «чорного ящика» (див. тему 3);
- функціональна (за функціями), компонентна (за типом елементів), структурна (за типом відношень між елементами) декомпозиція системи.

Глибина декомпозиції — кількість рівнів дерева цілей — визначається метою дослідження системи.

Аналіз та синтез систем можуть здійснюватись у таких аспектах:

- структурному;
- функціональному;
- інформаційному;
- параметричному.

Структурний аналіз проводиться з метою дослідження статичних характеристик системи виділенням у ній підсистем та елементів різного рівня і зв'язків між ними. Тобто об'єктами дослідження структурного аналізу є різні можливі варіанти структури системи.

Метою структурного синтезу є розроблення (створення, проектування, реорганізація, оптимізація) системи, яка повинна мати певні властивості. Структурний синтез виконується для обґрунтування множини елементів структури, відношень та зв'язків, які б забезпечували в сукупності максимальну відповідність заданим властивостям.

Сутністю функціонального аналізу є визначення динамічних характеристик системи через дослідження процесів зміни її станів з часом на основі прийнятих алгоритмів (способів, методів, принципів) її функціонування. У межах функціонального аналізу досліджуються алгоритми та методи управління системою, включаючи загальний закон функціонування, що містить всі основні етапи та функції управління (формулювання цілі управління, збір та оброблення необхідної інформації, прийняття рішень, планування, організацію, контроль, виконання рішень тощо).

Метою функціонального синтезу є обґрунтування оптимальних характеристик процесів функціонування системи, тобто її станів у майбутньому відповідно до поставлених перед системою цілей.

Інформаційний аналіз спрямований на дослідження якісних та кількісних характеристик інформаційних процесів у системі. При цьому вивчають:

- збір та сприйняття інформації (ці процеси характеризують взаємодію системи із зовнішнім середовищем);
- обмін інформацією між окремими підсистемами;
- аналіз, оброблення, створення нової інформації;
- використання інформації;
- обмін інформацією із зовнішнім середовищем.

Завданням інформаційного синтезу є обґрунтування необхідного обсягу та форм подання інформації, методів та засобів її передавання, оброблення, зберігання. Інформаційний синтез доповнює завдання інформаційного аналізу, що здійснюється з метою визначення необхідних кількісних та якісних характеристик інформації, яка використовується в процесі функціонування системи.

Параметричний аналіз полягає у визначенні необхідної та достатньої сукупності узагальнених та часткових показників, що утворюють ієрархічну структуру та мають характеризувати найсуттєвіші властивості системи.

Сутністю параметричного синтезу є обґрунтування необхідної та достатньої сукупності показників, що уможливають оцінювання бажаних властивостей системи, яка створюється, та її загальну ефективність.

ТЕМА 3. КЛАСИЧНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ Й АНАЛІЗУ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І ПРОЦЕСІВ

3.1. Методи описування систем

Для описування структури або поведінки систем використовують моделі. *Моделі* являють собою певний умовний образ об'єкта дослідження. Модель будується для того, щоб відобразити характеристики об'єкта (елементи, взаємозв'язки, структурні та функціональні властивості), суттєві для мети дослідження. Схема організації, наприклад, є її графічною моделлю, що відображує її структуру.

Характерною рисою моделей можна вважати їх спрощеність відносно оригіналу або реальної життєвої ситуації, яку моделюють. Спрощеність моделей є неминучою, тому що оригінал лише в обмеженій кількості відношень відображується у моделі.

Отже, під моделлю розуміють описування системи, яке відображає певну групу її властивостей. Побудова моделі уможливилося в певних межах передбачення поведінки системи.

Для різних цілей дослідження можна будувати різні моделі того самого об'єкта. Тому мета визначає, які риси оригіналу мають бути відображені в моделі. Отже, *питання про якість такого відображення — адекватність моделі реальності — правомірно вирішувати лише відносно поставленої мети*. Процес дослідження реальних систем, що включає побудову моделі, дослідження її властивостей та перенесення одержаних відомостей на реальну систему називають **моделюванням**.

Для створення моделі необхідно, передусім, вербально охарактеризувати систему, тобто описати:

- зовнішнє середовище;
- зв'язки системи з зовнішнім середовищем;
- елементний склад системи, її частин, що можуть розглядатися як підсистеми;
- зв'язки між елементами системи (або найважливіші зв'язки, якщо неможливо описати всі);
- дію або функціонування системи.

Таке описування можна вважати початковою моделлю системи, яка є базовою для створення спеціалізованих моделей: графічних, математичних тощо.

Процес побудови моделі складається з таких основних етапів:

- постановка завдання моделювання;
- вибір виду моделі;
- перевірка моделі на достовірність;
- застосування моделі;
- оновлення моделі.

Рівень абстрагування при описуванні систем

Складну систему, як правило, неможливо «охопити» повністю та детально описати, що на практиці не завжди необхідно. Основна проблема при описуванні систем полягає у тому, що доводиться знаходити компроміс між простотою описування та необхідністю врахування численних факторів і характеристик складної системи. Як правило, цю проблему вирішують через ієрархічне описування системи, тобто система описується не однією моделлю, а кількома чи сімейством моделей, кожна з яких описує поведінку системи з погляду різних рівнів абстрагування. Для кожного рівня ієрархії існує ряд характерних особливостей і змінних, законів і принципів, за допомогою яких описується поведінка системи. Для того щоб таке ієрархічне описування було ефективним, необхідна якомога більша кількість незалежних моделей для різних рівнів системи, хоча кожна модель має певні зв'язки з іншими.

Процес поділу системи на рівні, що характеризують технологічні, інформаційні, економічні та інші аспекти її функціонування, називають **стратифікацією** системи, а самі рівні — **стратами**. На кожній страті в ієрархії структур є свій власний набір змінних, які дають змогу значною мірою обмежитись лише дослідженням одного аспекту системи, однієї страти. Незалежність страт дає можливість глибше та детальніше досліджувати системи, хоча припущення про їх незалежність може призвести до неповного розуміння поведінки системи в цілому.

Приклади. 1. Інформаційна система. Для описування функціонування ІС використовують, як правило, не менше двох страт. На першій страті система описується на мові фізичних законів, що управляють функціонуванням та взаємодією її складових. На другій страті розглядають абстрактні нефізичні поняття, такі як файли, інформаційні потоки тощо. На страті фізичних процесів нас цікавить правильне функціонування різноманітних електронних пристроїв (компонентів), а на страті оброблення інформації — проблеми обчислення, програмування, руху інформаційних потоків тощо.

2. Виробничий комплекс (рис. 8). Цей комплекс моделюють, як правило, на трьох шарах: на виробничому рівні (фізичні процеси оброблення та перетворення енергії), на рівні управління та оброблення інформації, на економічному рівні виробництва з погляду продуктивності та прибутковості. Для кожного з цих трьох аспектів системи існує своя мова описування, свої моделі, хоча система залишається тією самою.

Загальні властивості стратифікованого описування систем можна сформулювати так:

- вибір страт, у термінах яких описується система, залежить від спостерігача (дослідника), його знань та мети дослідження;
- аспекти функціонування системи на різних шарах у загальному випадку незалежні між собою, тому принципи та закони, що використовуються для характеристики системи на довільній страті, в загальному випадку не можна вивести із принципів та законів, які використовуються в інших шарах;
- для кожної страти існує своя мова описування, набір термінів, концепцій та принципів.

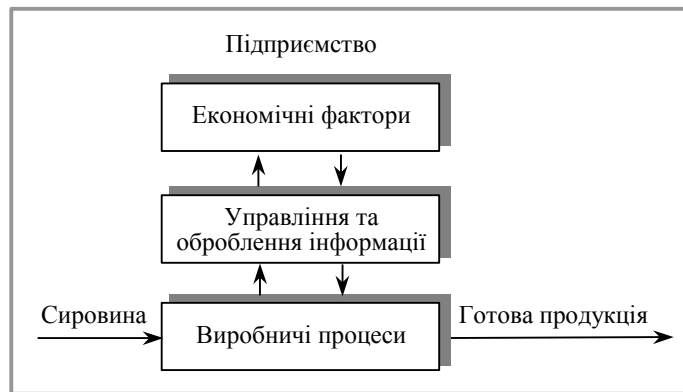


Рис. 8. Стратифіковане зображення підприємства

Головними рівнями дослідження систем є мікроскопічний та макроскопічний. **Мікроскопічне** дослідження системи пов'язане із детальним описуванням кожного компонента системи, дослідженням їх структури, функцій, взаємозв'язків, структури системи в цілому тощо. Практична реалізація найважливішого етапу мікропідходу — виявлення елементів системи та взаємозв'язків між ними, пов'язана із необхідністю подолання суперечності між бажанням повного дослідження кожної з підсистем і елементів системи та реальною можливістю дослідити при цьому структуру системи в цілому і принципи її функціонування.

Макроскопічне дослідження полягає в ігноруванні детальної структури системи та вивченні тільки загальної поведінки системи як єдиного цілого. Метою тут є побудова моделі системи через дослідження її взаємодії із зовнішнім середовищем (моделі типу «вхід—вихід», або «чорний ящик»).

Модель «чорного ящика». Найпростішою моделлю системи є так звана модель «чорного ящика» (рис. 9), в якій акцент робиться на призначенні та поведінці системи, а про її будову є тільки опосередкована інформація, що відображається у зв'язках із зовнішнім середовищем. Зв'язки з середовищем, що йдуть у систему (входи), дають можливість впливати на неї, використовувати її як засіб, а зв'язки, що йдуть із системи (виходи), є результатами її функціонування, які або впливають на зміни у середовищі, або споживаються зовні системи.

Як чорний ящик розглядаються об'єкти дослідження, внутрішня структура яких невідома або не береться до уваги. Іноді достатньо змістовного опису входів та виходів системи. З такими моделями людина досить часто має справу у повсякденному житті: наприклад, для керування автомобілем або роботи за комп'ютером не обов'язково досконало знати їх внутрішню будову.

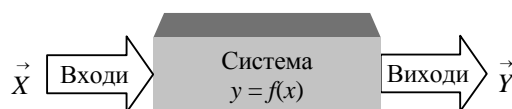


Рис. 9. Модель чорного ящика

Метод описування систем за допомогою чорного ящика полягає у знаходженні взаємозв'язків між входами та виходами системи. Спостерігаючи достатньо довго за входами та виходами такої системи, тобто маючи вектори спостережень $\vec{X} = (x_1, \dots, x_n)$ та $\vec{Y} = (y_1, \dots, y_n)$, можна досягти такого рівня знань про її властивості, який уможливить передбачення змін у вихідних компонентах при будь-якій зміні вхідних, тобто можна знайти відображення $f: X \rightarrow Y$.

Для досягнення цієї мети будують спеціальні математичні моделі, що базуються на початковій моделі чорного ящика. Найчастіше для цього застосовують методи регресійного аналізу, математичної статистики і планування експерименту.

Необхідно зауважити, що *дослідження системи методом чорного ящика принципово не може дати однозначної інформації про її структуру*, бо однакову поведінку можуть мати різні системи.

Моделі складу та структури системи

Безперечно, що за допомогою тільки моделі чорного ящика неможливо вивчити внутрішню структуру системи. Для детальнішого опису систем використовують *моделі складу* та *моделі структури*. Модель складу системи відображає, із яких елементів та підсистем складається система, а модель структури застосовується для відображення відношень між елементами та зв'язків між ними. Схематичні приклади зображені на рис.10 та в табл.3.

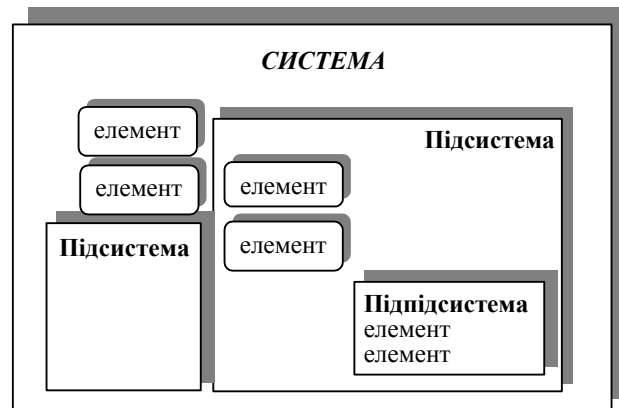


Рис. 10. Графічне зображення моделі складу системи

З першого погляду здається, що описати склад системи є простим завданням. Проте, якщо різним експертам дати завдання побудувати модель складу однієї системи, то їхні результати можуть суттєво відрізнитися. Так, наприклад, університет з поглядів його ректора, головного бухгалтера та начальника служби охорони буде складатися із різних підсистем.

Таблиця 3 - Табличне зображення моделі складу системи

Система	Підсистеми	Елементи
Комп'ютер	Управління обчислювальним процесом	Процесор, контролери
	Введення—виведення інформації	Монітор, клавіатура, принтер, миша, дисковод тощо.
	Зберігання інформації	Оперативна пам'ять, жорсткий диск
	Програмного забезпечення	Операційна система, прикладні програми тощо

Головна складність при побудові моделі складу полягає у тому, що поділ цілої системи на частини є відносним, залежним від мети дослідження (це стосується також визначення меж системи). Крім того, відносним є поняття елемента — те, що з одного погляду є елементом, з іншого може бути підсистемою.

Черговим кроком у розвитку моделі системи є модель структури, яка описує суттєві зв'язки між елементами (компонентами моделі складу). На графічних моделях будову систем зображують у вигляді структурних схем. Структурні схеми наглядні та містять інформацію про велику кількість властивостей системи. На рис. 11 зображена типова ієрархічна структура (на прикладі структури управління корпорації з трьома першими рівнями ієрархії).

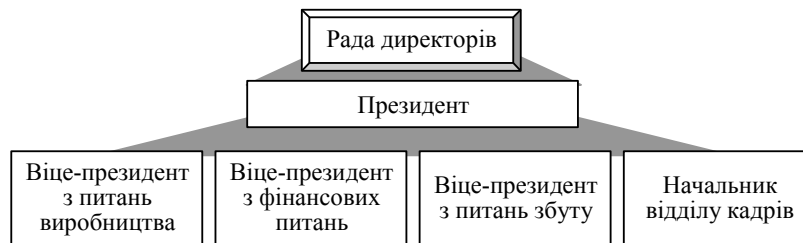


Рис. 11. Структура управління корпорацією (перші три рівні ієрархії)

3.2. Класифікація моделей та методів моделювання систем

За мірою повноти опису моделі поділяють на *повні*, *неповні* та *наближені*. Повні моделі адекватні об'єкту у просторі та часі. Для неповного моделювання ця адекватність не зберігається. При наближеному моделюванні беруться до уваги тільки найважливіші аспекти системи (загальна класифікація методів моделювання подана на рис. 12).

Залежно від характеру досліджуваних процесів у системі моделі поділяють на детерміновані та стохастичні, статичні та динамічні, неперервні та дискретно-неперервні. *Детерміновані* моделі відображають процеси, для яких передбачається відсутність випадкових впливів, а у *стохастичних* враховують випадкові процеси та події. Статичне моделювання застосовується для описування стану системи у фіксований момент, а динамічне — для дослідження поведінки системи у часі. *Дискретне, неперервне* та *дискретно-неперервне* моделювання застосовуються для опису процесів, які змінюються у часі.

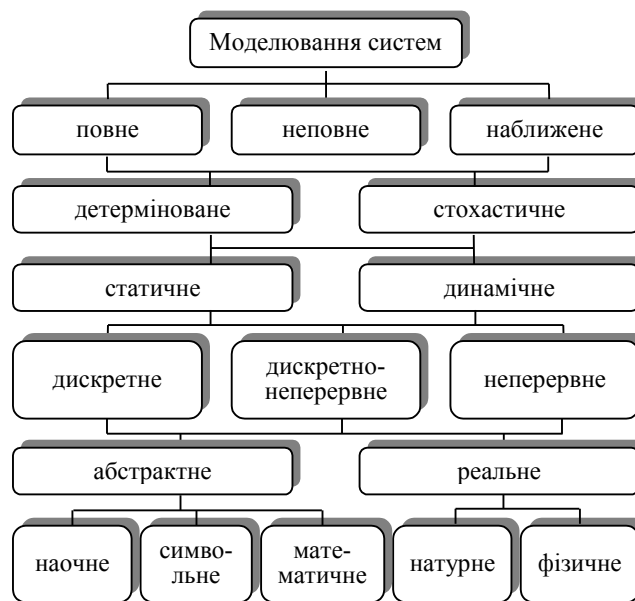


Рис. 12. Методи моделювання систем

Залежно від форми подання об'єкта моделювання поділяють на реальне та абстрактне.

При *реальному* моделюванні використовують можливість дослідження характеристик на реальному об'єкті чи на його частині. При *натурному* моделюванні проводять дослідження на реальному об'єкті із подальшим обробленням результатів експерименту на основі теорії подібності. *Фізичне* моделювання здійснюється через відтворення досліджуваного процесу на моделі, яка в загальному випадку має відмінну від оригіналу природу, але однаковий математичний опис процесу функціонування.

Абстрактне моделювання має різноманітні види: *наочне*, *символьне*, *математичне*. При наочному моделюванні на базі уявлень людини про реальні об'єкти створюють наочні моделі, що відображають явища та процеси, які відбуваються в об'єкті.

Символьне моделювання являє собою штучний процес створення об'єкта, який замінює реальний та виражає основні його властивості через певну систему знаків та символів.

Символьне моделювання поділяється, в свою чергу, на *мовне* та *знакове*. В основі мовного моделювання лежить деякий тезаурус, який утворюється із набору вхідних понять, причому цей набір має бути фіксованим. Під *тезаурусом* розуміють словник, одиниці якого містять набори ознак, що харак-

теризують родово-видові зв'язки та згруповані за змістовною близькістю. Між тезаурусом та звичайним словником існують принципові розбіжності. Тезаурус — це словник, який не містять неоднозначних слів. Кожному його слову відповідає лише одне поняття.

Дослідження математичної моделі дає змогу одержати характеристики реального об'єкта чи системи. Вигляд математичної моделі залежить як від природи системи, так і від завдань дослідження. Математична модель системи містить, як правило, опис множини можливих станів системи та закон переходу із одного стану в інший.

Математичне моделювання, в свою чергу, включає імітаційне, інформаційне, структурне, ситуаційне моделювання тощо.

При *імітаційному моделюванні* намагаються відтворити процес функціонування системи у часі за допомогою деяких алгоритмів. При цьому імітуються основні явища, що утворюють процес, який розглядається, із збереженням їх логічної структури та послідовності перебігу в часі. Це уможливує одержання інформації про стан процесу в певний момент та оцінку характеристик системи. Імітаційні моделі дають змогу враховувати такі ознаки, як дискретність та неперервність елементів системи, нелінійність їхніх характеристик, випадкові збурення тощо.

Інформаційне (кібернетичне) моделювання пов'язане з побудовою моделей, для яких відсутні безпосередні аналоги фізичних процесів. У такому разі намагаються відобразити лише деяку функцію і розглядають об'єкт як «чорний ящик», який має певну кількість входів та виходів. У такий спосіб моделюють тільки окремі зв'язки між входами та виходами. Отже, в основі кібернетичних моделей лежить відображення окремих інформаційних процесів регулювання, що дають змогу оцінити поведінку реальної системи. Для побудови моделі необхідно виділити досліджувану функцію реального об'єкта та спробувати формалізувати її через окремі оператори зв'язку між входом і виходом. Імітаційна модель уможливує відтворення цієї функції.

Структурне моделювання базується на специфічних особливостях структур певного вигляду, які використовують як засіб дослідження систем або для розроблення на їх основі із застосуванням інших методів формалізованого опису систем (теоретико-множинних, лінгвістичних) специфічних підходів до моделювання.

Структурне моделювання включає:

- методи сітьового моделювання;
- структурний підхід до формалізації структур різних типів (ієрархічних, матричних) на основі теоретико-множинного їх подання та поняття номінальної шкали теорії вимірювання;
- поєднання методів структуризації з лінгвістичними.

Ситуаційне моделювання базується на модельній теорії мислення, в рамках якої можна описати основні механізми регулювання процесів прийняття рішень. В основі модельної теорії мислення є формування у свідомості та підсвідомості людини інформаційної моделі об'єкта чи зовнішнього світу. Цілеспрямована поведінка людини ґрунтується на формуванні цільової ситуації та мисленого перетворення фактичної ситуації в цільову. Основою побудови ситуаційної моделі є описання об'єкта у вигляді сукупності елементів, що пов'язані між собою певними відношеннями, які відбивають семантику предметної галузі. Модель об'єкта має багаторівневу структуру і являє собою інформаційний контекст, на тлі якого здійснюються процеси управління.

При дослідженні економічних систем найчастіше застосовують методи математичного, структурного, ситуаційного, інформаційного та імітаційного моделювання.

3.3. Математичне моделювання систем

Формальна математична модель системи

У загальному випадку формальну математичну модель системи S можна подати у вигляді такої множини величин, що описують процес функціонування системи:

$x_i \in X, i = \overline{1, n_x}$ — сукупність вхідних впливів на систему;

$y_j \in Y, j = \overline{1, n_y}$ — сукупність вихідних характеристик системи;

$v_k \in V, k = \overline{1, n_v}$ — сукупність збурюючих впливів зовнішнього середовища;

$h_l \in H, l = \overline{1, n_h}$ — сукупність внутрішніх параметрів системи.

Тоді формальний запис моделі системи буде мати такий вигляд:

$$\begin{aligned}
y_1(t) &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_{n_x}, v_1, v_2, \dots, v_{n_v}, h_1, h_2, \dots, h_{n_H}, t); \\
y_2(t) &= f_2(x_1, x_2, \dots, x_{n_x}, v_1, v_2, \dots, v_{n_v}, h_1, h_2, \dots, h_{n_H}, t); \\
\vdots & \\
y_{n_y}(t) &= f_{n_y}(x_1, x_2, \dots, x_{n_x}, v_1, v_2, \dots, v_{n_v}, h_1, h_2, \dots, h_{n_H}, t),
\end{aligned}$$

де t — час.

Якщо розглядати процес функціонування системи як послідовну зміну її станів $\vec{H}(t_1), \vec{H}(t_2), \dots, \vec{H}(t_k)$, то вони можуть бути інтерпретовані як координати точок у k -вимірному фазовому просторі. Сукупність усіх можливих станів системи називають **простором станів**.

Формально стан системи S у момент часу $t_0 < t^* \leq T$ повністю визначається її початковим станом $\vec{H} = \vec{H}(t_0)$, вхідними впливами $\vec{X}(t^*)$, керуючими впливами $\vec{U}(t^*)$, впливами зовнішнього середовища $V(t^*)$, що мали місце за проміжок часу $t^* - t_0$. Це можна подати такими двома векторними рівняннями:

$$\begin{aligned}
\vec{H}(t) &= g(\vec{H}^0, \vec{X}, \vec{V}, \vec{U}, t); \\
\vec{y}(t) &= f(\vec{H}, t).
\end{aligned}$$

Тут перше рівняння за початковим станом системи \vec{H}^0 та змінними $\vec{X}, \vec{V}, \vec{U}$ визначає вектор-функцію $\vec{H}(t)$, а друге за станом $\vec{H}(t)$ визначає ендегенні змінні на виході системи $\vec{y}(t)$. У такий спосіб ланцюжок рівнянь об'єкта «вхід—стан—вихід» дає змогу визначити характеристики системи:

$$\vec{y}(t) = f[g(\vec{H}^0, \vec{X}, \vec{V}, \vec{U}, t)].$$

Отже, під математичною моделлю системи розуміють скінченну підмножину змінних $\{\vec{X}(t), \vec{V}(t), \vec{U}(t)\}$ разом з математичними зв'язками між ними та характеристиками $\vec{y}(t)$.

Загальна характеристика методів математичного моделювання систем

До найпоширеніших видів математичних моделей, які використовуються на практиці для моделювання економічних систем, можна віднести моделі математичного програмування, статистичні моделі, моделі теорії масового обслуговування, управління запасами та теорії ігор.

Моделі математичного програмування (МП) застосовують для визначення оптимального способу розподілу обмежених ресурсів за наявності конкуруючих потреб.

Усі задачі МП мають подібну структуру. Їх можна визначити як задачі мінімізації (максимізації) m -вимірного показника (функціонала) ефективності $f_m(x)$, $m=1, 2, \dots, m$, n -вимірного векторного аргументу $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, компоненти якого задовольняють систему обмежень-рівностей $h_k(x) = 0$, $k=1, 2, \dots, K$ та обмежень-нерівностей $g_l(x) \geq 0$, $l=1, 2, \dots, L$; $\Psi_p(x) \leq 0$, $p=1, 2, \dots, P$.

Усі задачі МП можна класифікувати за виглядом та розмірністю функцій $f_m(x)$, $h_k(x)$, $g_l(x)$, $\Psi_p(x)$ і розмірністю та типом вектора x :

- однокритеріальні задачі МП — $f_m(x)$ — скаляр;
- багатокритеріальні задачі МП — $f_m(x)$ — вектор;
- детерміновані задачі МП — дані детерміновані;
- стохастичні задачі МП — дані ймовірні.

Найчастіше застосовуються задачі лінійного програмування (у зв'язку з простотою їх розв'язання). Згідно з результатами опитування журналом «Фортуна» віце-президентів 500 західних компаній моделі лінійного програмування та моделі управління запасами є найпоширенішими у промисловості. Лінійне програмування, як правило, використовують спеціалісти підрозділів для розв'язання виробничих проблем.

У загальному випадку задача лінійного програмування формулюється так: знайти екстремум цільової функції

$$f(x) = \sum_{i=1}^n c_i x_i \rightarrow \max(\min)$$

за наявності обмежень:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \{ \leq, =, \geq \} b_i; \quad i = 1, \dots, m;$$

$$x_j \geq 0; \quad j = \overline{1, n},$$

де a_{ij}, b_i, c_j ($i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$) — задані постійні величини.

Як відомо (див., наприклад, [6, 47]), розв'язок таких задач можна знайти симплекс-методом.

Серед типових варіантів застосування задач лінійного програмування при системному дослідженні проблем управління виробництвом можна навести такі:

- укрупнене планування виробництва, складання графіків виробництва, мінімізуючих загальні витрати;
- планування асортименту виробів (визначення оптимального асортименту продукції залежно від наявності обмежених ресурсів);
- маршрутизація виробництва продукції (визначення оптимального технологічного маршруту виготовлення виробу), що має послідовно пройти через кілька технологічних операцій, кожна з яких характеризується своїми витратами та продуктивністю);
- управління технологічним процесом;
- регулювання запасів (наприклад, визначення оптимальної кількості товару на складі);
- календарне планування виробництва (складання календарних планів, мінімізуючих загальні витрати через урахування витрат на зберігання запасів, оплату за понаднормовану роботу тощо);
- планування розподілу продукції (складання оптимального графіка відвантаження продукції з урахуванням розподілу її між іншими виробничими підприємствами та складами, складами та магазинами);
- визначення оптимального варіанта підвищення виробничих потужностей (наприклад, визначення найкращого місця побудови нового заводу через оцінку витрат на транспортування між альтернативними місцями розміщення виробництва та місцями постачання сировини і збуту готової продукції);
- календарне планування транспорту;
- розподіл працівників.

Статистичні моделі застосовують для з'ясування причинно-наслідкових зв'язків між економічними факторами, визначення кількісного та якісного впливу одних чинників на інші. Окрім цього, статистичні моделі застосовують до задач економічного прогнозування (моделі екстраполяції, часових рядів, регресійні моделі тощо).

Найпоширенішими є лінійні множинні регресійні рівняння, які можна подати у матричному вигляді:

$$y = X\beta + u,$$

де y, β, u — відповідно вектори залежної змінної, невідомих параметрів та випадкової похибки розмірністю $1 \times n$ (n — кількість спостережень), а X — матриця пояснюючих змінних (факторів) розмірністю $k \times n$ (k — кількість факторів):

$$y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}, \quad X = \begin{pmatrix} 1 & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n2} & x_{n3} & \dots & x_{nk} \end{pmatrix}, \quad \beta = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \dots \\ \beta_k \end{pmatrix}, \quad u = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \dots \\ u_n \end{pmatrix}.$$

Тоді при виконанні класичних допущень методу найменших квадратів (МНК) оцінки невідомих параметрів можна знайти (див., наприклад, [19]) за допомогою МНК:

$$b = (X'X)^{-1}X'y.$$

Для моделювання складних економічних процесів (наприклад, при моделюванні секторів економіки) застосовують системи економетричних рівнянь.

Моделі теорії масового обслуговування застосовують для визначення оптимальної кількості каналів обслуговування стосовно потреби у них та дають змогу мінімізувати витрати у разі значної їх нестачі. Ці моделі застосовують у сфері транспорту, обслуговування тощо (для систем телекомунікацій, банківських установ, кас з продажу авіа- та залізничних квитків, супермаркетів, автозаправок, перукарень тощо). Окрім цього ТМО можна застосовувати для дослідження систем управління, в яких існує необхідність перебувати в стані очікування. Це є наслідком ймовірнісного характеру виникнення вимоги в обслуговуванні.

Моделі управління запасами застосовуються для визначення часу на розміщення замовлень на ресурси та необхідного обсягу цих ресурсів, а також обсягу готової продукції на складах. Будь-яка організація повинна підтримувати певний рівень запасів на складах для запобігання виникненню затримок

на виробництві та у збуті. Метою застосування цих моделей є мінімізація негативних наслідків нагромадження запасів, що пов'язані з певними витратами: на розміщення замовлень, на зберігання запасів, а також втратами, що спричиняються недостатнім обсягом запасів.

Моделі теорії ігор. Ігрові задачі передбачають участь у активній взаємодії двох сторін або гравців: керуючої системи, яка визначає стан об'єкта та має забезпечити ефективне управління (екстремальне значення цільової функції) та середовища (наприклад, дії конкурентів), що формує вплив, який погіршує ефективність управління системою.

Необхідно зауважити, що значне різноманіття математичних методів і моделей, що використовуються в системному аналізі, та обмежений обсяг посібника не дають можливості розглянути їх детальніше. Але найпоширеніші методи вивчаються в курсах блоку економіко-математичних дисциплін (економіко-математичне моделювання, економетрика, методи оптимізації, дослідження операцій, методи прогнозування, математичне програмування тощо).

3.4. Принципи та основні етапи побудови математичних моделей систем

Як було зазначено вище, при побудові моделі системи взагалі та її математичної моделі зокрема необхідне досягнення компромісу між намаганням одержати достатньо повне описання системи та досягненням необхідних результатів у якомога простіший спосіб. Такий компроміс досягається, як правило, за допомогою побудови системи моделей, починаючи з найпростіших та поступово ускладнюючи їх. Прості моделі дають змогу глибше з'ясувати досліджувану систему (чи проблемну ситуацію). Ускладнення моделі введенням додаткових факторів та зв'язків уможливує виявлення точнішої функціональної залежності між елементами системи та її взаємодії із зовнішнім середовищем.

Складні системи потребують розроблення цілої ієрархії моделей, що відображають різні їх властивості.

Розглянемо загальні вимоги, які має задовольняти побудована математична модель.

Модель має бути адекватною. Цей принцип передбачає відповідність моделі поставленій меті дослідження. Математична модель будується для розв'язання певного класу задач, тому має описувати ті аспекти системи, що є найважливішими для дослідника.

Необхідно абстрагуватись від другорядних деталей та факторів. Модель має описувати лише найсуттєвіші (з погляду дослідника) властивості оригіналу та має бути простішою за нього. Тому при побудові моделі намагаються досягти її спрощення, зберігаючи при цьому суттєві властивості досліджуваної системи.

Необхідне досягнення компромісу між бажаною точністю результатів моделювання та складністю моделі. Оскільки моделі мають наближений характер (щодо відповідності оригіналу), то постає питання відносно достатньої точності такого наближення. З одного боку, для точнішого описування системи необхідна подальша деталізація та ускладнення моделі, а з іншого — це призводить до того, що складність самої моделі наближається до складності оригіналу, що спричиняє виникнення труднощів при знаходженні розв'язків за моделлю. Тому на практиці необхідно знаходити компроміс між цими суперечливими вимогами.

У загальному випадку процес побудови математичної моделі системи складається з таких етапів.

1. *Змістовне описування об'єкта моделювання.* На цьому етапі необхідно сформулювати сутність проблеми з позиції системного підходу. Для цього необхідно виявити найсуттєвіші риси та властивості об'єкта моделювання, дослідити взаємозв'язки між елементами та його структуру, можливі стани елементів та співвідношення між ними, хоча б наближено визначити гіпотези щодо факторів, які обумовлюють стан та розвиток системи. Таке описування системи називають **концептуальною моделлю**.

2. *Побудова математичної моделі.* Цей етап полягає у формалізації концептуальної моделі, тобто в поданні її у вигляді певних математичних залежностей (функцій, рівнянь, нерівностей, тотожностей тощо). Для цього необхідно, передусім, визначити тип економіко-математичної моделі, дослідити можливість її застосування до поставленого практичного завдання, уточнити перелік відібраних для моделювання факторів та типи взаємозв'язків між ними. Потім визначають систему критеріїв, обмежень та значення керованих параметрів, у разі необхідності будують цільову функцію.

У разі неможливості одержання розв'язку доводиться переглядати модель та здійснювати певні спрощення, наприклад, робити заміну нелінійних залежностей лінійними, стохастичних — детермінованими, виключати певні фактори з моделі, поділяти модель на підмоделі тощо.

3. *Підготовка інформаційної бази моделювання та чисельна реалізація моделі.* На цьому етапі здійснюється збір наявної інформації та її аналіз, що полягає не тільки в принциповій можливості одержання інформації необхідної якості, а й в аналізі витрат на підготовку або придбання інформаційних масивів.

Чисельна реалізація моделі полягає в розробленні алгоритмів, виборі пакетів прикладних програм або розробленні власних програмних засобів та безпосередньому проведенні обчислень.

4. *Перевірка адекватності моделі.* Аналіз чисельних результатів уможливорює вирішення питання про ступінь відповідності моделі реальній системі чи явищу (за тими властивостями системи, що були обрані як суттєві). За результатами перевірки моделі на адекватність приймається рішення щодо можливості її практичного застосування, напрямків її корекції.

При корегуванні моделі можуть уточнюватись суттєві параметри та обмеження, здійснюється оптимізація моделі, що полягає в її спрощенні за умови збереження заданого рівня адекватності.

5. *Застосування моделі.* Застосування результатів моделювання в економіці спрямоване на розв'язання практичних завдань, зокрема, аналізу економічних об'єктів, економічного прогнозування, розроблення управлінських рішень тощо.

Необхідно зауважити, що процес моделювання має, як правило, ітеративний характер. На будь-якому з етапів можна повернутись до попередніх, оскільки може статися, що модель виявиться надто складною або суперечливою, бракує необхідної для моделювання інформації чи витрати на її придбання надто великі, модель може виявитись неадекватною та суперечити практичному досвіду або нас може не задовольняти її точність тощо.

ТЕМА 4. АНАЛІЗ НЕЛІНІЙНИХ, СТОХАСТИЧНИХ, ДИНАМІЧНИХ СОЦІАЛЬНО – ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ НА ЗАСАДАХ СИНЕРГЕТИКИ І ТЕОРІЇ КАТАСТРОФ

4.1. Національна економіка з точки зору системного аналізу

В економічній літературі існує кілька підходів до визначення поняття «економічна система». Деякі автори під економічною системою розуміють систему виробництва, розподілу, обміну та споживання матеріальних благ. Інші економічну систему розглядають як впорядковану систему взаємозв'язків між виробниками та споживачами матеріальних благ або як сукупність економічних процесів, що пов'язані з розподілом обмежених ресурсів.

З погляду системного підходу *економічну систему країни* можна визначити як функціональну підсистему суспільства, як сукупність ресурсів та економічних суб'єктів, взаємопов'язаних та взаємодіючих між собою у сфері виробництва, розподілу, обміну та споживання і утворюючих єдине ціле.

Соціально-політичні фактори розглядаються як зовнішні відносно процесу матеріального виробництва, як фактори, що визначають його мету. За такого підходу економіка постає системою, що перетворює ресурси у матеріальні блага, які споживаються суспільством.

З одного боку суспільство є споживачем, який висуває вимоги до матеріальних благ — результату діяльності економіки. Сукупність цих вимог формується суспільством у вигляді інформаційної підсистеми суспільних потреб. З іншого боку, суспільство безпосередньо бере участь у процесі виробництва матеріальних благ (рис. 13). Різниця між суспільними потребами та можливостями їх задоволення є тією рушійною силою, що обумовлює розвиток економічної системи.

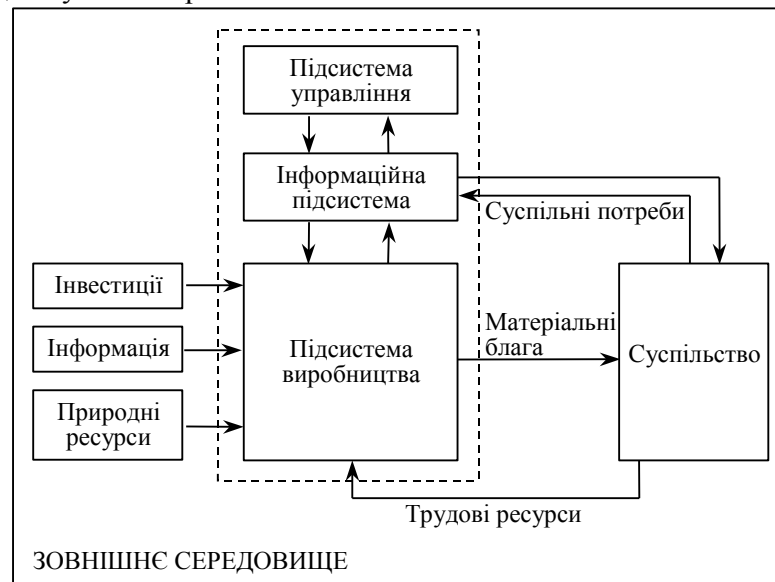


Рис. 13. Спрощена схема економічної системи

Економіці, як системі, притаманна низка як загальносистемних, так і специфічних властивостей. До загальносистемних властивостей економіки можна віднести її цілісність та подільність, ієрархічність будови.

Цілісність економічної системи полягає в тому, що всі її елементи мають бути засобом досягнення загальних цілей, які стоять перед системою в цілому. Це досягається відповідним управлінням нею, оскільки, як зазначалося вище, цілі окремих підсистем можуть входити у суперечність між собою та із загальною метою системи.

Ієрархічність національної економіки полягає в тому, що вона, з одного боку, є підсистемою системи вищого порядку — світової економіки, а з другого — кожний її компонент (галузь, підприємство тощо) також може розглядатися як система. Окрім цього, враховуючи складність цієї системи, у ній можна виділити різні ієрархії.

Специфічні властивості національної економіки виникають у процесі взаємодії (кооперації) її підсистем. До найсуттєвішої специфічної особливості економічної системи слід віднести її складність.

Важливою властивістю складних систем є емерджентність, тобто наявність у них таких специфічних властивостей, що не випливають із властивостей, які спостерігаються в їх елементах або способів їх з'єднання. Саме емерджентні властивості економічних систем є найменш доступними для спостереження та вимірювання, що спричиняє суттєві труднощі при дослідженні та управлінні економічними

системами. Загальні закономірності появи нових властивостей, що виникають при об'єднанні економічних об'єктів, явищ та процесів, можуть бути виявлені та кількісно описані лише на основі аналізу великого обсягу інформації.

Складність економічної системи полягає у тому, що зміни структури, зв'язків або поведінки довільного економічного суб'єкта впливають і на всі інші економічні суб'єкти та змінюють систему в цілому. З другого боку, будь-яка зміна у національній економіці спричиняє перетворення структури, зв'язків та поведінки економічних суб'єктів. Так, наприклад, бурхливий розвиток інформаційних технологій останнім часом суттєво вплинув не тільки на окремі галузі економіки, а й на все суспільство в цілому, змінивши певною мірою його культуру та світогляд.

Іншою ознакою складності економічної системи є наявність великої кількості як прямих, так і зворотних зв'язків між її елементами та підсистемами.

Суспільство в цілому та економічна система як його частина настільки складні, що потребують існування особливої підсистеми, що має забезпечувати їх єдність та цілісність, тобто підсистеми управління (законодавча, виконавча, судова влади, силові структури тощо).

До інших специфічних властивостей економіки можна віднести такі:

- економіка як складна система має здатність до самоорганізації;
- її підсистеми мають нечіткі межі: той самий елемент (економічний суб'єкт) може водночас брати участь у різних процесах самоорганізації економіки, може бути елементом багатьох підсистем;
- самоорганізація економіки виникає із кооперації не тільки економічних суб'єктів нижчого рівня між собою, а й із економічними інститутами, а також із кооперації економічних інститутів між собою;
- структура економіки часто прихована щодо відносин адміністративного підпорядкування;
- окрім цього, економіка є відкритою, динамічною та стохастичною системою, і тому вона не піддається точному детальному описуванню та прогнозуванню її поведінки.

Системне дослідження сутності національної економіки та закономірностей її розвитку потребує декомпозиції — виявлення її підсистем та елементів (табл. 4).

Таблиця 4 - Компоненти національної економіки та відповідні суб'єкти господарювання

Компоненти	Суб'єкти господарювання
Держава	Уряд Центральний (національний) банк Податкова служба Інші органи державного управління
Регіони та інші територіальні утворення	Уряди автономних республік, обласні та міські адміністрації
Галузі	Підприємства, фірми, некомерційні організації
Домогосподарства	Людина, що бере участь у соціально-економічних взаємодіях

Можна виділити дві сфери економіки: управління та контролю і реальну сферу. Перша сфера охоплює державу та її територіальні утворення, а друга — підприємства, фірми, організації, домогосподарства та людину, що бере участь у соціально-економічних зв'язках. Всередині кожної сфери та між ними циркулюють потоки інформації.

Положення суб'єктів господарювання у конкретній національній економіці та їхня роль відносно один одного визначаються відносинами власності. Взаємодія компонентів здійснюється завдяки наявності у них різних потреб та цінностей. Взаємозв'язок компонентів реальної сфери економіки забезпечує ринок.

Для описування економічної системи необхідно передусім виділити її компоненти, тобто здійснити аналіз її структури (деагрегацію), визначити її складові (підсистеми, елементи, входи, виходи), а також зв'язки між ними і зовнішнім середовищем.

Залежно від мети дослідження економіки можна обрати різні її «первинні» елементи, якими можуть бути індивід з його потребами, домогосподарство, елементарна технологічна операція, підприємство, галузь.

Елементи економіки мають між собою багато різних як безпосередніх, так і опосередкованих, прямих та зворотних, функціональних, лінійних, причинних та інших зв'язків.

Можна виділити такі найпоширеніші типи зв'язків між економічними суб'єктами:

- бюрократичні зв'язки мають регламентований, вертикальний характер, здійснюються між усіма рівнями ієрархії економічної системи. Вони базуються на субординації;

- ринкові зв'язки мають, як правило, горизонтальний характер, здійснюються між юридично рівноправними суб'єктами, одним із головних мотивів яких є одержання прибутку; базуються на добровільних, взаємовигідних домовленостях між економічними суб'єктами;
- «етичні» зв'язки ґрунтуються на очікуванні взаємної допомоги, або альтруїзмі, можуть бути закріплені національними традиціями;
- «агресивні» зв'язки, які мають вертикальний характер та здійснюються з позиції сили, що не регламентована ні юридично, ні морально.

Найуніверсальнішою формою зв'язків між економічними суб'єктами як носіями попиту та пропозиції є ринкові відносини. Ринкові зв'язки між компонентами економічної системи служать не тільки для передання матеріальних цінностей, а й мають інформативний характер: через механізм цін виробники та споживачі одержують інформацію про зміни в попиті та пропозиції, про сфери найбільш прибуткового вкладання капіталу. Окрім цього, ринкові зв'язки виконують регулюючу, адаптивну функцію, встановлюючи певний баланс між потребами суспільства та можливостями їх задоволення, між попитом та пропозицією.

Сукупність елементів економіки та зв'язків між ними утворюють структуру економіки. Вона ієрархічна, у відносно стабільний період розвитку економіки, згідно з принципами концепції самоорганізації [44], структура забезпечує стабільність функціонування та стійкість розвитку системи, компенсуючи певною мірою завдяки зворотним зв'язкам внутрішні та зовнішні (спричинені, наприклад, природним середовищем, кон'юнктурою зовнішніх ринків тощо) шоки.

Але в критичні періоди, наприклад у період фінансових криз та депресій, воєнних, соціальних конфліктів тощо, відбувається зміна зв'язків між елементами системи, функціонування та поведінки економічної системи в цілому. У термінах синергетики такі критичні точки називаються **точками біфуркації**. Особливістю складних, нелінійних, динамічних систем є те, що поблизу точок біфуркації невеликі зовнішні збурення можуть призвести до суттєвих змін у поведінці (динаміки, руху, стану, структури) системи (див. розділ 4.4).

Дослідження економіки як системи потребує також аналізу її середовища. Можна виділити такі типи середовища економічної системи:

- зовнішнє економічне середовище, тобто економічні системи інших країн та світова економіка в цілому;
- зовнішнє суспільне середовище (державний устрій, політика, ідеологія, культура, освіта, право, релігія, система цінностей інших країн);
- природне середовище.

Окрім цього, необхідне також дослідження внутрішнього середовища економічної системи: соціального, природного тощо (табл. 5)

Таблиця 5 - Зв'язки економіки з середовищем

Носій зв'язку	Входи економіки	Виходи економіки	Тип середовища
Товар, капітал, робоча сила, інформація	Імпорт	Експорт	Зовнішнє економічне середовище
Людина	Потреби, інтереси, цінності, соціальні норми, якість та рівень життя		Зовнішнє та внутрішнє суспільне середовище
Природні ресурси	Природне середовище	Відходи виробництва, забруднення природного довкілля	Природне середовище

Середовище здійснює суттєвий вплив на економічну систему. Так, наприклад, зовнішнє економічне середовище може справляти суттєвий негативний конкурентний вплив на вітчизняних товаровиробників, внаслідок чого національна економіка буде втрачати дохід у вигляді недоодержаних податків, виробники потерпають від недоодержаних прибутків, працівники — від зменшення заробітної плати. Якщо зовнішнє оточення загрожує національній безпеці, то це може спричинити істотне збільшення витрат на озброєння, знижуючи тим самим ефективність національної економіки із-за зменшення інвестицій. Стихійні лиха також відволікають ресурси на подолання їх наслідків.

Загалом усі типи середовища економіки впливають складно та багатогранно на її стан та розвиток, відстежити та повністю формально описати який практично неможливо.

Середовище також суттєво впливає на функції економічної системи. Функціями економічної системи є, наприклад, виконання певної ролі у міжнародному поділі праці, задоволення матеріальних та інших потреб суспільства, створення умов для подальшого економічного зростання, адаптація суспільства до змін у зовнішньому середовищі.

4.2. Синергетичний підхід до дослідження соціально-економічних систем

Поняття *синергетика* походить від грец. *synergetikos* — спільний, погоджений, сумісно діючий. Синергетика — це науковий напрямок, що вивчає зв'язки між елементами структури (підсистемами), які утворюються у відкритих системах (біологічних, фізико-хімічних, економічних та інших) завдяки інтенсивному (потоківому) обміну речовинами, інформацією та енергією з навколишнім середовищем за нерівноважних умов.

На сучасному етапі предметом вивчення синергетики (або новітньої загальнонаукової теорії самоорганізації) є дослідження законів та закономірностей глобальної еволюції довільних відкритих, складних, нерівноважних систем, головною рисою яких є нестійкість, нерівноважність та нелінійність. До таких систем належать і сучасні економічні системи.

Виникнення цієї науки зумовлено насамперед тим, що системний підхід застосовувався при дослідженні високоорганізованих матеріальних систем (біологічних, технічних, соціально-економічних), але поза увагою залишалися процеси самоорганізації у цих системах. Результати, що були одержані засновниками синергетики Г. Хакеном [44] та І. Пригожиним, виявились настільки цінними, що це дало змогу поширювати їх на системи довільної природи. Теоретичною основою синергетики є термодинаміка нерівноважних процесів, теорія випадкових процесів, теорія нелінійних коливань і хвиль.

Синергетику можна розглядати як сучасний етап розвитку ідей кібернетики та системних досліджень. Кібернетика та різноманітні напрямки загальної теорії систем вивчають процеси підтримання рівноваги (гомеостазису) у системах за рахунок зворотних зв'язків, а також процеси управління системами. Кібернетика намагається звести та описати нелінійні процеси еволюції систем за допомогою лінійних моделей (принаймні на окремих етапах, коли існує така можливість).

На відміну від кібернетики синергетика досліджує принципово нерівноважні системи, тобто системи, що перебувають у стані, далекому від рівноважного, та принципово нелінійні процеси еволюції систем. Тобто такі процеси, коли за певних умов внутрішні або зовнішні збурення можуть призвести систему до принципово нових станів, до виникнення нових стійких структур. Тому основними математичними моделями дослідження в синергетиці є нелінійні диференціальні рівняння, акцент робиться не на процесах управління та обміну інформацією, а на принципах побудови організації, розвитку та самоускладнення.

Сутність синергетичного підходу до ефективного управління системами полягає в тому, що він орієнтований не на цілі та сподівання суб'єкта управлінської діяльності, а на те, що притаманне самій системі, тобто на її власні закони еволюції та самоорганізації. При цьому увага приділяється погодженості управлінського впливу із тенденціями динаміки нелінійної системи.

Головний акцент у синергетиці робиться на явищах самоорганізації. Процеси *самоорганізації* в системах Г. Хакен визначає як виникнення певних просторових, часових або функціональних структур без специфічного впливу на систему з боку зовнішнього середовища, тобто виникнення або зростання впорядкованості із хаосу.

Отже, у складних системах спостерігається погоджена поведінка підсистем, у результаті чого зростає ступінь їхньої впорядкованості (явище самоорганізації), тобто зменшується ентропія.

Результатом самоорганізації стає виникнення, взаємодія (наприклад, кооперація) і, можливо, регенерація динамічних об'єктів (підсистем), складніших в інформаційному аспекті, ніж елементи середовища, з яких вони виникають.

Спрямованість процесів самоорганізації зумовлена внутрішніми властивостями об'єктів (підсистем) у їх індивідуальному і сукупному прояві, а також впливами з боку середовища, у якому існує система. Але поведінка елементів (підсистем) і системи в цілому істотно характеризується спонтанністю — акти поведінки не є абсолютно детермінованими.

Процеси самоорганізації в системах відбуваються поряд із процесами протилежної спрямованості — системи в цілому можуть мати стійкі тенденції або коливатися від фаз еволюції та прогресу до деградації та розпаду.

Самоорганізацію пов'язують із поняттям *дисипативної структури*, тобто структури, що виникає спонтанно у відкритих нерівноважних системах. Якщо в стані рівноваги елементи такої структури поводять себе певною мірою незалежно один від одного, то під впливом зовнішніх збурень вони перехо-

дять у нерівноважний стан і починають діяти погоджено, внаслідок чого між ними утворюються нові зв'язки.

Іншим важливим поняттям у синергетиці є так звані *точки біфуркації* — такий стан системи, коли відносно незначні зміни параметрів системи або зовнішніх факторів можуть привести до значних якісних змін у поведінці системи, її стані, траєкторії або її структурі.

З точки зору синергетики розвиток економічних систем відбувається у двох формах — еволюційній та революційній (стрибоподібній). В еволюційній фазі економічні інститути різних рівнів, зв'язки між ними та їх функціонування (як окремих економічних суб'єктів, так і всієї національної економіки) змінюється повільно. З часом, коли коливання (флуктуації) економічних параметрів посилюються та переходять критичний рівень, то настає момент, коли незначні збурення приводять до переходу економіки у якісно новий стан. Система перебуває у стані, близькому до точки біфуркації — точки розгалуження варіантів економічного розвитку та вибору того чи іншого (атрактора).

У точці біфуркації відбувається руйнування старої структури економіки та зародження нової. Таке співіснування елементів старої та нової структур породжує хаос. Але саме він сприяє виходу економіки на новий виток розвитку. У точці біфуркації змінюється структура економіки та макроекономічні пропорції, при цьому перший удар завдається зв'язкам системи. В ході адаптації до нової структури відбувається зміна механізмів функціонування економіки.

Але в точці біфуркації економіка може бути притягнута як прогресивним, так і регресивним атрактором, тобто вона може як збільшити, так і зменшити ступінь своєї організованості та складності, стати більш відкритою чи замкненою системою, а може і зруйнуватися. Різноманіттю гілок розвитку, яке може обрати відкрита система, протистоїть жорстка детермінованість та значна подібність рис закритих систем.

Закрита система стає організованою ззовні (на відміну від відкритих систем, що самоорганізуються), в них відбувається гіпертрофія функцій держави, виникають тоталітарні тенденції. Закрита економіка, що повністю відповідає висновкам системного підходу та концепції самоорганізації, намагається встановити загальну рівновагу, що на практиці проявляється у директивному плануванні, та досягти оптимуму за рахунок підсистем, але це призводить до надмірного розростання апарату управління. Тому зростання ентропії, виведення якої в середовище затруднене, робить неминучим перетворення закритої економіки у відкриту.

Точки економічної біфуркації провокуються глибокими економічними кризами середньострокового циклу або збігаються з кризовими періодами чи настають безпосередньо за ними. Це підтверджується, зокрема, глибокими кризами останніх ста років (1890 р., 1929—1933 рр., 1973—1974 рр.), які спричинили значні структурні зрушення та зміни у функціонуванні економічно розвинених країн, поведінці економічних суб'єктів, ступені монополізації економіки, ролі малого та великого бізнесу, спрямованості та методах державного регулювання економікою тощо.

Коли новий шлях обрано, починається еволюційний етап розвитку — адаптація до нового атрактора. Ризик депресії особливо великий у постбіфуркаційний період, тому він супроводжується значним зростанням цін, що спричинює надприбутки для одних економічних суб'єктів і збитки та банкрутство для інших. Окрім цього, такі процеси досить часто супроводжуються руйнуванням господарських зв'язків, падінням обсягів виробництва та рівня життя населення. Так, прикладом цього може бути проходження через точку біфуркації Радянського Союзу протягом 1990—1991 рр. та розгортання економічної кризи в наступних роках в усіх пострадянських країнах.

Синергетика по-новому трактує співвідношення між випадковим та зумовленим в економічному розвитку. Для описання економічної еволюції в макроекономіці, як правило, обирається обмежена кількість агрегованих змінних. Вважається, що макроскопічне моделювання стосується, головню, усередненої поведінки і що ймовірнісні фактори та випадкові флуктуації не мають на неї суттєвого впливу. Але це характерно тільки для стійких систем, коли малі зміни параметрів (зовнішніх умов) ведуть до незначних змін у поведінці або траєкторії системи.

Останнім часом паралельно із стохастичною інтерпретацією макроекономічних процесів розвивається альтернативний підхід, який причину невизначеності в економічній еволюції вбачає у принциповій нелінійності економічних процесів. Так, навіть у разі застосування простих дискретних моделей для описання економічної динаміки за деяких цілком природних економічних передумов розв'язки можуть бути нестійкими та непередбачуваними. Тому необхідність виявлення точок рівноваги, біфуркації та граничних циклів потребує нового підходу до розгляду реальних макроекономічних процесів.

4.3. Приклади моделювання економічних систем

Розглянемо кілька спрощених математичних моделей описання економічної системи.

Функція Кобба—Дугласа

Якщо розглядати економіку з погляду макропідходу (див. тему 3), коли вона не підлягає дальшому поділу, то її можна подати у вигляді моделі «чорного ящика», до входу якого надходять ресурси (робоча сила, сировина, капітал, засоби праці, інформація тощо), котрі система використовує як фактори виробництва. Виходом системи є вироблені матеріальні блага. Загалом цю залежність можна подати виробничою функцією, що у скалярному вигляді буде такою:

$$Z = f(X_1, X_2, \dots, X_n, \alpha_i),$$

де X_i , якщо $i = \overline{1, n}$ — фактори виробництва, α_i — параметри.

Здебільшого як певну функціональну залежність беруть мультиплікативну однорідну функцію такого вигляду:

$$Z = a_0 L^{\alpha_1} P^{\alpha_2} \exp(\lambda t),$$

де Z — індекс промислового виробництва (наприклад, внутрішнього валового продукту (ВВП));

L — індекс чисельності робочої сили;

P — індекс промислового виробництва;

$\exp(\lambda t)$ — відображує часову тенденцію, що обумовлена науково-технічним прогресом;

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 1.$$

Ця функція зводиться до лінійної логарифмуванням:

$$\ln Z = \ln a_0 + \alpha_1 \ln L + \alpha_2 \ln P + \lambda t.$$

Отже, за допомогою виробничих функцій можна, не вдаючись до аналізу структури економічної системи, встановити взаємозв'язок між її входами (факторами виробництва) та виходами (обсягами виробництва).

Модель Солоу

Модель Солоу — це односекторна модель економічного зростання. У ній економіка являє собою єдине ціле, що виробляє один продукт, який може йти як на споживання, так і на інвестиції. Хоча ця модель є надто спрощеною і не враховує у явному вигляді експорт та імпорт, вона достатньо адекватно відображає важливі макроекономічні аспекти процесів відтворення.

Стан економіки в моделі Солоу задається такими ендогенними змінними [16]: X — валовий внутрішній продукт (ВВП), C — фонд невиробничого споживання, I — інвестиції, L — кількість зайнятих, K — фонди. Окрім цього, в моделі використовують такі екзогенні змінні: v — річний темп приросту зайнятих ($-1 \leq v \leq 1$), μ — частка вибулих протягом року виробничих фондів ($0 \leq \mu \leq 1$), ρ — норма нагромадження (частка валових інвестицій у ВВП, $0 \leq \rho \leq 1$).

У цій моделі передбачається, що всі ендогенні змінні змінюються у часі, а екзогенні змінні постійні, при цьому норма нагромадження вважається керованим параметром.

Допускається також, що річний випуск у кожний момент визначається лінійно-однорідною неокласичною виробничою функцією:

$$X = F(K, L).$$

Розглянемо темпи приросту головних ресурсів за малий проміжок часу Δt :

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta L}{L} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} v \Delta t = \frac{dL}{dt} = vL,$$

звідки одержимо:

$$\ln L = vt + \ln A, \quad L = A \exp(vt).$$

Або, враховуючи початкову умову $L(0) = L_0$, можемо записати:

$$L = L_0 \exp(vt).$$

Знос та інвестиції в розрахунку на рік дорівнюють μK та I , а за час Δt — відповідно $\mu K \Delta t$, $I \Delta t$. Тому приріст фондів за цей час становитиме:

$$\Delta K = -\mu K \Delta t + I \Delta t,$$

звідки одержимо диференціальне рівняння:

$$\frac{dK}{dt} = -\mu K + I, \quad K(0) = K_0.$$

Інвестиції та фонд невиробничого споживання будуть дорівнювати $I = \rho X$ та $C = (1 - \rho)X$. Отже, модель Солоу буде мати вигляд:

$$L = L_0 \exp(\nu t); \quad \frac{dK}{dt} = -\mu K + I, \quad K(0) = K_0;$$

$$X = F(K, L); \quad I = \rho X; \quad C = (1 - \rho)X.$$

Графічно функціонування економіки за моделлю Солоу зображено на рис. 14.

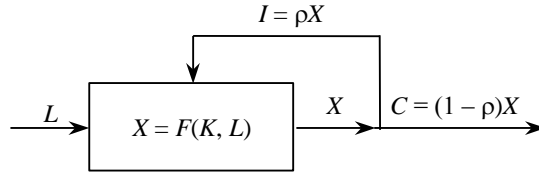


Рис. 14. Схема функціонування економіки за моделлю Солоу

Якщо ввести показники:

$$k = \frac{K}{L} \text{ — фондоозбросеність;}$$

$$x = \frac{X}{L} \text{ — продуктивність праці;}$$

$$i = \frac{I}{L} \text{ — питоми інвестиції;}$$

$$c = \frac{C}{L} \text{ — середнє споживання на одного зайнятого,}$$

тоді, враховуючи, що

$$x = \frac{F(K, L)}{L} = F\left(\frac{K}{L}, 1\right) = f(k); \quad i = \rho x; \quad c = (1 - \rho)x;$$

$$\frac{dK}{dt} = \frac{d}{dt}(kL) = \nu Lk + L \frac{dk}{dt},$$

модель Солоу у відносних показниках матиме вигляд:

$$\frac{dk}{dt} = -\lambda k + \rho f(k), \quad \lambda = \mu + \nu, \quad k(0) = k_0 = \frac{K_0}{L_0};$$

$$x = f(k); \quad i = \rho f(k), \quad c = (1 - \rho)f(k).$$

Отже, оскільки кожний абсолютний чи відносний показник змінюється з часом, то можна казати про рух системи.

Статична модель «витрати—випуск»

Розглянемо також одну з найбільш агрегованих та узагальнених моделей економічної системи — статичну модель міжгалузевого балансу «витрати—випуск» (модель Леонтьєва). У систему надходять ресурси, а на виході одержуємо кінцеву продукцію (товари, послуги тощо). Вважатимемо, що економічна система складається з двох підсистем: виробництва та розподілу продукції. Частина всієї виробленої продукції (валової) використовується для задоволення потреб самого виробництва (проміжна продукція), а решта (кінцевий продукт) надходить до виходу системи (споживається суспільством, йде до інших економічних систем тощо).

Нехай економіка складається з n галузей. Позначимо через $x_i, y_i; i = 1, \dots, n$ — валову та кінцеву продукцію відповідно. Основним елементом моделі є квадратна матриця **технологічних коефіцієнтів** $A = (a_{ij})_{n \times n}$. Її елементи a_{ij} показують, скільки продукції галузі i необхідно витратити для виробництва одиниці продукції в галузі j . Тому цю матрицю ще називають матрицею прямих витрат. Вона характеризує технологічну структуру економіки. Вважається, що її елементи є постійними величинами.

Основне припущення моделі полягає в тому, що для виробництва x_i одиниць продукції у галузі j необхідно витратити

$$x_i = a_{ij}x_j; \quad i, j = 1, \dots, n,$$

одиниць продукції галузі i (тобто вважається, що затрати прямо пропорційні обсягам випуску продукції).

Тоді модель системи можна подати у вигляді:

$$x_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + y_i, \quad i, j = 1, \dots, n,$$

або у матричному вигляді:

$$x = Ax + y,$$

де $x = (x_1, \dots, x_n)^T$, $y = (y_1, \dots, y_n)^T$.

Розв'язок має економічний сенс, якщо вектори y та x невід'ємні. Для цього необхідно, щоб матриця A була продуктивною. Матрицю A називають **продуктивною**, якщо існують два вектори: $y > 0$ ($y_i > 0$, $i = 1, \dots, n$) та $x \geq 0$ ($x_i \geq 0$, $i = \overline{1, n}$) такі що:

$$x - Ax = y.$$

Тоді розв'язок існує та єдиний:

$$x = (I - A)^{-1} y.$$

Модель Леонтьєва можна використовувати для того, щоб за відомим вектором кінцевої продукції знайти вектор валової, або навпаки, за відомим обсягом випуску валової продукції знайти обсяг кінцевої. Складніші балансові моделі (динамічні МГБ) враховують також зміни капітальних вкладень.

На практиці для моделювання економіки в цілому або її секторів та галузей використовують значно складніші моделі: макроеконометричні системи рівнянь часто застосовують разом із моделями динамічного МГБ та ін.

Макроеконометричні моделі описують економіку в цілому та містять взаємопов'язані блоки рівнянь, що характеризують взаємозв'язки між різними секторами економіки. Так, наприклад, відома бруклінська макроеконометрична модель прогнозування економіки США містила сім блоків та більше 60 рівнянь. Такі моделі, як правило, мають блочну структуру (наприклад, містять блоки реального сектору, сектору споживання та доходів населення, державного сектору, зовнішньоекономічного сектору, грошово-кредитного сектору та ін.) і включають кілька сот змінних і рівнянь, часто містять взаємозалежні змінні, що ускладнює ідентифікацію таких систем.

ТЕМА 5. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ І МОДЕЛЮВАННЯ СОЦІАЛЬНО – ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ РІЗНИХ РІВНІВ АГРЕГУВАННЯ

5.1. Особливості соціально-економічних систем

З огляду на розглянуті вище способи класифікації систем та їхні властивості соціально-економічні системи можна віднести до складних, ймовірних, динамічних систем, що охоплюють процеси виробництва, розподілу, обміну і споживання матеріальних та інших благ. Ці системи відносять до кібернетичних систем, тобто систем з управлінням.

Серед систем, створених людьми, можна виділити особливу категорію так званих **цілеспрямованих систем**, до яких належать соціально-економічні системи. Елементами таких систем є люди, тому вони являють собою особливо складні об'єкти.

Відзначимо основні властивості, що притаманні соціально-економічним системам і які необхідно враховувати при їх дослідженні:

- емерджентність як вищий прояв цілісності системи;
- динамічність економічних процесів, що полягає у зміні параметрів та структури соціально-економічних систем під впливом зовнішніх та внутрішніх факторів;
- стохастичний характер економічних явищ, що обумовлює застосування до їх описання статистичних методів дослідження;
- закономірності економічних процесів проявляються тільки за наявності достатньої кількості спостережень;
- неможливість ізолювати економічні процеси від зовнішнього середовища та спостерігати їх у чистому вигляді.

Усвідомлення описаних вище властивостей соціально-економічних систем вимагає застосування до їх дослідження «системного мислення», яке дає змогу дослідити взаємозв'язки між різними аспектами таких систем. Системний підхід уможливорює глибше розуміння причин багатьох явищ, які у розрізненному вигляді сприймаються як випадкові, але, будучи об'єднаними в систему, допомагають знаходити певні закономірності. Так, економічні проблеми досить часто породжуються політичними причинами. Ті, в свою чергу, обумовлюються особливостями суспільної свідомості та психології, пов'язані із певними історичними традиціями тощо.

Системний підхід дає змогу по-іншому оцінювати ефективність функціонування соціально-економічних систем: *взаємодія між частинами системи справляє набагато більший вплив, ніж результативне функціонування окремих її частин.*

Наприклад, ефективна робота відділу маркетингу не дасть позитивного результату, якщо не налагоджена взаємодія з іншими підрозділами — виробничим, фінансовим, керівництвом фірми тощо.

Жоден з елементів системи не може бути пізнаний без урахування його зв'язків з іншими елементами. Так, спроба дослідити діяльність підприємства лише поділивши його на підсистеми та їх елементи (аналіз) навряд чи дасть вичерпну інформацію. Ми не зможемо виявити причини успішної діяльності організації, якщо будемо досліджувати кожний її підрозділ чи цех окремо, без зв'язків з іншими підрозділами. Тільки загальний дух організації, її корпоративна культура, психологічний мікроклімат, моральні та матеріальні стимули, взаємодія підрозділів, що обумовлена спільною стратегією, можуть пояснити результат функціонування системи. Цей результат пояснюється інтегральними (емерджентними) властивостями системи в цілому, які відсутні в окремих її елементах.

Тому *дослідження складних систем вимагає не тільки аналітичного підходу (спрямованого на поділ цілого на частини та дослідження кожної з них окремо), а й цілісного підходу, що означає дослідження системи в єдності усіх її частин.* Цей підхід полягає у синтезі, тобто у поєднанні частин, виявленні системних властивостей, які притаманні всій системі.

Об'єднання елементів у єдине ціле, яке дає змогу системі виконувати певну функцію у більшій системі (надсистемі), і являє собою здійснення синтезу. Отже, процес пізнання складних систем полягає у діалектичній єдності застосування процедур аналізу та синтезу (див. розділ 2.4).

5.2. Основні напрямки застосування ідей та принципів системного аналізу до дослідження соціально-економічних об'єктів

Навіть найретельніше дослідження ефективного функціонуючого підприємства чи організації не дає змоги зі всією повнотою виявити механізм їх ефективної діяльності, оскільки він виходить далеко за межі цих систем. Важливі фактори, що обумовлюють їх функціонування, знаходяться в зовнішньому

середовищі, в якому існує підприємство, — в економічній, політичній та соціально-культурній сферах суспільства. Тому при дослідженні нинішніх організацій, фірм, підприємств, корпорацій недостатньо лише традиційних аналітичних методів дослідження; необхідні комплексні та всебічні підходи, застосовуючи які, акцентують увагу не тільки на підприємстві, а й на дослідженні навколишнього середовища, в якому воно функціонує.

Одним із таких методів є системний підхід. Найавторитетніші спеціалісти та вчені, що працюють у сфері менеджменту (наприклад, Р. Акофф, Д. Гвішіані, П. Дракер, М. Мескон, С. Р. Фатхутдінов, Янг), вважають, що саме системний підхід є науковою засадою, головним методологічним інструментом у діяльності сучасного менеджера.

Сучасному світу, що оточує будь-яку організацію, притаманні такі риси та закономірності, врахування яких вимагає застосування системного підходу.

Посилення взаємного впливу, взаємозалежності, взаємодії всіх частин сучасного суспільства. Сучасне суспільство стає все більш інтегрованим, цілісним. Тісніше переплітаються економічні, політичні, соціальні та інформаційні процеси, інтенсивніше взаємодіють держава та суспільство, виробництво і наука, культура та побутова сфера.

Сучасні організації, підприємства, корпорації інтегровані в системи міжнародних економічних зв'язків, транснаціональні компанії, інформаційні системи, що обслуговують світовий ринок, міжурядові проекти, які охоплюють значну кількість державних та приватних корпорацій.

Тому компанії не являють собою ізольовані, незалежні організації. Вони є частинами інших систем, які справляють багатогранний вплив на функціонування компаній. При цьому слід враховувати не тільки економічні фактори. Зовнішнє середовище, що оточує будь-яке підприємство, являє собою складну систему, в якій важливу роль відіграють також політичні і соціальні фактори, чинне законодавство, уряд, фактори науково-технічного прогресу, постачальники, споживачі, конкуренти. Отже, є всі підстави вважати сучасне підприємство відкритою системою, яка тисячами ниток пов'язана із зовнішнім середовищем.

Інша важлива риса — динамічність. Конкурентна боротьба за задоволення потреб споживачів примушує компанії постійно розробляти і пропонувати нові товари та послуги, постійно поліпшувати їх якість, використовуючи для цього найсучасніші науково-технічні досягнення. Скоріше вже не зниження витрат виробництва та зниження цін, як це було у відносно нещодавньому минулому, стає стратегічним завданням компанії. Випуск нових товарів та послуг і освоєння нових ринків є головною метою сучасного виробництва.

Обидва ці фактори — зростаюча взаємозалежність та динамічність суспільства обумовлюють *третьою рису навколишнього середовища організації — складність соціальної структури*, що призводить до зростання складності в її пізнанні, прогнозуванні та управлінні.

Для дослідження складних систем, до яких належать і соціально-економічні, необхідним є застосування процедур аналізу та синтезу. Розглянемо досить широкий перелік процедур системного аналізу, що може ефективно застосовуватися до дослідження соціально-економічних систем:

1. Визначення меж досліджуваної системи.

Ці межі певною мірою умовні та обумовлюються конкретним завданням дослідження. Наприклад, межі системи «корпорація» в одному разі можуть визначатися обліковим складом постійного персоналу, в іншому завданні — постійним персоналом разом з усіма акціонерами компанії, у третьому разі ці межі розширюються врахуванням усіх тимчасово залучених фахівців, експертів, консультантів тощо. Потім можна розширити ці межі, беручи до уваги всіх постачальників компанії, її споживачів та інших суб'єктів, що мають з нею будь-які зв'язки.

2. Визначення надсистем, в які входить досліджувана система як частина.

Взагалі кожна система належить великій кількості надсистем. Однак, виходячи з вимог конкретного завдання, необхідно обмежитися аналізом лише найважливіших надсистем. Так, якщо ми з'ясуємо вплив на підприємство економічного середовища, то саме воно і буде тією надсистемою, у якій варто розглядати його функції. Виходячи із взаємозв'язку всіх сфер життя сучасного суспільства, будь-який об'єкт, зокрема підприємство, варто вивчати як частину багатьох систем: економічної, політичної, державної, регіональної, соціальної, екологічної, міжнародної.

Кожна з цих надсистем, наприклад економічна, у свою чергу, має чимало компонентів, з якими зв'язане підприємство, — постачальники, споживачі, конкуренти, партнери, банки тощо. Ці ж компоненти входять одночасно й в інші надсистеми — соціокультурну, екологічну тощо. Окрім цього, працівники є складовими інших систем: родини, профспілки, міста, нації тощо.

А якщо ще врахувати, що кожна з цих систем, а також кожний з їх компонентів мають свої специфічні й, можливо, суперечливі цілі, то стає зрозумілою необхідність свідомого вивчення середовища, що оточує підприємство. Інакше вся сукупність численних впливів, здійснюваних надсистемами на пі-

дприємство, буде здаватися хаотичною та непередбачуваною, що позбавить можливості раціонального та цілеспрямованого управління.

3. Визначення основних рис та напрямків розвитку надсистем, до яких належить дана система, зокрема формулювання їх цілей та суперечностей між ними.

4. Визначення ролі досліджуваної системи в кожній надсистемі і розгляд цієї ролі як засобу досягнення цілей надсистеми.

Варто розглянути при цьому:

- ідеалізовану, очікувану роль системи з погляду надсистеми, тобто ті функції, які треба було б виконувати, щоб реалізувати цілі надсистеми;
- реальну роль системи в досягненні цілей надсистеми.

Прикладом подібного двостороннього підходу може бути, з одного боку, оцінювання потреб покупців у конкретних видах товарів, їхній якості й кількості, а з іншого боку — оцінювання параметрів цих товарів, що виробляються конкретним підприємством. Визначення очікуваної ролі підприємства у споживчому середовищі та його реальної ролі, а також порівняння їх дають змогу зрозуміти багато причин успіху чи невдач компанії, особливості її роботи, передбачати реальні риси її майбутнього розвитку.

5. Виявлення складу системи, тобто визначення частин, з яких вона складається.

Нерідко дослідницьке завдання вимагає не тільки поділу системи на частини, а й поділу цих частин, а також їх елементів. У принципі процес такого поділу, проникнення всередину системи може бути нескінченним; він обмежений лише вимогами конкретного завдання. Залежно від розв'язуваного завдання, розглядаючи, наприклад, склад такої системи, як підприємство, можна обмежитися переліком цехів і відділів, а можна за необхідності поділити їх на бригади, ділянки, окремих працівників, елементи діяльності кожного з них і т. д.

6. Визначення структури системи, що являє собою сукупність зв'язків між її компонентами.

Структура — це внутрішня форма системи, яка не зводиться лише до її складу, набору компонентів. Варто пам'ятати про можливу наявність кількох структур у тій самій системі. Наприклад, на підприємстві існує організаційна структура, тобто сукупність відносин субординації і координації. На підприємстві є й інформаційна структура, що виражається в певних формальних і неформальних потоках інформації. Існують також потоки матеріалів, сировини, деталей, готових виробів, що утворюють свої структури.

Особливо необхідно підкреслити наявність економічної структури на підприємстві, що являє собою сукупність відносин власності. Велике значення мають і суто людські відносини симпатії й антипатії між працівниками, що утворюють морально-психологічну структуру. Можна виділити і специфічні відносини між різними групами працюючих, частина з яких має політичний характер, наприклад між членами профспілок, партій, суспільних рухів. Існує також багато інших структур на підприємстві.

7. Визначення функцій компонентів системи, тобто цілеспрямованих дій елементів, їх «внеску» в реалізацію загальної мети системи.

Ця процедура є особливо важливою, оскільки в реальних процесах кожний компонент має не тільки корисні властивості, що забезпечують досягнення цілей системи в цілому, але і негативні (з погляду системи), заважаючи риси. Тому необхідно при дослідженні чи створенні системи виявляти корисні, доцільні дії (функції) компонентів.

Принципово важливим є гармонійне, несуперечливе поєднання функцій різних компонентів. Саме несуперечність, погодженість функцій відрізняє гармонійну систему від хаотичного набору предметів і процесів. При цьому функції компонентів мають бути якісно різними, що дасть змогу їм, доповнюючи один одного, забезпечувати реалізацію досить широкого спектру дій, що і являє собою сутність системи в цілому.

Разом з тим у будь-якій реальній економічній системі функції компонентів погоджені не повністю, між ними є суперечності, які нерідко знижують ефективність функціонування системи в цілому. Тому пізнання функцій компонентів має здійснюватися не окремо, а в єдності, у взаємодії, у виявленні суперечностей між ними, ступеня їх погодженості тощо.

Ця проблема особливо актуальна для підрозділів, цехів великих підприємств, функції яких досить часто є суперечливими.

8. Виявлення причин, що поєднують окремі частини в систему, у цілісність.

Загалом інтегруючим фактором, що створює соціально-економічні системи, є людська діяльність. У ході діяльності людина усвідомлює свої інтереси, визначає цілі, здійснює практичні дії, формує системи засобів для досягнення своїх цілей. Вихідним, первинним інтегруючим фактором є мета. Визначення реальної цілі, що є причиною створення тієї чи іншої системи, — це непросте завдання, оскільки ціль у будь-якій сфері діяльності переважно являє собою складне поєднання різних суперечливих інтересів.

Наприклад, максимізація прибутку є не єдиною метою сучасного підприємства, це лише один з його інтересів. Другий не менш важливий інтерес — стабільність одержання прибутку. Третій істотний

інтерес — стійка репутація підприємства. Подібних інтересів багато, і лише в їх перетині, у своєрідній їх комбінації полягає загальна мета. Всебічне пізнання її дає змогу дізнатися про ступінь стійкості системи, про її несуперечність, цілісність, передбачати характер її подальшого розвитку.

9. Визначення всіх наявних зовнішніх зв'язків, комунікацій системи з зовнішнім середовищем.

Для справді глибокого, всебічного вивчення системи недостатньо виявити її зв'язки з надсистемами, до яких вона належить. Необхідно ще вивчити такі системи у зовнішньому середовищі, яким належать компоненти досліджуваної системи. Наприклад, слід визначити системи, яким належать працівники підприємства: профспілки, політичні партії, родини, системи культурних цінностей та етичних норм, етнічні групи тощо. Необхідно також з'ясувати узгодженість зв'язків структурних підрозділів та працівників підприємства із системами інтересів і цілей споживачів, конкурентів, постачальників, закордонних партнерів тощо.

Потрібно також враховувати зв'язок між використовуваними на підприємстві технологіями та «простором» науково-технічного прогресу і т. ін. Усвідомлення органічної, хоча і суперечливої єдності всіх систем, що оточують підприємство, дає змогу зрозуміти причини його цілісності та запобігати процесам, що ведуть до дезінтеграції.

10. Дослідження системи в динаміці, у розвитку.

Необхідно дослідити історію системи, джерело її виникнення, період становлення, тенденції і перспективи розвитку, переходи до якісно нових станів.

Необхідність динамічного підходу до дослідження систем можна легко проілюструвати зіставленням двох підприємств, у яких на деякий момент збіглися значення одного з параметрів, наприклад обсяги продажу чи прибуток. З цього збігу ще зовсім не випливає, що підприємства займають на ринку однакове положення: одне з них може набирати силу, а інше, навпаки, переживати спад. Тому судити про будь-яку систему, зокрема про підприємство, не можна лише за «моментальною фотографією», за одним значенням якого-небудь параметра; необхідно досліджувати зміни параметрів, зіставляючи їх у динаміці.

Для глибокого розуміння будь-якої системи недостатньо обмежуватися розглядом коротких проміжків часу її існування чи розвитку. Доцільно, за можливості, досліджувати її передісторію, виявляти причини, що спонукали до створення цієї системи, визначати інші системи, з яких вона утворилася і формувалася. Також важливо вивчати не тільки історію системи чи динаміку її нинішнього стану, а й спробувати, використовуючи спеціальні засоби, передбачити її майбутню поведінку, прогнозувати її майбутні стани, проблеми, можливості.

Перераховані вище процедури системного аналізу не повністю вичерпують арсенал прийомів дослідження систем. Тим більше, що ці процедури мають скоріше загальний, ніж конкретний характер. Адже тільки при дослідженні конкретної системи виникають спеціальні прийоми, формується особлива методологія, що дає можливість знання, отримані при дослідженні даної системи, використовувати у найкращий спосіб для подальшого пізнання. Інакше кажучи, конкретна система сама в ході її дослідження «допомагає» сформулювати метод її подальшого вивчення.

Необхідно зауважити, що викладена тут послідовність процедур системного аналізу не є обов'язковою. Бажаним є знання скоріше самого переліку процедур, ніж їх послідовності. За винятком кількох перших процедур переліку, за реалізації яких здійснюється синтез системи, інші необхідно виконувати виходячи з логіки та враховуючи зміст конкретної системи. *Єдине обов'язкове правило полягає в доцільності багаторазового повернення в ході дослідження до кожної з описаних процедур.* Тільки це є запорукою глибокого і всебічного вивчення будь-якої системи.

Слід зазначити, що на практиці далеко не завжди використовуються багато прийомів системного аналізу. Однак спроба досліджувати складні об'єкти простими засобами, прагнення пояснити багатокомпонентні системи, багатогранні взаємодії спрощеними схемами призводить до викривленого уявлення про дійсний стан системи, до необґрунтованих та неадекватних рішень.

ТЕМА 6. ОСНОВНІ НАПРЯМИ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ В РІЗНИХ ЕКОНОМІЧНИХ СФЕРАХ

6.1. Системний аналіз організацій

Модель організації як відкритої системи

Як одна з найважливіших підсистем соціально-економічної системи країни з економічного погляду може розглядатися організація. Більш того, як організацію можна розглядати й сукупність систем, що підпорядковані або взаємно пов'язані між собою чи з іншими системами, зокрема, з соціально-політичними та соціально-економічними, з системами інших країн (наприклад, транснаціональними корпораціями, офшорними компаніями, банківськими установами тощо).

Організацію можна визначити як соціально-економічну систему, що поєднує групу людей, які сумісно реалізують певну спільну мету та діють на основі певних принципів і правил. До організацій можна віднести фірми, підприємства, корпорації, наукові установи тощо.

З погляду системного підходу до організації як соціально-економічної системи існують такі їх системоутворюючі фактори та властивості:

- організації є цілісними системами;
- організації складаються з окремих підсистем, що є їх складовими;
- наявність спільної головної мети для всіх компонентів та підсистем організації;
- підпорядкування цілей кожного компонента спільній меті системи та усвідомлення кожним виконавцем своїх завдань і загальної мети;
- виконання кожним елементом своїх функцій, зумовлених поставленими завданнями;
- відношення субординації та координації між компонентами системи (тобто ієрархічний принцип будови й управління);
- наявність зворотного зв'язку між керуючою та керованою підсистемами;
- суттєва залежність від зовнішнього середовища.

Модель організації як відкритої системи зображено на рис. 14. Організація одержує від зовнішнього середовища інформацію, фінансові та трудові ресурси, матеріали (сировину, енергію тощо). У процесі функціонування вона перетворює входи для одержання продукції, послуг, які є її виходами. Якщо організація працює ефективно, то в процесі роботи з'являються додаткові виходи, наприклад прибуток.

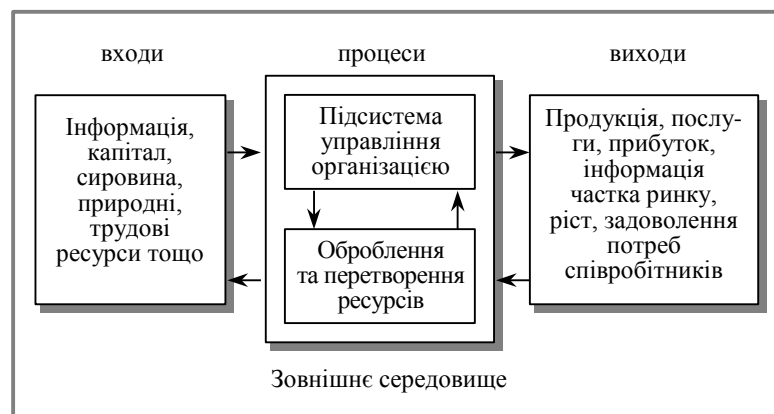


Рис. 14. Організація як відкрита система

Однією з важливих особливостей організації є її взаємозв'язок із зовнішнім середовищем та суттєва залежність від останнього, що проявляється у необхідності одержання ресурсів для свого функціонування і розширення кола своїх споживачів, що використовують результати діяльності організації. Організація не може залишатися ізольованою, їй необхідно взаємодіяти з іншими системами (суспільними організаціями, постачальниками, замовниками, вищими органами управління, профспілками тощо) для забезпечення умов існування та розвитку.

Отже, організація є цілісною відкритою системою, яка багатьма зв'язками з'єднана з зовнішнім та внутрішнім середовищем.

Основні аспекти внутрішнього середовища організації, які потребують уваги керівництва, — це цілі, структура, завдання, технології та персонал [22].

Цілі організації є бажаним кінцевим рівнем окремих характеристик організації, або результати, на досягнення яких спрямована її діяльність. Організацію можна розглядати як засіб, що уможливорює спільне досягнення таких результатів, яких неможливо було б досягти окремим її підрозділам та працівникам. Детальніше цілі організації буде розглянуто у наступному параграфі.

Структура організації — це логічні взаємовідносини рівнів управління, які дають змогу найефективніше досягати цілей організації. Структура організації передбачає поділ праці, що є необхідною умовою підвищення його ефективності.

Майже в усіх організаціях існує горизонтальний поділ праці за спеціалізованими напрямками. Якщо організація достатньо велика, то спеціалістів групують у межах однієї функціональної сфери (відділи, управління, цехи тощо). Вертикальний поділ праці реалізується за принципом ієрархії управління зверху донизу, який передбачає підпорядкування співробітників різних рівнів. Керівник організації може мати у своєму підпорядкуванні кілька керівників середньої ланки, які керують окремими функціональними підрозділами та можуть, у свою чергу, мати кількох підпорядкованих.

Завдання — це певна робота, її частина або етап, серія робіт, що має бути виконана у заздалегідь встановлений термін та спосіб. Завдання організації поділяють на роботу з людьми, з предметами (машинами, сировиною, інструментами) чи з інформацією.

Важливим фактором ефективності виробництва є спеціалізація завдань, тобто поділ роботи на окремі операції, що сприяє підвищенню ефективності праці окремих працівників та функціонування організації в цілому.

Технологія — це, за визначенням деяких дослідників [22], спосіб поєднання кваліфікаційних навичок, обладнання, інфраструктури, інструментів, відповідних знань, необхідних для здійснення бажаного перетворення входів системи (сировини, інформації). Важливими елементами сучасної технології є стандартизація, механізація та автоматизація, що стимулюють подальше підвищення спеціалізації.

Персонал — це керівники, рядові виконавці, співробітники різної кваліфікації. Від їхнього професіоналізму, кваліфікації, бажання, енергії залежить ефективність діяльності організації у досягненні своїх цілей.

6.1.2. Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища організації

Для того, щоб визначити та реалізувати стратегію поведінки організації, керівництво повинно мати поглиблене уявлення як про внутрішнє середовище організації, її потенціал та тенденції розвитку, так і про тенденції розвитку зовнішнього середовища. Зовнішнє середовище організації є джерелом одержання організацією ресурсів, необхідних для її існування.

Під **зовнішнім середовищем організації** розуміють сукупність елементів, що оточують її та справляють на її діяльність суттєвий вплив (рис. 15). Аналіз зовнішнього середовища організації передбачає аналіз її мікрооточення (безпосереднього оточення) та макрооточення (опосередкованого оточення).

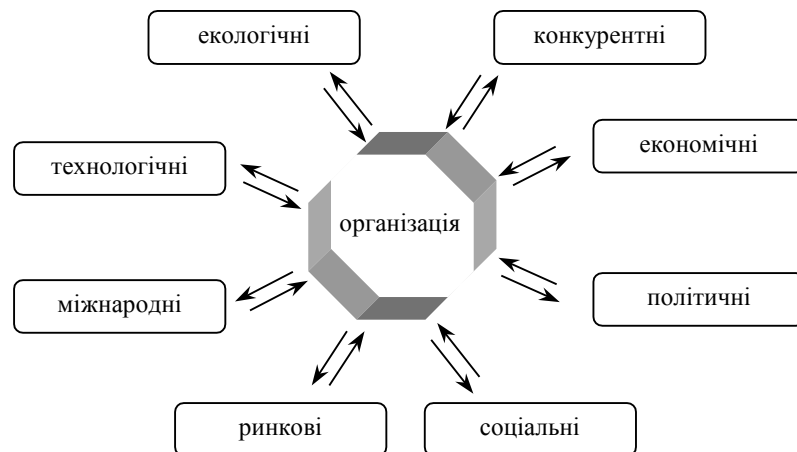


Рис. 15. Фактори зовнішнього середовища організації

До **макрооточення** належать фактори, які можуть не справляти безпосереднього та негайного впливу на ефективність та стійкість функціонування організації, але які все одно мають певний (опосередкований) вплив на неї.

Аналіз макрооточення має містити дослідження міжнародних факторів (воєнні конфлікти, економічні кризи), політичних процесів у країні, правового регулювання, стану економіки, рівня науково-технічного та технологічного розвитку суспільства, соціальної та культурної складових суспільства, стану навколишнього середовища тощо.

Розглянемо, як приклад, необхідність дослідження деяких з наведених вище факторів макрооточення.

Економічні фактори. Економічні фактори необхідно постійно відстежувати, тому що дослідження стану економіки дає змогу з'ясувати, як формуються та перерозподіляються ресурси. До найважливіших економічних показників відносять ВВП, темпи інфляції, валютний курс, процентні ставки, платіжний баланс, рівень безробіття та ін. Необхідно визначати, які можливості рівень цих характеристик дає для розвитку організації або які можуть бути загрози.

Політичні фактори. Успішне функціонування організації залежить від рівня політичної стабільності в країні. Необхідно мати уявлення про наміри органів влади щодо певних секторів економіки та суспільства в цілому. Так, великі компанії намагаються брати участь у політичному процесі, що дає їм можливість лобювати власні інтереси та певною мірою впливати на управлінські рішення. Політичні фактори також можуть бути джерелом як загроз, так і позитивних можливостей для організації.

Технологічні та науково-технічні фактори. Аналіз новітніх науково-технічних тенденцій дає змогу своєчасно змінювати технології, або займати нові ніші ринку, що з'являються внаслідок НТП. Прикладом найдинамічніших сфер є бурхливий розвиток інформаційних систем і технологій, телекомунікацій.

Міжнародні фактори. Керівництва фірм, що діють на міжнародних ринках, мають постійно аналізувати стан світових ринків, зовнішньоторговельну кон'юнктуру, митну, антидемпінгову та іншу політику торговельних країн-партнерів.

Соціальні та демографічні фактори. Дослідження цих факторів спрямоване на визначення впливу таких соціальних показників, як рівень життя та освіти населення, традицій та цінностей, що існують у суспільстві, демографічних тенденцій тощо. Соціальні фактори впливають як на інші фактори макроточення, так і на внутрішнє середовище організації.

Фактори *мікрооточення* безпосередньо впливають на діяльність організації. До безпосереднього оточення відносять споживачів, постачальників, конкурентів, ринок робочої сили, а також органи державного управління та відповідні закони, що регламентують діяльність організацій.

Аналіз *внутрішнього середовища* організації дає змогу виявити ті можливості, той потенціал, на який може розраховувати організація для досягнення своїх цілей. Внутрішнє середовище аналізується за такими напрямками:

- кадри, їх потенціал, кваліфікація, інтереси тощо;
- організація управління та маркетингу;
- стан основної діяльності (виробництво, організаційні характеристики, наукові дослідження та розробки тощо);
- фінансовий стан;
- організаційна культура.

Аналіз фінансового стану уможливує виявлення наявних та потенційно слабких місць організації в порівнянні з конкурентами.

Дослідження внутрішнього середовища спрямоване на з'ясування сильних та слабких сторін організації. Сильні сторони є тією базою, на яку організація спирається у конкурентній боротьбі та яку вона повинна намагатись розширювати й укріплювати. Слабкі сторони мають бути предметом пильної уваги керівництва, щоб їх позбутись. Зовнішнє середовище досліджується з метою визначення загроз та можливостей, які необхідно враховувати при визначенні та досягненні цілей.

Методи аналізу середовища

Аналіз середовища покладається, як правило, на аналітичні відділи та відділи маркетингу. В їх завдання входить, передусім, вирішення проблеми інформаційного забезпечення. Так, найпоширенішими методами збору інформації для відстеження стану зовнішнього середовища є:

- кабінетні дослідження, які здійснюються через пошук вторинної інформації на електронних та паперових носіях (аналіз матеріалів, надрукованих у періодичних виданнях, книгах, інформації в електронних ЗМІ, мережі Internet);
- участь у професійних конференціях;
- аналіз досвіду співробітників організацій;
- маркетингові дослідження ринку.

Одним із методів аналізу середовища є SWOT-аналіз (аббревіатура таких понять: strength — сила, weakness — слабкість, opportunities — можливості, threats — загрози) [4, 8, 9, 22]. Цей метод передбачає спочатку виявлення сильних та слабких сторін, загроз та можливостей, а потім — встановлення ланцюжків зв'язків між ними, які в подальшому можуть бути використані для формулювання стратегії організації.

Для встановлення таких зв'язків складають SWOT-матрицю, підметом якої є виявлені сильні та слабкі сторони, а присудком — можливості та загрози (табл. 6):

Таблиця 6 - МАТРИЦЯ SWOT-АНАЛІЗУ

Сторони	Можливості	Загрози
Сильні	Поле СіМ	Поле СіЗ
Слабкі	Поле СЛіМ	Поле СЛіЗ

У такий спосіб утворюються чотири поля: СіМ — сила і можливості, СіЗ — сила і загрози, СЛіМ — слабкість і можливості, СЛіЗ — слабкість і загрози. На кожному з цих полів необхідно розглянути всі можливі комбінації пар виявлених властивостей та виділити ті, які мають бути враховані за розроблення стратегії. Стосовно тих пар, що були вибрані в полі СіМ, слід розробляти стратегію з використання сильних сторін організації для одержання віддачі від виявлених можливостей, які з'явилися у зовнішньому середовищі. Для тих пар, що опинилися у полі СЛіМ, стратегію необхідно розробляти так, щоб за рахунок можливостей, що з'явилися, спробувати здолати наявні в організації слабкі сторони. Для поля СіЗ стратегія має передбачати використання сили для нейтралізації загроз. Для пар, що знаходяться у полі СЛіЗ, необхідно розробити таку стратегію, яка б уможливила не тільки позбуття від слабкостей, а й намагалася запобігти загрозам.

Для застосування цього методу необхідно також виконати ранжування виявлених можливостей (загроз) з погляду ймовірності їх використання (реалізації).

Поряд із SWOT-аналізом використовують метод профілю середовища, який полягає в такому. Будується матриця $X = [x_{ij}]$, $i = \overline{1, n}$; $j = 1, 2, 3$, елементами якої є фактори середовища (n — кількість відібраних факторів), які експертно оцінюються за такими трьома критеріями:

- 1) важливістю для галузі (за шкалою: 3 — велика, 2 — помірна, 1 — слабка);
- 2) впливом на організацію (3 — сильний, 2 — помірний, 1 — слабкий, 0 — відсутність впливу);
- 3) напрямком впливу (+1 — позитивний, -1 — негативний).

Потім через добуток цих експертних оцінок для кожного фактора одержується інтегральна оцінка:

$I_i = \prod_{j=1}^3 x_{ij}$, яка показує рівень важливості i -го фактора для організації.

Окрім SWOT-аналізу використовують і інші методи: метод матриці Бостонської консалтингової групи, Мак-Кінзі, метод матриці загроз та матриці можливостей тощо.

6.1.3. Системний аналіз ієрархії та змісту цілей організації

Цілі організації повинні являти собою гармонійне поєднання власних цілей організації, цілей надсистем (галузі, суспільства тощо) та цілей підсистем (підрозділів, відділів, працівників).

Серед усіх цілей організації необхідно виділити стрижневу, базову ціль, що є головним стимулом її діяльності та має відігравати не тільки організуючу й інтегруючу роль, а й виконувати пропагандистську функцію. Така ціль являє собою місію організації, її призначення — задоволення певних потреб споживачів. **Місія** є своєрідною філософською та соціальною установкою організації, провідним напрямом її діяльності.

Наприклад, місією фірми «Мак Доналдс» є швидке, якісне обслуговування клієнтів за допомогою стандартного набору продуктів. Зрозуміло, що місія фешенебельного ресторану істотно відрізняється, тому що він орієнтований на інші потреби клієнтів.

За розроблення місії комерційної організації здебільшого необхідно враховувати такі інтереси:

- співзасновників та власників;
- співробітників;
- споживачів продукції (послуг) організації;
- партнерів, постачальників, конкурентів;
- громадських організацій та органів місцевого самоуправління;
- органів державної влади.

Місія організації є орієнтиром для розроблення стратегічних цілей організації. Інші цілі організації повинні являти собою засоби їх реалізації. До таких засобів можна віднести маркетинг, виробництво, підбір і навчання персоналу, проведення науково-дослідних робіт тощо.

Маючи на увазі можливе значне різноманіття підходів до визначення та структурування сфер і цілей, можна зробити висновок, що для комерційних організацій цільова орієнтація так чи інакше має бути пов'язана із прибутковістю діяльності. Всі інші цілі все одно будуть відсунуті на другий план та залишаться засобами досягнення прибутковості, тому що саме прибуток зумовлює можливість існування, розвитку та процвітання комерційної організації.

Наведемо перелік найрозповсюдженіших цілей організацій:

- зростання доходів;
- збільшення обсягів виробництва та продажу;
- збільшення частки ринку;
- зниження собівартості;
- підвищення якості продукції;
- підвищення конкурентоспроможності;
- розширення номенклатури та поліпшення якості товарів і послуг;
- поліпшення обслуговування клієнтів;
- підвищення продуктивності праці;
- соціальна відповідальність;
- добробут найманих працівників.

Загальна класифікація цілей організації зображена на рис. 16.

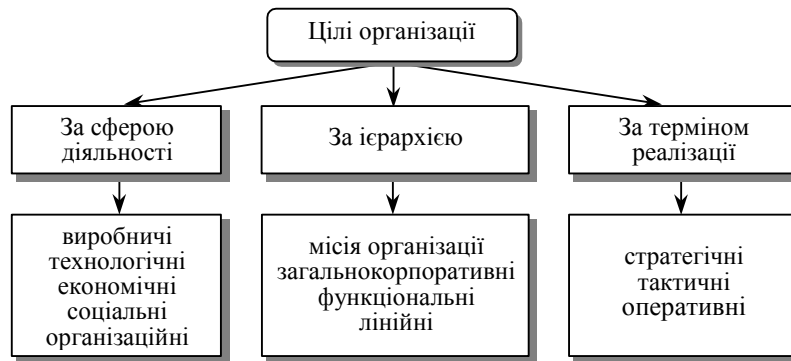


Рис. 16. Класифікація цілей організації

Природно, що ефективно здійснити місію фірми можна лише тоді, коли всі засоби, що для цього використовуються, зв'язані в єдину гармонійну систему. При цьому кожний із цих засобів, у свою чергу, теж є системою, що складається із різних компонентів. Наприклад, підприємство складається із взаємозалежних цехів, відділів, служб. Кожний цех також є системою, що включає верстати, різне устаткування, яке обслуговує персонал, і т. д.

Сукупність засобів, призначених для досягнення якоїсь цілі, являє собою систему, що містить у собі багато підсистем, ніби «вкладених» одна в одну. При цьому кожна з цих систем є одночасно і метою, і засобом: з одного боку, можна казати про інтегральну якість, роль цієї системи, тобто її ціль, для досягнення якої призначені компоненти системи як засоби, а з другого боку, вся дана система є засобом для досягнення цілей вищого рівня ієрархії.

Важливою особливістю соціально-економічних систем є суперечливість цілей, оскільки цілі окремих підрозділів не завжди збігаються з цілями та функціями організації. Окрім цього, працівники мають свої власні цілі. Цю властивість особливо важливо враховувати при управлінні. При недосконалому менеджменті цілі окремих підрозділів компанії можуть бути протилежними (наприклад, якщо відділ збуту бажає одержати якомога ширший асортимент продукції, а виробничий відділ, навпаки, намагається полегшити свої завдання за рахунок виробництва вужчого асортименту).

Тому для ефективного управління необхідно так розподілити завдання між структурними підрозділами, щоб їхня діяльність сприяла досягненню головних цілей компанії.

Але, виходячи з загальних цілей, не завжди легко вдається правильно визначити завдання, що постають перед органами управління організації на певному етапі. Крім цього, завжди виникають труднощі з переходом до практичних форм і методів їх реалізації.

Якщо відбувається розрив між цілями та засобами для їх досягнення, то організація не зможе вирішити поставлені завдання.

Методом системного аналізу, спрямованим на забезпечення єдності вибраної цілі та засобів її досягнення, є побудова дерева цілей (див. тему 3). Починається побудова цього дерева з процедури структуризації — поділу основної мети на елементи, тобто підцілі, кожна з яких є засобом чи напрямком її досягнення. Потім кожна з підцілей, у свою чергу, розглядається як ціль і поділяється на компоненти. Процес поділу варто вести доти, доки на самому нижньому рівні «дерева» не виявляться засоби, реалізація яких не викликає принципових труднощів і сумнівів.

Приклад. Якщо метою першого рівня є збільшення доходів, то цілями другого рівня може бути збільшення обсягів виробництва та продажу, збільшення частки ринку, цілями третього рівня — по-

ліпшення обслуговування клієнтів, розширення та поліпшення номенклатури товарів і послуг, а цілями четвертого рівня — підвищення продуктивності праці тощо.

Необхідно зауважити, що на практиці процес структуризації здійснювати дуже непросто. Він вимагає особливої чіткості мислення, тому що в реальних системах багато неформальних відносин, складних взаємодій, що важко виділити і врахувати.

При виборі цілей організації слід враховувати певні вимоги, які має задовольняти кожна ціль. Цілі мають бути чіткими, кількісно вимірюваними, досяжними, мають співвідноситися з місією та мати часові межі їх досягнення. Ці особливості цілей називають SMART-характеристикою (SMART — абревіатура описаних нижче понять), що є сукупністю найважливіших вимог до цілей. Отже, цілі мають бути:

- **Specific** — чітко визначеними (ціль має чітко фіксувати, що необхідно одержати в результаті діяльності, в який термін її необхідно досягти та хто відповідає за її реалізацію);
- **Measurable** — вимірюваними (має існувати можливість кількісно або у якийсь інший спосіб об'єктивно оцінити, чи була ціль досягнута);
- **Achievable** — досяжними (реальними);
- **Related** — співвідносними та сумісними (цілі мають бути сумісні ієрархічно, тобто довгострокові цілі мають відповідати місії організації, середньострокові мають забезпечувати досягнення довгострокових цілей; окрім цього цілі повинні бути несуперечливими);
- **Time-bound** — має бути визначена часова шкала за термінами досягнення цілей.

Окрім цього, цілі мають бути гнучкими (повинна існувати можливість для коригування цілей відповідно до змін у зовнішньому та внутрішньому середовищі).

Після визначення місії та цілей організації вибирають певну стратегію їх здійснення. **Стратегія організації** — це генеральний план дій, що визначає пріоритети стратегічних завдань, ресурси та послідовність дій для їх досягнення. Тому побудова дерева цілей має доповнюватися упорядкованим переліком засобів їх реалізації.

6.1.4. Застосування системного підходу до завдань стратегічного менеджменту

Для успішного функціонування організацій за сучасних умов їхня діяльність та дії керівництва не можуть зводитися лише до реагування на зміни, що відбуваються. Все ширше визнається необхідність свідомого управління цими змінами на базі науково обґрунтованих процедур їх передбачення, регулювання, пристосування до цілей організації, до мінливих зовнішніх умов. З другого боку, сама організація має адекватно реагувати на зміни у зовнішньому середовищі.

Сучасним інструментом управління організацією за умов зростання динамічності зовнішнього середовища та пов'язаною з цим невизначеністю є методологія стратегічного управління.

Стратегічне управління можна визначити як діяльність, спрямовану на економічно ефективно досягнення перспективних цілей організації на основі утримання конкурентних переваг та адекватного реагування на зміни у зовнішньому середовищі.

Необхідність застосування стратегічного управління зумовлена такими причинами:

- усвідомленням того, що організація є відкритою системою і що головні джерела її успіху знаходяться у зовнішньому середовищі;
- за умов посилення конкурентної боротьби стратегічна орієнтація діяльності організації є одним із вирішальних факторів її виживання та успішної діяльності. Стратегічне управління дає змогу адекватно реагувати на фактори невизначеності та ризику, що властиві зовнішньому середовищу;
- оскільки майбутній економічний розвиток характеризується значним ступенем невизначеності і традиційні суто екстраполяційні прогнози не спрацьовують, необхідно застосовувати системний, ситуаційний, сценарний підходи для планування діяльності організацій;
- для того, щоб організація у найкращий спосіб реагувала на впливи зовнішнього середовища, її система управління має володіти адаптивними властивостями.

Існують різні наукові підходи до управління — структурний, ситуаційний, процесний, маркетинговий тощо. Але недолік підходів різних шкіл до управління полягає в тому, що кожна з них зосереджує увагу тільки на деякому одному важливому елементі, а не розглядає ефективність управління як результуючу дію, що залежить від багатьох факторів.

Системний підхід до управління передбачає, що керівники мають бачити організацію як сукупність взаємопов'язаних елементів, таких як персонал, матеріали і обладнання, завдання та технології, що орієнтовані на досягнення різних цілей за змінюваних умов у зовнішньому середовищі. Іншою важливою особливістю системного підходу до управління є те, що управлінські рішення тією чи іншою мі-

рою виходять з наявності системного (синергетичного) ефекту, зумовленого наявністю у системи якісно нових властивостей, які відсутні у її складових (емерджентності).

Через ситуаційний підхід реалізується принцип адаптивності, що є надзвичайно важливим для стратегічного управління. Його суть полягає в тому, що внутрішня структура (організаційна структура, система планування, культура організації тощо) є реакцією організації на зміни у зовнішньому та деякі зміни у внутрішньому середовищі.

Так, наприклад, якщо зовнішнє середовище відносно стабільне, то керівництво організації тяжіє до більшої централізації управління, орієнтованого на жорсткий контроль на всіх рівнях ієрархії. Якщо ж зовнішнє середовище нестабільне та в ньому відбуваються постійні зміни, які містять як загрози, так і нові можливості для організації, то керівництво вимушене більше піклуватися про проблеми виживання, що вимагає гнучкості системи управління. Організаційна структура у такому разі має бути децентралізованішою та гнучкою, що дає змогу швидко та адекватно реагувати на можливі зміни.

Стратегічне управління є процесом, що визначає послідовність дій організації з розроблення та реалізації її місії. Він включає постановку цілей, розроблення стратегії, визначення необхідних ресурсів та підтримку взаємовідносин із зовнішнім середовищем, що уможливорює вирішення поставлених завдань та досягнення цілей організації.

Завданням стратегічного управління є забезпечення такої взаємодії організації із середовищем, яка б дала їй змогу підтримувати власний потенціал на рівні, необхідному для досягнення цілей, та уможливила б виживання у довгостроковій перспективі. Стратегічне управління можна розглядати як динамічну сукупність низки взаємопов'язаних управлінських процесів (рис. 17).

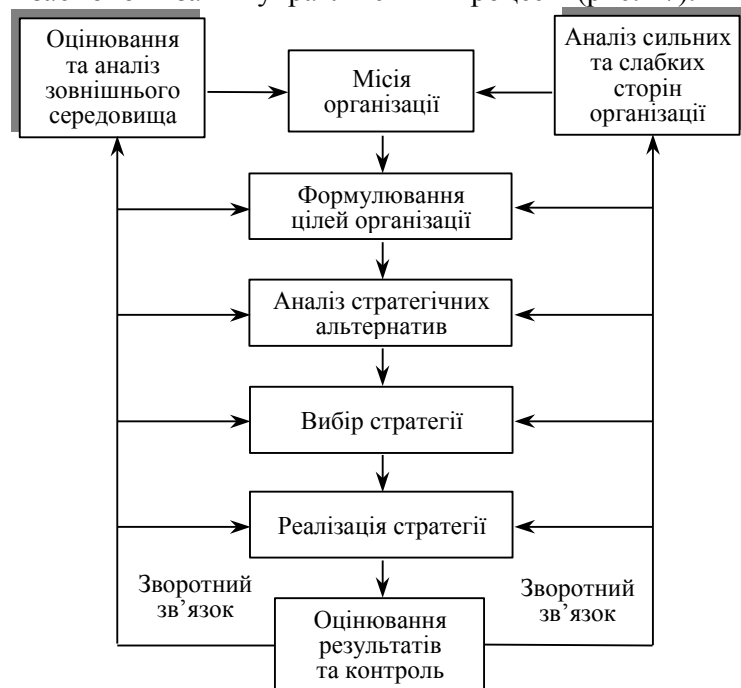


Рис. 17. Схема процесу стратегічного управління

Ці процеси логічно впливають один на одного, але існує і зворотний зв'язок та відповідний зворотний вплив кожного процесу на всю сукупність. У цьому полягає важлива особливість стратегічного управління.

За стратегічного управління значна увага приділяється аналізу перспектив організації, завданням якого є виявлення тих тенденцій, загроз та можливостей, а також надзвичайних ситуацій, що можуть вплинути на існуючі тенденції. Цей аналіз доповнюється аналізом позиції організації у конкурентній боротьбі.

Розрізняють два головні кінцеві результати стратегічного управління. Перший із них — це потенціал організації, який забезпечує досягнення цілей у майбутньому. З боку «входу» цей потенціал складається із ресурсів (сировини, інформації, трудових ресурсів тощо), а з боку «виходу» — з виробленої продукції та послуг, з набору правил соціальної поведінки, дотримання яких сприяє досягненню цілей організації.

Другим кінцевим результатом стратегічного управління є гнучка внутрішня організаційна структура організації, яка має забезпечувати її стійкість у разі змін у зовнішньому середовищі і своєчасно та адекватно реагувати на зміни в економічній кон'юктурі.

Потенціал та структура організації визначаються архітектонікою та якістю персоналу. До архітектоніки організації належать:

- технології, інформаційне забезпечення, виробниче обладнання, його потужність та можливості, споруди;
- рівень організації виробництва;
- структура управління, розподіл функціональних обов'язків та повноважень у прийнятті рішень;
- внутрішні комунікації;
- організаційна культура, норми, цінності, що є засадами організаційної поведінки.

Якість персоналу визначається:

- ставленням до змін;
- професійною кваліфікацією;
- вмінням вирішувати проблеми;
- мотивацією участі у стратегічній діяльності та здатністю долати опір і перешкоди на цьому шляху.

Отже, діяльність із стратегічного управління спрямована на забезпечення стратегічної позиції, що має сприяти довгостроковій життєздатності організації за мінливих умов. У комерційній організації до завдань керівництва належить виявлення недоліків та здійснення в разі необхідності стратегічних змін; створення архітектоніки, що має сприяти цьому.

На відміну від стратегічного оперативне управління має на меті використання існуючої стратегічної позиції організації для досягнення цілей. У комерційній організації керівник, що займається оперативним управлінням, має забезпечити перетворення потенціалу організації у реальний прибуток. Його функції полягають у визначенні загальних оперативних завдань, мотивації, координації та контролі як керівників, так і виконавців у межах організації.

Головні відмінності стратегічного управління від оперативного наведено у табл. 7.

Таблиця 7 - ВІДМІННОСТІ МІЖ СТРАТЕГІЧНИМ ТА ОПЕРАТИВНИМ УПРАВЛІННЯМ

Характеристика	Оперативне управління	Стратегічне управління
Призначення	Виробництво товарів та послуг з метою одержання прибутку від їх реалізації	Виживання організації у довгостроковій перспективі
Об'єкт концентрації уваги	Пошук шляхів ефективного використання ресурсів	Пошук нових можливостей у конкурентній боротьбі, відстеження та прогнозування майбутніх змін у зовнішньому середовищі з метою адаптації до них
Часовий горизонт	Орієнтоване на коротко- та середньострокову перспективу	Орієнтоване на довгострокову перспективу
Критерій ефективності управління	Прибутковість та раціональність використання виробничого потенціалу	Своєчасність та адекватність реакції організації на нові вимоги ринку залежно від зміни зовнішнього середовища

Перевага системного підходу до завдань управління організаціями полягає в органічній єдності процедур аналізу і синтезу (див. розділ 2.4).

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ В УПРАВЛІННІ

6.1. Загальні принципи управління економічними системами

Процеси управління є предметом дослідження кількох наукових напрямків. Так, загальні принципи управління досліджуються в кібернетиці. Проблеми управління технічними системами без участі людини вивчаються в теорії автоматичного управління (ТАУ). Особливості управління в соціально-економічних системах є предметом менеджменту. Але в усіх цих галузях необхідне знання загальних законів функціонування систем, які ґрунтуються на застосуванні системного підходу та досліджуються в межах загальної теорії систем і системного аналізу.

Під **управлінням** розуміють процес формування цілеспрямованої поведінки системи за умов зміни зовнішнього середовища через інформаційний вплив, який здійснюється людиною (групою людей) або приладом.

У системах з управлінням у будь-якому разі можна виділити підсистему управління (СУ) та керувану підсистему, або об'єкт управління (ОУ). Управління ґрунтується на зборі та обробленні інформації, що розглядається як своєрідний ресурс. Тому однією із головних передумов управління є зворотний зв'язок, тобто передання інформації про стан керуваної підсистеми та зовнішнього середовища до системи управління, обмін інформацією між цими системами та зовнішнім середовищем.

Схематично систему з управлінням зображено на рис. 18.

Тут X — інформація про стан зовнішнього середовища (зовнішній вплив на об'єкт управління), X' — інформація про стан зовнішнього середовища, що наявна в СУ, Y — інформація про стан об'єкта управління, Y' — інформація про стан об'єкта управління, що наявна в СУ, u — командна інформація.

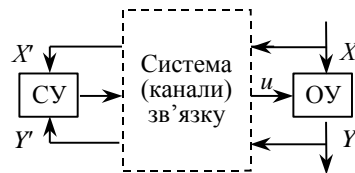


Рис. 18. Загальна схема системи з управлінням

СУ реалізує завдання стабілізації, виконання програми, стеження й оптимізації та забезпечує тим самим або утримання вихідних характеристик та стану системи при зміні зовнішніх впливів у заданих межах, або виконання системою дій щодо зміни її характеристик чи характеристик зовнішнього середовища (перехід на нову траєкторію).

Об'єкт управління в цьому разі виступає як інструмент або засіб, що реалізує основну функцію системи. Система зв'язку забезпечує обмін інформацією між СУ та ОУ.

Завданнями управління в такому разі будуть:

- синтез структури та параметрів ОУ, що відповідає головній цілі системи (закону функціонування);
- синтез структури та параметрів СУ, тобто визначення типу структури управління, кількості рівнів ієрархії та типу зв'язків між ними з урахуванням головної цілі управління системою та обмежень щодо витрат (на розроблення, чисельність управлінського персоналу тощо), визначення масивів інформації, що підлягають передаванню, обробленню та зберіганню;
- синтез параметрів та структури системи зв'язку.

Функції управління. Конкретні функції управління реалізуються через застосування певних методів управління. Залежно від їхнього змісту методи управління економічними системами поділяють на:

- економічні;
- організаційні;
- правові;
- соціальні.

Принципи управління єдині для всіх рівнів ієрархії соціально-економічних систем, але по-різному реалізуються залежно від об'єкта управління та функцій, що виконуються. Серед головних функцій, які виконують при управлінні соціально-економічними системами, виділяють:

- планування (оперативне, тактичне та стратегічне);
- прогнозування;
- організацію;
- аналіз та контроль;
- зв'язок.

Для врахування людського фактору в окрему групу виділяють функції стимулювання та мотивації.

Стратегічне планування. На стадії стратегічного планування розглядають необхідність та можливість зміни структури, властивостей та закон функціонування системи, відбувається вибір головних цілей системи, ви-

значаються бажані кінцеві результати та методи досягнення цілей і результатів. Методи та засоби досягнення поставлених цілей (у тому числі необхідні ресурси, послідовність їх використання) визначаються без деталізації. На цьому етапі визначається образ подальших дій та забезпечуються засади для майбутніх довгострокових рішень.

Тактичне планування полягає у визначенні проміжних цілей на шляху досягнення стратегічних, тобто у визначенні траєкторії системи. При цьому детально визначаються засоби та способи вирішення завдань, застосування ресурсів, необхідні процедури і технології.

При стратегічному плануванні розглядаються питання можливої зміни характеристик усієї системи із зміни її складу, структури або властивостей. Наприклад, для підприємства можливе збільшення виробничих потужностей через будівництво нових цехів, придбання обладнання, зміни спеціалізації або технології тощо. При тактичному плануванні властивості системи вважаються заданими.

Прогнозування має на меті врахування рівня невизначеності стану системи та зовнішнього середовища, можливої зміни структури, властивостей або відшукування закону функціонування системи в майбутньому. Прогноз є науково обґрунтованим судженням щодо стану системи в майбутньому, або щодо альтернативних шляхів та термінів досягнення системою бажаного (цільового) стану.

Організація є функцією управління, що полягає у встановленні постійних та тимчасових взаємовідношень між усіма елементами системи, у визначенні порядку та умов їх функціонування. Це означає об'єднання людей, виробничих, матеріальних, природних, інформаційних ресурсів у єдину систему, спрямовану на розв'язання визначених цілей. Під цим розуміють визначення структури системи, взаємозв'язків між підсистемами, розподіл функцій між підрозділами та надання повноважень.

Аналіз та контроль забезпечують виявлення та з'ясування причин відхилення системи від бажаного стану.

Оперативне управління забезпечує функціонування системи відповідно до розробленого плану. Воно полягає у періодичному зіставленні фактично одержаних результатів з наміченим рівнем відповідних показників у плані та подальшому коригуванні виробничих процесів. Оперативне управління тісно пов'язане з тактичним плануванням у тому разі, коли відхилення стану системи від наміченого плану потребують зміни траєкторії руху системи.

Усі групи методів управління взаємозалежні та застосовуються в комплексі. Отже, процеси управління соціально-економічними системами включають ряд таких аспектів:

- інформаційний (збір та оброблення інформації);
- алгоритмічний та модельний (розроблення системи моделей);
- регулюючий (розроблення форм впливу для узгодження інтересів окремих підсистем та системи в цілому).

Наявність різних аспектів управління, як і функцій системи, зумовлює одночасне формування та функціонування різних ієрархічних структур відповідно до різних ознак поділу множини елементів, що утворюють об'єкт управління. Взаємодія таких структур не зводиться до простого відношення підпорядкування в ієрархії.

Важливим завданням поліпшення управління економічними системами є побудова раціональної системи взаємозв'язків між окремими підсистемами. З одного боку, *збільшення кількості рівнів ієрархії або проміжних ланцюгів у системі управління призводить до зростання витрат на систему управління та знижує її ефективність*. З другого боку, *недостатня кількість рівнів управління призводить до перевантаження управлінських працівників та зниження ефективності їх праці*. Тому вибір раціональної структури управління має забезпечувати максимальну ефективність системи.

6.2. Схема прийняття управлінських рішень

Прийняття рішення є ключовим моментом процесу управління. У широкому розумінні це поняття означає підготовку рішення (планування), а в вузькому — вибір альтернативи. Під *оптимальним* розуміють таке рішення, що в певному сенсі є прийнятнішим, ніж інші.

Модель процесу прийняття рішень можна подати графічно у вигляді блок-схеми, на якій зобразити конкретні дії — процедури, зв'язки між ними та логічні переходи. Ці схеми описують стратегію прийняття рішення в складній системі. Саме з аналізу зв'язаної сукупності головних процедур починають процес вирішення складної проблеми.

Окремі процедури (або операції), як правило, поділяють на формалізовані та неформалізовані. Системний аналіз допускає, що в певних ситуаціях неформалізовані рішення, що приймаються людиною (особою, що приймає рішення, — ОПР) можуть бути прийнятнішими. У системному аналізі розглядаються як формалізовані, так і неформалізовані процедури прийняття рішень і одним із завдань є відшукування їх оптимального співвідношення.

Формалізовані процедури базуються на використанні прикладної математики (зокрема, таких її розділів, як дослідження операцій, математичне програмування, теорія розроблення та прийняття рішень, теорія масового обслуговування, моделі управління запасами, теорія ігор, марківські процеси тощо) та обчислювальної техніки. Іноді математичними методами досліджується зв'язана множина процедур та здійснюється моделювання процесу прийняття рішення.

З позиції системного аналізу можна сформулювати таку послідовність дій, які становлять зміст процесу постановки задачі прийняття рішення:

- визначення меж системи, що підлягає оптимізації;

- визначення головного показника (критерію) ефективності, за яким можна оцінити характеристики відшуканого рішення;
- вибір внутрішньосистемних незалежних змінних, які мають адекватно описувати функціонування системи;
- побудова моделі, що має описувати взаємозв'язки між змінними та відобразити вплив незалежних змінних на рівень показника ефективності.

З погляду системного аналізу процес прийняття рішення (див. табл. 8) можна подати як послідовність виконання відповідного набору його етапів, який у кожному конкретному разі уточнюється.

Таблиця 8
ЗМІСТ ОСНОВНИХ ФАЗ ПРИЙНЯТТЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ РІШЕНЬ

Фаза прийняття рішення	Зміст фази прийняття рішення
1. Збір інформації про можливі проблеми	1.1. Спостереження за внутрішнім середовищем організації 1.2. Спостереження за зовнішнім середовищем організації
2. З'ясування та визначення причин виникнення проблеми	2.1. Описування проблемної ситуації 2.2. Виявлення організаційної ланки, де виникла проблемна ситуація 2.3. Формулювання проблеми 2.4. Оцінювання її важливості 2.5. З'ясування причин виникнення проблеми

Закінчення табл. 8

Фаза прийняття рішення	Зміст фази прийняття рішення
3. Формулювання цілей вирішення проблеми	3.1. Визначення цілей організації 3.2. Формулювання цілей вирішення проблеми
4. Вибір та обґрунтування стратегії вирішення проблеми	4.1. Детальне описування об'єкта 4.2. Визначення розмаху варіації факторів 4.3. Визначення вимог до розв'язку 4.4. Визначення критеріїв ефективності розв'язку 4.5. Визначення обмежень
5. Розроблення варіантів розв'язання проблеми	5.1. Поділ задачі на підзадачі (аналіз) 5.2. Пошук ідей розв'язання кожної підзадачі 5.3. Визначення та знаходження можливих варіантів розв'язання для кожної підзадачі та підсистеми 5.4. Вибір та побудова моделей і проведення розрахунків 5.5. Узагальнення результатів розв'язання кожної підзадачі 5.6. Прогнозування наслідків прийняття відшуканого розв'язку для кожної підзадачі 5.7. Розроблення варіантів розв'язання всієї задачі (проблеми)
6. Вибір кращого варіанта	6.1. Аналіз ефективності варіантів розв'язку 6.2. Оцінювання впливу некерованих параметрів
7. Коригування та узгодження рішення	7.1. Аналіз рішення з виконавцями 7.2. Узгодження рішення з функціонально взаємодіючими службами 7.3. Затвердження рішення
8. Реалізація рішення	8.1. Підготовка робочого плану реалізації 8.2. Реалізація 8.3. Внесення змін у робочий план у ході реалізації рішення

Загальну схему вибору оптимального рішення з чітко визначеною структурою можна подати у такий спосіб (рис. 19):



Рис. 19. Чітко структуроване рішення

За пакетами даних $D_j, j = \overline{1, e}$ можна розрахувати для альтернативних рішень (стратегій) $x_i, i = \overline{1, n}$ прогнозовані результати K_{ij} . Далі з урахуванням ризику вибирається альтернатива X_{opt} , що найкраще відповідає критерію E . Остаточне рішення приймається як із врахуванням розрахунків за моделями, так і на підставі досвіду та інтуїції ОПР.

6.3. Прийняття рішень за детермінованих умов

Розглянемо загальну постановку задачі прийняття рішення. Нехай ОПР має набір стратегій (варіантів рішення), які подані вектором $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, на елементи якого накладено ряд обмежень, що зумовлені фізичним та економічним змістом задачі:

$$g_i = g_i(a_i, x) \quad \{ \leq, =, \geq \} b_i, \\ i = \overline{1, m},$$

де a, b — вектори параметрів.

Тоді ефективність управління характеризується деяким числовим критерієм оптимальності $f(x, c)$, а завдання ОПР полягає у виборі стратегії \tilde{x}_j з множини допустимих стратегій \vec{x} , яка найкраще відповідає цьому критерію.

Очевидно, що загальна постановка однокритеріальної статичної детермінованої задачі прийняття рішення (ЗПР) збігається з загальною постановкою задачі математичного програмування (МП). Тому для розв'язання такого типу ЗПР може бути використаний арсенал методів, розроблений для задач МП (див., наприклад, [6, 39, 47]).

Але на практиці, як правило, необхідно приймати рішення, враховуючи кілька критеріїв, що приводить до задач векторної (багатокритеріальної) оптимізації. Позначимо векторний критерій через $\vec{E} = (e_1, e_2, \dots, e_k)$, де \vec{E} — вектор-функція від стратегій x . Тоді оптимальне рішення має задовольняти співвідношення:

$$\vec{E} = E(\vec{x}) = \text{opt}_{x \in X} \{E(x)\},$$

де opt — оператор оптимальності, X — множина допустимих альтернатив, \vec{x}, \vec{E} — оптимальна стратегія та відповідне оптимальне значення вектора ефективності.

Складність таких задач полягає в тому, що для них не очевидний сам принцип оптимальності, оскільки критерії досить часто можуть бути суперечливими та вимірюватись у різних одиницях і шкалах.

Один із найвідоміших принципів багатокритеріальної оптимізації — це принцип Парето. Парето-оптимальність не потребує виділення однієї найкращої альтернативи (тобто кращої за всіма критеріями). Множина оптимальних, за Парето, стратегій X^* містить стратегії, які більш прийнятні щодо довільної альтернативи з множини X_* , де $X^* \cup X_* = X$. При цьому довільні дві стратегії з множини Парето непорівнянні. Непорівнянними називають стратегії x_i, x_j , якщо стратегія x_i є кращою за однією групою критеріїв, а x_j — за іншою.

Розглянемо найпоширеніші методи розв'язання задач векторної оптимізації.

Найпростішим є **метод головного часткового критерію**, який полягає у тому, що серед усіх критеріїв вибирається головний, а для інших встановлюються мінімально допустимі рівні b_i , після чого задача зводиться до задачі на умовний екстремум головного часткового критерію.

Метод лексикографічної оптимізації застосовується тоді, коли критерії можна проранжувати та впорядкувати за ступенем важливості. Тоді на першому етапі вибирають підмножину стратегій $X_1 \subseteq X$, що мають найкращі оцінки за першим критерієм. На другому кроці обирається підмножина альтернатив $X_2 \subseteq X_1$, що мають кращі оцінки за другим критерієм, і т. д.

У методі послідовних поступок для кожного з проранжованих критеріїв вибирається максимально допустиме відхилення його значення від найкращого. Цей метод відрізняється від попереднього тим, що на кожному кроці будують множину альтернатив з урахуванням допустимого відхилення критерію від найкращого значення («поступки»).

Метод згортки є операцією перетворення векторного критерію в скалярний. Для згортки необхідно у певний спосіб нормалізувати критерії для уможливлення їх зіставності. Для цього, наприклад, можна перейти до абстрактних величин або до величин з однаковими одиницями вимірювання. Потім векторний критерій замінюють скалярним:

$$E(x) = f(e_1(x), e_2(x), \dots, e_k(x)).$$

Як функціональну залежність $f(\cdot)$ найчастіше застосовують такі типи згорток:

$$E(x) = \sum_{i=1}^k \alpha_i e_i(x) \text{ — адитивні;}$$

$$E(x) = \prod_{i=1}^k \alpha_i e_i(x) \text{ — мультиплікативні;}$$

$$E(x) = \left[\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (e_i(x))^p \right]^{\frac{1}{p}} \text{ — агреговані,}$$

де α_i — ваги часткових критеріїв, p — показник компенсації одних рівноцінних критеріїв великими змінами інших.

Недоліки застосування згорток полягають у необхідності визначення та обґрунтування вагових коефіцієнтів для часткових критеріїв та вибору типу згортки.

6.4. Прийняття рішень за умов ризику

ЗПР за умов ризику називають стохастичними. У таких задачах кожній стратегії x_i ставиться у відповідність не один, а кілька можливих наслідків $\{s_j\}$ з відомими умовними ймовірностями їх реалізації. Умови таких задач наочніше можна подати таблично (табл. 9).

Тут P_{ij} , Q_{ij} — ймовірність j -го наслідку за реалізації i -ї стратегії та ефективність рішення у разі настання j -го наслідку за реалізації i -ї стратегії відповідно.

Для прийняття рішень за умов ризику найчастіше використовують методи зведення стохастичних ЗПР до детермінованих, наприклад, метод штучного зведення до детермінованої схеми та метод оптимізації в середньому.

Таблиця 9

СТОХАСТИЧНА ЗАДАЧА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ

Стратегія	Наслідок						Математичне сподівання показника ефективності	
	s_1	s_2	...	s_r				
x_1	P_{11}	Q_{11}	P_{12}	Q_{12}	...	P_{1r}	Q_{1r}	$M(x_1) = \sum_{i=1}^r Q_{1r} P_{1r}$
x_2	P_{21}	Q_{21}	P_{22}	Q_{22}	...	P_{2r}	Q_{2r}	$M(x_2) = \sum_{i=1}^r Q_{2r} P_{2r}$
...
x_n	P_{n1}	Q_{n1}	P_{n2}	Q_{n2}	...	P_{nr}	Q_{nr}	$M(x_n) = \sum_{i=1}^r Q_{nr} P_{nr}$

Сутність методу штучного зведення до детермінованої схеми полягає у тому, що всі випадкові фактори наближено замінюють деякими не випадковими характеристиками, як правило, їх математичними сподіваннями. У результаті стохастична ЗПР замінюється детермінованою.

Сутність методу оптимізації в середньому полягає в переході від випадкового показника ефективності Q до деякої статистичної характеристики. Загалом Q залежить від вектора стратегій (варіантів) x , масиву детермінованих факторів A , певних реалізацій y_1, y_2, \dots, y_t випадкових факторів Y_1, Y_2, \dots, Y_t :

$$Q = Q(x, A, y_1, y_2, \dots, y_t),$$

тоді математичне сподівання $M[Q]$:

$$F = M[Q] = \int \int \dots \int (A, x, y_1, y_2, \dots, y_t) f(y_1, y_2, \dots, y_t) dy_1 dy_2 \dots dy_t = \\ = F(x, A, B),$$

де B — масив відомих статистичних характеристик випадкових величин Y_1, Y_2, \dots, Y_t ; $f(y_1, y_2, \dots, y_t)$ — закон розподілу випадкових величин Y_1, Y_2, \dots, Y_t .

При оптимізації в середньому за цим критерієм вибирається оптимальна стратегія з множини допустимих стратегій $\bar{x} \in X$, що максимізує величину математичного сподівання $F = M[Q]$ показника ефективності. Оптимальна стратегія має задовольняти умову:

$$\bar{F} = F(x, A, B) = \max_{x \in X} F(x, A, B) = \max_{x \in X} M[Q(A, x, y_1, y_2, \dots, y_t)].$$

У такому разі оптимальна стратегія при багаторазовому прийнятті рішення дасть у середньому кращий результат.

У дискретному випадку математичне сподівання показника ефективності буде мати вигляд:

$$F_i = M[x_i] = \sum_{j=1}^r Q_j P_j, i = \overline{1, n}.$$

Тоді як оптимальна за методом оптимізації в середньому буде обрана стратегія, для якої:

$$\bar{F} = F(\bar{x}) = \max_{1 \leq i \leq n} \left[\sum_{j=1}^r Q_j P_j \right],$$

тобто стратегія, якій відповідає максимальне значення у крайньому правому стовпці таблиці.

За оптимізації в середньому можливі три випадки стосовно критерію оптимальності:

- критерій може бути одержаний в аналітичному вигляді (якщо інтеграл береться в аналітичному вигляді);
- критерій оптимальності одержано в алгоритмічному вигляді, тобто одержано алгоритм, що уможливило за певних значень невідомих аргументів x, A, B одержання чисельного значення критерію оптимальності F ;
- одержання критерію оптимальності неможливе ні в аналітичній, ні в алгоритмічній формі. У цьому разі застосовують метод статистичних випробувань Монте-Карло для одержання необхідних математичних характеристик, зокрема, математичного сподівання критерію оптимальності.

Отже, при розв'язанні стохастичних ЗПР виникають дві проблеми: проблема вибору схеми переходу від стохастичної задачі до детермінованої і проблема, що пов'язана з вибором методу розв'язання та обчислювальної схеми процесу прийняття рішення відповідної детермінованої ЗПР.

6.5. Прийняття рішень за умов невизначеності

Задача прийняття рішення (ЗПР) за умов невизначеності полягає у виборі оптимальної стратегії, успіх реалізації якої залежить також від деяких невизначених факторів, що не підвласні ОПР та невідомі в момент прийняття рішення. Розрізняють невизначеності не стохастичної та стохастичної природи.

Так, невизначеності не стохастичної природи можуть спричинитися дією таких факторів:

Стратегічні невизначеності — зумовлені протидією кількох активних учасників, що мають різні цілі (наприклад, діями конкурентів). Тут невизначеність зумовлена тим, що ОПР приймає рішення за умов, коли невідомі майбутні дії або стратегії інших учасників (у термінах теорії ігор — гравців).

Концептуальні невизначеності — невизначені фактори, що зумовлені прийняттям особливо складних рішень, рішень, що мають довгострокові наслідки або можуть бути пов'язані з нечітким усвідомленням ОПР як власних цілей та можливостей, так і інших гравців. Окрім цього, концептуальні невизначеності можуть бути пов'язані із затрудненнями кількісної оцінки складних цілей та якісних критеріїв, що важко формалізуються.

ЗПР з невизначеністю не стохастичного типу розв'язують методами теорії ігор та теорії мінімаксу (див., наприклад, [2, 23, 25, 41]).

Невизначеності стохастичного типу зумовлені об'єктивною дійсністю, яку називають природою. Природа розглядається як незацікавлена сторона. У такому разі ЗПР розв'язуються за допомогою теорії статистичних рішень.

Розглянемо постановку ЗПР за умов невизначеності стохастичного типу. Нехай ОПР може реалізувати одну з m можливих стратегій: x_1, x_2, \dots, x_m . Прийняття рішення відбувається за умов недостатньо відомої нам ситуації стосовно стану природи (зовнішнього середовища), але щодо стану якої ми можемо зробити n допущень $\Pi_i, i = \overline{1, n}$, які можна розглядати як стратегії природи. Наш «виграш» (ефект від прийнятого рішення) a_{ij} для кожної пари стратегій вважається відомим і заданий у вигляді матриці $A = [a_{ij}]$.

Окрім матриці виграшів, можна володіти апріорною інформацією щодо ймовірностей можливих станів природи, заданою вектором $Q = (q_j), j = \overline{1, n}$, де q_j — ймовірність стану Π_i . Завдання полягає у

виборі оптимальної стратегії. У теорії статистичних рішень пропонується кілька критеріїв вибору оптимального рішення.

Критерій середнього виграшу. Якщо ймовірності стосовно стану природи відомі, то можна скористатися критерієм середнього виграшу або баєсівською стратегією. Згідно з цим критерієм, що базується на оптимізації в середньому, ОПР як оптимальну вибирає ту стратегію, яка максимізує середній виграш, тобто:

$$a_{\text{ср}} = \max_i \left[\sum_{j=1}^n a_{ij} q_j \right].$$

Критерій Лапласа. Якщо ми не володіємо апріорною інформацією щодо ймовірностей можливих станів природи, то можна вважати їх однаково ймовірними. Тоді вибираємо стратегію, що забезпечить нам виграш:

$$a_{\text{ср}} = \max_i \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} \right].$$

Критерій Вальда. Згідно з цим критерієм ОПР вибирає стратегію \bar{x} , за якої мінімальний виграш вважається максимальним. Ця стратегія гарантує певний виграш за найгірших умов:

$$W = \max_i \min_j a_{ij}.$$

Критерій Севіджа. Згідно з цим критерієм обирають стратегію, що мінімізує втрати за найгірших умов:

$$S = \min_i \max_j r_{ij},$$

де r_{ij} — ризик при застосуванні стратегії x_i за умов Π_j , тобто різниця між максимальним виграшем, який ОПР могла б одержати, якби достовірно знала, що буде мати місце стан Π_j , та виграшем при застосуванні стратегії x_i за умов Π_j .

Критерій Гурвіца. Цей критерій передбачає при виборі рішення за умов невизначеності не розраховувати на найгірший чи найкращий варіант, а рекомендує розраховувати на деяку проміжну ситуацію, зважуючи найгірші та найкращі умови. Згідно з цим критерієм одержимо виграш:

$$H = \max_i \left[\alpha \min_j a_{ij} + (1 - \alpha) \max_j a_{ij} \right],$$

де α — деякий коефіцієнт ($0 \leq \alpha \leq 1$), який можна інтерпретувати як ступінь схильності до ризику ОПР.

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

7.1. Загальна характеристика інформаційного забезпечення системних досліджень в економіці

Перед тим як розглянути питання інформаційного забезпечення системного аналізу діяльності підприємства, нагадаємо головні аспекти системного підходу, за якого підприємство розглядається як єдина система. При цьому виділяють складові, підсистеми підприємства та відстежують зв'язки між ними. Будь-яке, навіть найменше підприємство, є досить складною системою, утвореною з множини елементів, поєднаних різноманітними зв'язками. Частина підприємства переважно також досить складні і можуть розглядатися як окремі системи або як його підсистеми.

Загалом можна виділити такі великі підсистеми підприємства:

- підсистема стратегічного управління;
- виробнича підсистема;
- підсистема управління виробництвом;
- підсистема управління фінансами;
- підсистема реалізації продукції;
- підсистема організації складського зберігання тощо.

Очевидно, що дослідження таких складних об'єктів пов'язане з необхідністю опрацювання значного обсягу інформації. Ця інформація потребує узагальнення та аналізу. Виявлена інформація, як правило, не структурована та потребує формалізації.

Нині існує дуже велика кількість різних інформаційних технологій, спрямованих на полегшення економічної діяльності людини. Причому наявні системи поділяються на певні типи, головню, за безпосереднім призначенням та підходами, що використовуються в них. Розглянемо головні їх типи.

— *АСУ* — автоматизовані системи управління. Вони мають широкий спектр застосування: від автоматизації базових функцій підприємства до автоматизації прийняття управлінських рішень.

— *MIS* (management information system) — управлінські інформаційні системи (УІС), що призначені для збору та оброблення даних, які потім надаються менеджеру для забезпечення процесу оперативного управління.

— *СППР* — системи підтримки прийняття рішень, які призначені робити обґрунтований вибір з певного переліку альтернатив.

— *ЕС* — експертні системи. Їх призначення — замінити експерта в певній галузі.

— *UML* (Unified modeling language) — уніфікована мова моделювання. Ця мова призначена для визначення, зображення, проектування та документування програмних систем, бізнес-систем та інших систем різного виду.

— *CASE* — комп'ютерне проектування ІС. Ця інформаційна технологія призначена для розроблення складних ІС у цілому.

— *SADT* — техніка структурного моделювання. Вона призначена для побудови функціональної моделі об'єкта певної предметної галузі.

— Пакети для статистичного та математичного аналізу даних.

— *Інтелектуальний аналіз даних* (Data Mining).

Усі перелічені вище типи інформаційних технологій мають багато спільного, але дечим і різняться. Тому досить часто для повноцінного системного аналізу використовують кілька підходів з метою доповнення ними один одного.

Розглянемо ці технології детальніше.

7.2. Інформаційні системи в управлінні

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Нині існує багато прикладних програм, призначених полегшувати аналіз функціонування підприємства, здійснювати моніторинг його діяльності, розробляти стратегічні та тактичні рішення щодо подальшої діяльності підприємства. Такі програми одержали назву АСУ (автоматизовані системи управління). Оскільки інформаційні системи розвиваються та змінюються дуже швидко, то ми в межах даного посібника не будемо детально описувати всі існуючі системи та не робитимемо їх порівняльного аналізу. Розглянемо лише деякі особливості та тенденції розвитку АСУ.

Спочатку зупинимося на загальноприйнятій термінології. Одним з найпопулярніших термінів є ERP (Enterprise Resource Planning), який запровадила компанія Gartner Group ще на початку 90-х років ХХ століття. Але, незважаючи на досить довгу історію, чіткого визначення цього терміна не існує й донині. Фактично ERP — це концепція розвитку АСУ, яка за час свого існування постійно розвивається та змінюється. Усі АСУ, особливо орієнтовані на ринок середніх та великих підприємств, так чи інакше розвивались під впливом цієї концепції. На момент її виникнення мова йшла, передусім, про об'єднання розрізнених даних у межах підприємства. З часом під впливом таких факторів, як розвиток бізнес-середовища, зростання потреб організацій у взаємодії з контрагентами, «розвінчання» міфу про те, що ERP можна купити в одного виробника, відбулося переосмислення цього поняття. Як наслідок, одночасно з'явилися два терміни, що були запропоновані різними дослідницькими групами.

Gartner Group ввела аббревіатуру ERP (Enterprise Resource & Relationship Planning), а AMR Research — ECM (Enterprise Commerce Management).

До головних галузей та напрямків діяльності підприємства, що охоплюються АСУ, належать:

- облік запасів;
- розрахунки з постачальниками та покупцями;
- головна книга; розрахунок заробітної плати;
- облік основних фондів;
- облік витрат на роботи та проекти;
- реєстрація продажів;
- персонал;
- сервісне обслуговування клієнтів;
- транспортні операції;
- постачання(закупівлі), проекти, збут;
- технічне обслуговування обладнання;
- виробництво продукції;
- фінанси;
- науково-дослідна та дослідно-конструкторська роботи (НДДКР);
- маркетинг;
- складське зберігання.

Усі АСУ можна поділити на три групи: **група А** характеризується повним або частковим забезпеченням головних функціональних галузей діяльності підприємства та обмеженими можливостями щодо однієї чи кількох спеціалізованих галузей; **група В** забезпечує повне охоплення головних функціональних галузей, глибоке — деяких спеціалізованих галузей та часткове — інших; системи **групи С** повністю охоплюють більшість функціональних галузей діяльності підприємства, пропонується широкий перелік спеціалізованих рішень як для різноманітних видів діяльності, так і для різних сфер управління (стратегічне планування, управління спеціальними видами активів тощо).

Нині на українському ринку працюють понад 70 компаній, які пропонують АСУ різного рівня функціонального забезпечення.

Очевидно, що жоден з виробників не в змозі самостійно реалізувати абсолютно всі можливості в межах одного програмного продукту. Тому більшість розробників ідуть шляхом інтеграції з іншими компаніями з метою розроблення спеціалізованих систем. Ще одним шляхом розвитку АСУ є удосконалення методик, що стосуються стратегічного управління, через активне доповнення сучасних управлінських методик та концепцій.

Останнім часом зростає потреба в спрощенні взаємодії з зовнішніми контрагентами, тому більшість зарубіжних АСУ здійснюють обмін даними в стандартних форматах EDI (Electronic Data Interchange) та XML. Варто зауважити, що є також і вітчизняні розробки, які підтримують XML. Що стосується EDI, то його реалізація за наших умов потребує значної роботи із стандартизації на державному рівні. Дуже помітна орієнтація АСУ на Internet, що виражається не лише у доступі до функцій АСУ через браузер, а навіть і в назвах останніх версій деяких АСУ (наприклад, iBAAN, mySAP.com тощо). Орієнтація на Internet досить сильно проявляється також і у вітчизняних розробках.

ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В ПРОЦЕСАХ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Прийняття рішення є особливим видом діяльності, що полягає у формуванні варіантів рішення (альтернатив) з подальшим оцінюванням їх відносної ефективності та розподілом згідно з цим ресурсів між варіантами (див. розд. 6). Простішими типами рішень є прийняття або відхилення альтернативи, вибір найкращої альтернативи, ранжування альтернатив.

Для прийняття обґрунтованого рішення потрібно враховувати багато (десятки чи сотні) факторів, які складно взаємодіють між собою. У той же час людина ефективно може синхронно оперувати не більш ніж 7—9 об'єктами. Для подолання такої суперечності існують спеціальні інформаційні системи.

Серед багатьох типів ІС, що застосовуються для прийняття рішень, слід виділити два головні:

- управлінські УІС (MIS — management information system);
- системи підтримки прийняття рішень СППР (DSS — decision support system).

Головні компоненти УІС — база даних, комп'ютерна система та форма, в якій розподіляються дані. У базі даних може формуватися, наприклад, інформація про ціни, вихід продукції, наявність ресурсів, кадровий потенціал тощо. Комп'ютерна система в УІС обробляє інформацію для різних підрозділів організації. Ця інформація є базою для прийняття управлінських рішень, або для формування моделей прийняття рішень.

СППР відрізняються від УІС тим, що менеджер є внутрішнім компонентом СППР, а не зовнішнім, як в УІС. Тобто менеджер взаємодіє з ІС та одержує рішення в ітеративному процесі. СППР часто інтегрує економіко-математичні моделі як первинні елементи, з якими СППР взаємодіє (табл. 11).

Таблиця 11

ВІДМІННОСТІ МІЖ УІС ТА СППР

УІС	СППР
Акцент робиться на структуризації	Акцент робиться на рішенні. Структу-

задач при попередньо визначених стандартних процедурах, методах їх розв'язання та інформаційних потоках	ра ІС та аналітична допомога є важливими, але допоміжними засобами за прийняття остаточного рішення, оцінки менеджера є суттєвішими
Виграш полягає у зниженні витрат, необхідного часу, кількості обслуговуючого персоналу тощо	Виграш полягає у розширенні діапазону та можливостей комп'ютеризації процесів прийняття рішень з метою допомогти менеджеру збільшити ефективність його діяльності
Вплив на прийняття рішень менеджером непрямої, оскільки забезпечується доступ до необхідних даних	Вплив на менеджера полягає в створенні необхідного інструментарію під його безпосереднім контролем, що не автоматизує процес прийняття рішення, але впливає на цей процес

За функціональними можливостями та галузями використання можна виділити СППР трьох типів.

СППР першого типу — системи індивідуального користування, бази знань яких формуються безпосередньо користувачем. У них використовуються багатокритеріальне оцінювання альтернатив.

СППР другого типу — системи індивідуального користування, бази знань яких адаптуються до досвіду користувача. Вони призначені для підтримки прийняття рішень у ситуаціях, які часто зустрічаються (вибір суб'єкта кредитування, вибір виконавця роботи, призначення на посаду тощо). Такі системи також використовують оцінювання альтернатив за кількома критеріями та забезпечують підтримку прийняття рішення в наявній ситуації на підставі результатів практичного використання ресурсів, які були отримані в минулому.

СППР третього типу використовують навіть тоді, коли СППР перших двох типів неможливо застосувати через відсутність єдиних критеріїв для оцінювання кожної альтернативи. Вони мають найбільші функціональні можливості, призначені для використання в органах державного управління найвищого рівня (Адміністрації Президента, Верховній Раді, Кабінеті Міністрів, міністерствах, обласних держадміністраціях) та в великих бізнес-структурах.

Схема загальної структури СППР зображена на рис. 20.

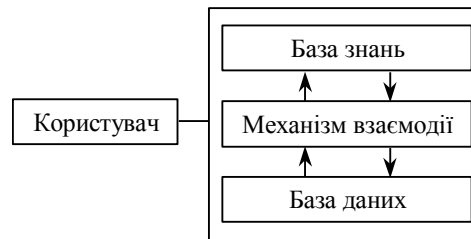


Рис. 20. Загальна структура СППР

На схемі (рис. 21) наведено інформаційні потоки між менеджером та комп'ютерною системою DSS, яку називають ще аналізом, «що відбудеться, якщо...?». ІС генерує результати на економіко-математичній моделі (імітаційній моделі), а менеджер в ітеративному режимі може з'ясувати, що відбудеться, якщо змінити деякі вхідні параметри, наприклад цілі, витрати, їх структуру. Менеджер також може змодельовати можливі рішення та оцінити потенційні наслідки їх прийняття.

Додатковим аспектом СППР є взаємодія між її складовими. Так, наприклад, рішення щодо управління запасами впливають не тільки на виробництво, а й на маркетинг, розподіл продукції, витрати. Потоки інформації забезпечують розроблення інтегративного, системного рішення.

Прийняття рішення не означає закінчення операцій з СППР. Прийняті рішення та їх наслідки у вигляді зворотних зв'язків накопичуються в базі даних. Отже, СППР є динамічною системою з неперервним оновленням даних.

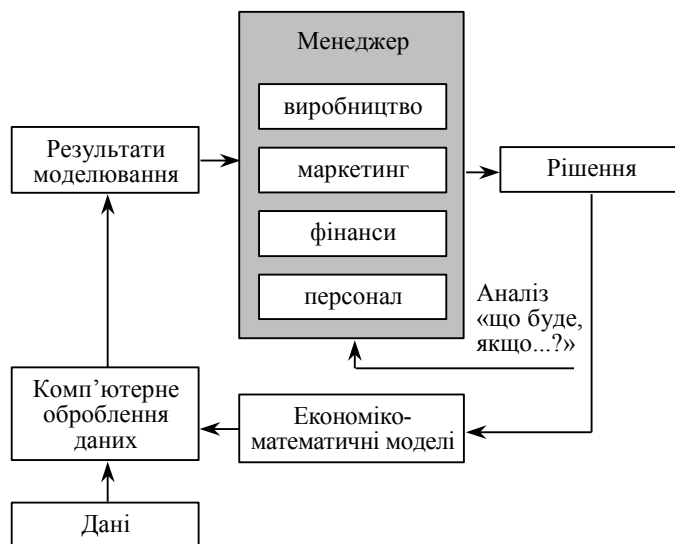


Рис. 21. Інформаційні потоки між менеджером та комп'ютерною системою DSS

ЕКСПЕРТНІ СИСТЕМИ

На початку 80-х років у дослідженнях штучного інтелекту сформувався самостійний напрямок, що дістав назву «експертні системи» (ЕС) [27, 33, 48]. Мета досліджень з ЕС полягає, головню, в розробленні програм, за допомогою яких при розв'язанні задач, які виникають у слабо структурованій і такій, що важко формалізується, предметній галузі та є складними для експерта-людини, отримують результати за якістю та ефективністю не гірші, ніж рішення, що генеруються експертом. Дослідники в галузі ЕС для назви своєї дисципліни також часто використовують термін «інженерія знань», що був введений Е. Фейгенбаумом як «привнесення принципів та інструментарію досліджень проблем, що потребують знань експертів». Надалі терміни «експертні системи» та «інженерія знань» використовуватимемо як синоніми.

Як видно із вищезазначеного, поняття ЕС може бути тісно пов'язане з поняттям СППР. Тобто СППР як одну з методик формування та оцінювання рішень може використовувати методику експертних систем, беручи також до уваги те, що більшість підсистем цих двох програм мають можливість інтегрування. З другого боку, ЕС можна розглядати як подальший розвиток традиційних СППР.

Програмні засоби (ПЗ), що ґрунтуються на технології експертних систем, набули значного поширення у світі. Важливість ЕС полягає в такому:

- технологія експертних систем істотно розширює коло практично важливих задач, що можна розв'язати за допомогою комп'ютера та розв'язок яких може принести значний економічний ефект;
- технологія ЕС є надзвичайно важливим засобом розв'язання глобальних проблем традиційного програмування: тривалості і, як наслідок, високої вартості розроблення складних прикладних систем;
- висока вартість супроводження складних інформаційних систем, яка часто в кілька разів перевищує вартість їх розроблення, низький рівень повторного використання програм тощо;
- об'єднання технологій ЕС з технологією традиційного програмування додає нових якостей програмним продуктам через: забезпечення динамічного модифікування додатків користувачем, а не програмістом; більшу «прозорість» додатків (наприклад, знання зберігаються обмеженою економічною мовою, що не потребує коментарів до знань, полегшує навчання та супровід); кращу графіку; інтерфейс та взаємодію.

Експертні системи та системи штучного інтелекту відрізняються від систем оброблення даних тим, що в них використовується символний (а не числовий) спосіб подання інформації, символне виведення та евристичний пошук рішення (а не пошук за відомим алгоритмом).

ЕС застосовують для вирішення складних практичних завдань. За якістю та ефективністю рішення експертних систем не поступаються рішенням експерта-людини. Рішення експертних систем є «прозорими», тобто їх можна пояснити користувачу на якісному рівні. Ця властивість ЕС забезпечується їх здатністю аналізувати свої знання. Експертні системи здатні поповнювати свої знання в ході взаємодії з експертом. Необхідно зауважити, що технологія ЕС нині використовується для розв'язання різних типів завдань (інтерпретації, прогнозування, діагностики, планування, конструювання, контролю, налашки, інструктажу, управління) в різноманітних проблемних галузях, таких як фінанси, нафтова, газова та хімічна промисловість, гірнична справа, освіта, телекомунікації та зв'язок тощо.

Розглянемо структуру експертних систем. Типова статична ЕС складається з таких основних компонентів:

- розв'язувача (інтерпретатора);
- робочої пам'яті (РП), яку інколи називають базою даних (БД);
- бази знань (БЗ);
- компонент поповнення знань;
- пояснювальний компонент;

— діалогового компонента.

База даних (робоча пам'ять) призначена для вхідних та проміжних даних задачі, що розв'язується в поточний момент. Цей термін збігається за назвою, але дещо розбігається за значенням із терміном, що використовується в інформаційно-пошукових системах (ІПС) та в системах управління базами даних (СУБД) для позначення всіх даних (в тому числі довготермінових), що зберігаються в системі.

База знань в ЕС призначена для зберігання довгострокових (а не поточних) даних, що описують галузь, яка розглядається, та правил, що описують можливі перетворення її даних.

Розв'язувач, використовуючи вхідні дані із робочої пам'яті та знання із БЗ, формує таку послідовність правил, які при застосуванні до вхідних даних ведуть до розв'язання задачі.

Компонент поповнення знань автоматизує процес поповнення ЕС знаннями, що здійснюється користувачем-експертом.

Пояснювальний компонент розкриває, як система отримала розв'язок задачі (або чому його не отримала) та які знання вона при цьому використала, що полегшує експерту тестування системи та підвищує довіру до отриманого результату.

Діалоговий компонент орієнтований на організацію дружнього спілкування з користувачем як під час розв'язання задач, так і в процесі набуття знань та пояснення результатів роботи.

У структуру динамічної ЕС додатково вводяться два компоненти:

— підсистема моделювання зовнішнього світу;

— підсистема зв'язків із навколишнім середовищем.

Остання здійснює зв'язок із зовнішнім середовищем через систему датчиків та контролерів. Крім того, традиційні компоненти статичної ЕС можна суттєво змінювати, щоб відображати часову логіку подій, які відбуваються в реальному світі.

У розробленні ЕС беруть участь представники таких спеціальностей:

— експерт у проблемній галузі, завдання якої буде розв'язувати ЕС;

— інженер із знань — спеціаліст із розроблення ЕС (методи та технології, що він використовує, називають методами та технологіями інженерії знань);

— програміст із розроблення інструментальних засобів (ІЗ), призначених для прискорення розроблення ЕС.

Необхідно зауважити, що відсутність будь-кого із зазначених учасників (наприклад, заміна інженера із знань програмістами) або призводить до невдачі у процесі створення ЕС, або значно подовжує його.

Експерт визначає знання (дані та правила), що характеризують проблемну галузь, забезпечує повноту та правильність введених в ЕС знань.

Інженер із знань допомагає експерту виявити та структурувати знання, необхідні для функціонування ЕС, здійснює вибір того ІЗ, який найнеобхідніший для роботи ЕС; здійснює вибір того ІЗ, який найбільш підходить для даної проблемної галузі, та визначає спосіб подання даних у цьому ІЗ; виділяє та програмує (традиційними засобами) стандартні функції (типові для даної проблемної галузі), які будуть використовуватись у правилах, що виводяться експертом.

Програміст розробляє ІЗ (якщо ІЗ розробляється спочатку), що містить в ідеалі всі основні компоненти ЕС, та здійснює його інтеграцію із середовищем, в якому воно буде використовуватись.

Також у процесі розроблення ЕС можуть бути задіяні за необхідності й інші учасники. Наприклад, інженер із знань може запросити інших експертів, щоб переконатись у правильності свого розуміння головного експерта, репрезентативності тестів, що демонструють особливості задачі, яка розглядається, у єдності поглядів різних експертів на якість рішень, що пропонуються. Крім того, для складних систем вважається доцільним залучати до головного циклу розроблення кількох експертів. Однак у цьому разі, як правило, необхідно, щоб один із експертів відповідав за несуперечливість знань, що повідомляються колективом експертів.

Нині застосовується певна технологія розроблення ЕС, яка складається з таких шести етапів: ідентифікації, концептуалізації, формалізації, виконання, тестування та дослідної експлуатації.

Етап ідентифікації пов'язаний передусім із осмисленням тих задач, які потрібно розв'язувати майбутній ЕС, та формуванням вимог до неї. Результатом даного етапу має бути відповідь на запитання: «Що треба робити та які ресурси необхідно задіяти?» Для цього необхідно ідентифікувати задачу, визначити учасників процесу проектування та їх ролі, виявити ресурси та цілі.

Ідентифікація задачі полягає в складанні неформального (вербального) опису, в якому мають міститися: загальні характеристики задачі; підзадачі, які виділяються в даній задачі; ключові поняття (об'єкти), їх вхідні (вихідні) дані; ймовірний вид рішення, а також знання, що відносяться до задачі, яка розв'язується.

На *етапі концептуалізації* проводиться змістовний аналіз проблемної галузі, виявляються поняття, що використовуються, та їх взаємозв'язки, визначаються методи розв'язання задач. Цей етап закінчується створенням моделі проблемної галузі (ПГ), що містить головні концепти та відношення.

На *етапі формалізації* всі ключові поняття та відношення виражаються деякою формальною мовою, яка або вибирається із уже існуючих, або створюється спочатку. Інакше кажучи, на даному етапі визначаються склад засобів та способи подання декларативних та процедурних знань. Здійснюється це подання і в підсумку формується описання рішення задачі ЕС на запропонованій інженером із знань формальній мові.

Мета етапу виконання — створення одного або кількох прототипів ЕС, що розв'язують поставлені задачі. Потім, на даному етапі за результатами тестування та дослідної експлуатації створюється кін-

цевий продукт, придатний для промислового використання. Розроблення прототипу полягає в програмуванні його компонентів або виборі вже відомих інструментальних засобів та наповненні бази знань.

У процесі *етапу тестування* проводиться оцінювання способу представлення знань в ЕС у цілому. Для цього інженер із знань підбирає приклади, що забезпечують перевірку всіх можливостей розробленої ЕС.

На етапі *дослідної експлуатації* перевіряється придатність ЕС для кінцевого користувача. Придатність ЕС для користувача визначається переважно зручністю роботи з нею та її корисністю.

Під час розроблення ЕС завжди здійснюється її модифікація. Виокремлюють такі види модифікації системи: переформулювання понять та вимог, переконструювання подання знань у системі та удосконалення прототипів.

Використовувати ЕС варто лише тоді, коли її розробка можлива, виправдана та методи інженерії знань відповідають задачі.

Розглянемо промислові програмні комплекси, що реалізують технологію ЕС. З погляду експертів NASA, що проводили комплексне дослідження характеристик та можливостей деяких із перерахованих систем, нині найкращою є G2 (Gensym, США); наступні місця із суттєвим відставанням (реалізовано менше 50 % можливостей G2) займають RTWorks — фірма Talarian (США), COMDALE/C (Comdale Techn. — Канада), COGSYS (SC — США), ILOG Rules (ILOG — Франція).

7.3. Методи комп'ютерного моделювання та проектування складних систем

Як зазначалось у попередніх підрозділах, розроблення та використання СППР та ЕС безпосередньо пов'язані з моделюванням у тих проблемних галузях, для яких створюються відповідні інформаційні системи. Крім того, моделювання є основним етапом системного аналізу. Тому, звичайно, існують сучасні інформаційні технології, які забезпечують автоматизацію цього процесу.

Традиційно під моделюванням на ЕОМ розумілося лише імітаційне моделювання. Але в останні роки завдяки розвитку графічного інтерфейсу і графічних пакетів широкий розвиток отримало комп'ютерне, структурно-функціональне моделювання та було покладено початок використанню комп'ютера при концептуальному моделюванні, де він використовується, наприклад, для побудови систем штучного інтелекту. Отже, поняття «комп'ютерне моделювання» значно ширше за традиційне поняття «моделювання на ЕОМ».

Під *комп'ютерною моделлю* найчастіше розуміють:

- умовний образ об'єкта чи деякої системи об'єктів (або процесів), описаних за допомогою взаємозалежних комп'ютерних таблиць, блок-схем, діаграм, графіків, малюнків, анімаційних фрагментів, гіпертекстів тощо, які відображують структуру та взаємозв'язки між елементами об'єкта чи системи. Комп'ютерні моделі такого типу називають структурно-функціональними;

- окрему програму, сукупність програм, програмний комплекс, що дає змогу через певну послідовність обчислень та графічне відображення їх результатів, відтворювати (імітувати) процеси функціонування об'єкта чи системи об'єктів за умови впливу на них різних, як правило випадкових, факторів. Такі моделі називають імітаційними моделями.

Комп'ютерне моделювання — це метод розв'язання завдання аналізу або синтезу складної системи на засадах використання його комп'ютерної моделі. Суть комп'ютерного моделювання полягає в знаходженні кількісних і якісних результатів за допомогою наявної моделі. Якісні висновки, які отримують за результатами аналізу, дають змогу знайти невідомі раніше характеристики складної системи: її структуру, динаміку розвитку, стійкість, цілісність тощо. Кількісні висновки, головню, мають характер прогнозу майбутніх чи пояснення минулих значень змінних, що характеризують систему.

Предметом комп'ютерного моделювання можуть бути: економічна діяльність фірми, банку, виробничого підприємства; інформаційно-обчислювальна мережа; технологічний процес; будь-який інший реальний об'єкт чи процес, наприклад процес інфляції, і загалом, будь-яка складна система. Цілі комп'ютерного моделювання можуть бути різними, однак найчастіше моделювання є, як уже зазначалося раніше, головним етапом (процедурою) системного аналізу, тобто сукупності методологічних засобів, що використовуються для підготовки та прийняття рішень економічного, організаційного, соціального чи технічного характеру.

Комп'ютерна модель складної системи має за можливості відображати всі головні фактори і взаємозв'язки, що характеризують реальні ситуації, критерії та обмеження. Модель має бути досить універсальною, щоб за можливості була спроможною описувати близькі за призначенням об'єкти, і водночас досить простою, щоб уможливлувати виконання необхідних досліджень з мінімальними витратами.

Усе це підтверджує той факт, що моделювання систем, розглянуте загалом, є скоріш мистецтвом, ніж наукою, із самостійним набором засобів відображення явищ і процесів реального світу. Тому досить складно навести єдину, узагальнену класифікацію завдань комп'ютерного моделювання та створити достатньо універсальні його інструментальні засоби для об'єктів довільної природи. Однак, якщо звузити коло розглянутих об'єктів, обмеживши його, наприклад, завданнями комп'ютерного моделювання за системного аналізу об'єктів економіко-організаційного керування, то можна підібрати ряд досить універсальних підходів і програмних засобів.

Існує велике різноманіття засобів комп'ютерного моделювання, особливо структурно-функціонального, які з'являються мало не щодня. Однією із спроб подолати розбіжності між такими засобами є уніфікована мова моделювання.

Уніфікована мова моделювання (Unified modeling language, UML) є графічною мовою для візуалізації, специфікації, конструювання та документування систем, в яких більша роль належить програмному забезпеченню. За допомогою UML можна розробити детальний план системи, що відображує не тільки її концептуальні елементи, такі як системні функції та бізнес-процеси, а й конкретні особливості реалізації, в тому числі типи, написані спеціальними мовами програмування. Можна розробити також схеми баз даних та програмні компоненти багаторазового використання.

1996 року група управління об'єктами (Object Management Group, OMG) звернулась до об'єктно орієнтованої спільноти з пропозицією створити стандартний синтаксис для об'єктно орієнтованого аналізу та відповідну семантичну метамодель. Перша версія UML (UML 1.0) з'явилась у січні 1997 р. як відповідь на цю пропозицію. Після її обговорення та дороблення в листопаді 1997 р. версія UML 1.1 була успішно затверджена та прийнята до використання практично всіма найбільшими компаніями — виробниками програмного забезпечення (Microsoft, IBM, Hewlett-Packard, Oracle, Sybase та ін.). Крім того, практично всі світові виробники CASE-засобів, крім Rational Software, заявили про готовність підтримки UML у своїх продуктах.

Творці UML подають її як мову для визначення, подання, проектування та документування програмних систем, бізнес-систем та інших різних систем. UML виключає нотацію та метамодель. Нотація є сукупністю графічних об'єктів, які використовуються в моделях, вона є синтаксисом мови моделювання. Для детальнішого ознайомлення з ключовими поняттями, семантикою та процесом використання UML можна порекомендувати [43].

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ТА КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ CASE-ТЕХНОЛОГІЙ

Тенденції сучасних інформаційних технологій ведуть до постійного ускладнення інформаційних систем (ІС), що створюються в різних галузях економіки. Сучасні великі проекти ІС мають, як правило, такі особливості:

- складність описання (досить велика кількість функцій, процесів, елементів даних та складні взаємозв'язки між ними), що потребує ретельного моделювання, аналізу даних та процесів;
- наявність сукупностей компонентів (підсистем), що тісно взаємодіють та мають свої локальні задачі і цілі функціонування (наприклад, традиційних додатків, пов'язаних з обробленням транзакцій та розв'язанням регламентних задач, та додатків аналітичного оброблення (підтримки прийняття рішень), що використовують нерегламентовані запити до даних великого об'єму);
- відсутність прямих аналогів, що обмежує використання якихось типових проектних рішень та прикладних систем;
- необхідність інтеграції додатків, що існують та тільки розробляються;
 - функціонування в неоднорідному середовищі на різних апаратних платформах;
- розрізненість та різнорідність окремих груп розробників за рівнем кваліфікації та вкоріненими традиціями використання певних інструментальних засобів;
- істотна тривалість проекту зумовлена, з одного боку, обмеженими можливостями колективу розробників та, з другого боку, масштабами організації замовника і різними рівнями готовності її підрозділів до впровадження ІС.

Для успішного впровадження проекту об'єкт проектування (ІС) має бути, передусім, адекватно описаний, мають бути побудовані повні та несуперечливі функціональні та інформаційні моделі ІС. Накопичений досвід свідчить, що це логічно складна, трудомістка та тривала робота. Вона потребує високої кваліфікації спеціалістів, які беруть у ній участь.

У 70-х та 80-х роках за розроблення ІС досить широко застосовували структурну методологію. Але її використання для проектування ІС викликало ряд проблем, зумовлених, зокрема, значним обсягом ручної роботи:

- неадекватна специфікація вимог;
- нездатність виявляти помилки в проектних рішеннях;
- низька якість документації, що знижує експлуатаційні властивості;
- затяжний цикл та незадовільні результати тестування.

Перераховані вище проблеми спонукали до появи програмно-технологічних засобів спеціального типу — CASE-засобів, що реалізують CASE-технологію створення та супроводження ІС [11, 36]. Термін CASE (Computer Aided Software Engineering (комп'ютерна підтримка інженерії програмного забезпечення), а за іншою версією — Computer Aided System Engineering (комп'ютерна підтримка інженерії систем)) використовується зараз у досить широкому розумінні. Нині під терміном CASE-засоби розуміють програмні засоби, що підтримують процеси створення та супроводження ІС, враховуючи аналіз та формулювання вимог, проектування прикладного ПЗ (додатків) та баз даних, генерування коду, тестування, документування, забезпечення якості, конфігураційне керування та управління проектом, а також інші процеси.

CASE-технологія є методологією проектування ІС, а також набором інструментальних засобів, що уможливають у наочній формі моделювання будь-якої проблемної галузі, аналіз цієї моделі на всіх етапах розроблення та супроводження ІС та розроблення додатків відповідно до інформаційних потреб користувачів. Більшість існуючих CASE-засобів ґрунтуються на методологіях структурного (головно) та об'єктно орієнтованого аналізу і проектування, що використовують специфікації у вигляді діаграм або текстів для описування зовнішніх вимог, зв'язків між моделями системи, динаміки поведінки системи та структури програмних засобів.

Сучасні CASE-засоби охоплюють широкий діапазон підтримки численних технологій проектування: від простих засобів аналізу і документування до повномасштабних засобів автоматизації. До

CASE-засобів належать як відносно дешеві системи для персональних комп'ютерів з дуже обмеженими можливостями, так і дорогі системи для неоднорідних обчислювальних платформ і операційних середовищ. Так, сучасний ринок програмних засобів нараховує близько 300 різних CASE-засобів, найпотужніші з яких певною мірою використовуються практично усіма провідними західними фірмами.

До CASE-засобів здебільшого відносять будь-який програмний засіб, що використовується для автоматизації моделювання систем та має такі характерні риси:

- потужні графічні засоби для описування і документування, що забезпечують зручний інтерфейс із розробником і розвивають його творчі можливості;

- інтеграція окремих компонентів CASE-засобів, що забезпечує керованість процесом розроблення моделі;

- використання у спеціальний спосіб організованого сховища проектних метаданих (репозиторію).

Інтегрований CASE-засіб (чи комплекс засобів) містить такі компоненти;

- репозиторій, що є основою CASE-засобу. Він повинен забезпечувати збереження версій проекту і його окремих компонентів, синхронізацію надходження інформації від різних розробників, контроль метаданих на повноту і несуперечність;

- графічні засоби аналізу і проектування, що забезпечують створення і редагування ієрархічно зв'язаних діаграм (DFD, ERD тощо);

- засоби розроблення додатків, включаючи мови 4GL і генератори кодів;

- засоби конфігураційного керування;

- засоби документування;

- засоби тестування;

- засоби керування проектом;

- засоби реінжинірингу.

Усі сучасні CASE-засоби можуть бути класифіковані, головню, за типами і категоріями. Класифікація за типами відображує функціональну орієнтацію CASE-засобів на різні процеси моделі. Класифікація за категоріями визначає рівень інтегрованості за функціями, що можуть виконуватися, і включає окремі локальні засоби, які розв'язують невеликі автономні задачі (tools), набір частково інтегрованих засобів, що охоплюють більшість етапів моделювання системи (toolkit) і цілком інтегровані засоби, що підтримують весь цикл аналізу та проектування системи і зв'язані загальним репозиторієм. Крім цього, CASE-засоби можна класифікувати за такими ознаками:

- методологіями і моделями систем та БД, що застосовуються в CASE-засобах;

- рівнем інтегрованості із СУБД;

- доступними платформами.

Класифікація за типами переважно збігається з компонентним складом CASE-засобів та включає такі основні типи:

- засоби аналізу (Upper CASE), призначені для побудови й аналізу моделей проблемної галузі (Design/IDEF (Meta Software), BPwin (Logic Works));

- засоби аналізу і проектування (Middle CASE), що підтримують найрозповсюдженіші методології проектування і, які використовують для створення проектних специфікацій (Vantage Team Builder (Cayenne), Designer/2000 (ORACLE), Silverrun (CSA), PRO-IV (McDonnell Douglas), CASE-Аналітик (Макропроджекст)). Виходом таких засобів є специфікації компонентів і інтерфейсів системи, структури системи, алгоритми і структури даних;

- засоби проектування баз даних, що забезпечують моделювання даних і генерування схем баз даних (як правило, мовою SQL) для найрозповсюдженіших СУБД. До них належать ERwin (Logic Works), S-Designer (SDP) і DataBase Designer (ORACLE). Засоби проектування баз даних наявні також у складі CASE-засобів Vantage Team Builder, Designer/2000, Silverrun і PRO-IV;

- засоби розробки додатків. До них належать засоби 4GL (Uniface (Compuware), JAM (JYACC), PowerBuilder (Sybase), Developer/2000 (ORACLE), New Era (Informix), SQL Windows (Gupta), Delphi (Borland) тощо) і генератори кодів, що входять до складу Vantage Team Builder, PRO-IV і частково — до Silverrun;

- засоби реінжинірингу, що забезпечують аналіз програмних кодів і схем баз даних і формування на їхній основі різних моделей і проектних специфікацій. Засоби аналізу схем БД і формування ERD входять до складу Vantage Team Builder, PRO-IV, Silverrun, Designer/2000, ERwin і S-Designer. У сфері аналізу програмних кодів найбільше поширення отримують об'єктно орієнтовані CASE-засоби, що забезпечують реінжиніринг програм мовою C++ (Rational Rose (Rational Software), Object Team (Cayenne)).

До допоміжних типів належать:

- засоби планування й управління проектом (SE Companion, Microsoft Project тощо);

- засоби конфігураційного управління (PVCS (Intersolv));

- засоби тестування (Quality Works (Segue Software));

- засоби документування (SoDA (Rational Software)).

Нині вітчизняний ринок програмного забезпечення має у своєму розпорядженні такі найкраще розвинуті CASE-засоби:

- Vantage Team Builder (Westmount I-CASE);

- Designer/2000;

- Silverrun;

- ERwin+BPwin;

- S-Designer;
- CASE-Аналітик.

Крім того, на ринку постійно з'являються як нові для вітчизняних користувачів системи (наприклад, CASE /4/0, PRO-IV, System Architect, Visible Analyst Workbench, EasyCASE), так і нові версії та модифікації названих систем.

СТРУКТУРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Як зазначалося раніше, існують кілька підходів до автоматизованого аналізу складних систем. Вагоме місце серед них посідає структурно-функціональне моделювання, яке отримало самостійний розвиток та має досить популярні реалізації в конкретних технологіях та програмних продуктах.

Структурно-функціональне моделювання започатковане у теорії автоматичного управління (ТАУ), де було розвинуто апарат, що містить не тільки правила утворення і перетворення, а й досить загальну методологію аналізу і синтезу структурних схем. Хоча динамічні структурно-функціональні схеми ТАУ мають широкі можливості для аналізу неперервних, лінійних динамічних систем, що описуються диференційними рівняннями, вони погано підходять для описування процесів у організаційних системах, де зв'язки між окремими блоками мають набагато ширший зміст і рідко можуть бути зведені до деякої функції часу (сигналу).

Подальший розвиток структурно-функціонального моделювання пов'язаний із виникненням автоматизованих систем управління виробництвом (АСУ). Загалом АСУ використовують мову структурно-функціонального моделювання, яка застосовується при системному аналізі і проектуванні автоматизованих організаційних систем.

Сучасні методи структурно-функціонального аналізу і моделювання складних систем були закладені завдяки працям професора Масачусетського технологічного інституту Дугласа Росса, який уперше використовував поняття «структурний аналіз» ще сорок років тому, намагаючись створити алгоритмічну мову АРТ, орієнтовану на модульне програмування. Подальший розвиток ідеї описування складних об'єктів як ієрархічних, багаторівневих, модульних систем за допомогою невеликого набору типових елементів привів до появи SADT (Structured Analyses and Design Technique), що в дослівному перекладі означає «технологія структурного аналізу і проектування», а власне кажучи, є методологією структурно-функціонального моделювання й аналізу складних систем [20]. З часу своєї появи SADT постійно удосконалювалася і широко використовувалася для ефективного вирішення цілого ряду проблем, таких як удосконалення управління фінансами та матеріально-технічним постачанням великих фірм, розробка програмного забезпечення АСУ телефонними мережами, стратегічне планування діяльності фірм, проектування обчислювальних систем і мереж тощо.

Центральною ідеєю SADT за визначенням її авторів є SA-блок — універсальна одиниця універсальної пунктуації для необмеженого строго структурного аналізу. Незважаючи на таку мудровану назву, під таємничим SA-блоком ховається звичайний функціональний блок, що характеризується наявністю **входу, виходу, механізму та керування**. Іншим фундаментальним поняттям SADT є принцип ієрархічної декомпозиції зверху вниз, що дає можливість аналізувати як завгодно складні системи. Оригінальним у SADT є ефективний метод кодування зв'язків, заснований на використанні спеціальних ICOM-кодів, який дає змогу не тільки спростити процедуру моделювання, але й автоматизувати процедури структурно-функціонального аналізу.

Відомим програмним продуктом, що реалізує методологію структурно-функціонального аналізу SADT, є Design/IDEF виробництва компанії Meta Software Corp. Він орієнтований на проектування і моделювання складних систем широкого призначення, пов'язаних з автоматизацією і комп'ютеризацією виробництва, а також із завданнями економіко-організаційного управління та бізнес-планування. Design/IDEF має швидку і високоякісну графіку, яка уможливило створення SADT-моделей, містить словник даних, що дає змогу зберігати необмежений обсяг інформації про об'єкти і моделі, допускає колективну роботу над моделлю, уможливило генерування звітів за результатами системного аналізу.

Першою рисою, що вирізняє SADT-методологію, є принцип побудови моделі зверху вниз. Цей принцип означає, що можна, починаючи з досить простих макроекономічних моделей розвитку сектору економіки в цілому чи окремої галузі, дійти, якщо потрібно, до окремих технологічних процесів. При цьому відповідно до призначення моделі на кожному рівні можна сформулювати обґрунтовані вимоги щодо її точності.

Очевидно, що на першому етапі побудови ієрархії моделей можна та необхідно починати з досить грубих (ескізних) моделей. Оскільки методологія SADT дає змогу уточнювати (деталізувати) моделі за допомогою розкриття SADT-блоків вищого рівня ієрархії, нові штрихи за необхідності можуть бути додані без зміни тих моделей, що вже побудовані. У такий спосіб SADT реалізує ієрархічне, багаторівневе моделювання, і в цьому її друга відмінність від відомих підходів.

Третьою особливістю моделювання на основі SADT є можливість одночасно зі структуруванням проблеми розробляти структуру бази даних, а точніше — баз даних, тому що на різних рівнях ієрархічного моделювання доцільно мати окремі бази даних. У пакеті DESIGN/IDEF автоматизовано процес опису бази даних, що відповідає структурі моделі. Отже, одночасно з ієрархічною структурою моделі одержують і структуру розподіленої бази даних. Для моделювання баз даних використовують мову SQL.

Отже, можна висновувати, що застосування методології SADT дає змогу уніфікувати різні блоки моделі складної системи, розподілити процес створення моделі і об'єднати окремі модулі в єдину ієрархічну динамічну модель.

Ще одним широко відомим інструментальним засобом структурно-функціонального моделювання, заснованим на стандарті IDEF0, є пакет BPWin, що пропонується компанією MacroProject. Він призначений для моделювання й оптимізації бізнес-процесів і автоматизує багато рутинних операцій, пов'язаних з побудовою моделей організаційних систем.

7.4. Інформаційне забезпечення аналізу даних

Аналіз даних є невід'ємною частиною процесу дослідження систем будь-якого типу. Всі названі вище інформаційні системи активно використовують дані різного типу. Існує багато класичних методів аналізу, які базуються на математичному апараті (математична статистика, математичне програмування, лінійна алгебра тощо) та чудово себе зарекомендували протягом свого існування. Розглянемо сучасні програмні засоби, які уможливають проведення повноцінного математичного та статистичного аналізу даних.

На ринку програмних засобів існує надзвичайно велика кількість додатків, які пропонують допомогу у розв'язанні задач аналізу даних як у пакетному режимі, так і у вигляді бібліотек функцій, які можна використовувати в інших програмних продуктах. Коротко охарактеризуємо найпопулярніші та функціонально повні з них:

— *Matlab* від MathWorks — комп'ютерна оболонка для інтерактивних та командних обчислень і візуалізації. Вона об'єднує в собі чисельний аналіз, операції з матрицями, сигнальні процеси та графіки в зручному для використання середовищі, де задачі та розв'язки подаються у математичному запису без використання традиційного програмування.

— *Mathematica* від Wolfram — вичерпна комп'ютерна система для чисельних, символічних та графічних обчислень і візуалізації. Інтерактивний обчислювальний та графічний інструмент із вбудованою мовою програмування для швидких та точних розв'язків. Інформацію можна подавати як у звичайному математичному поданні, так і у вигляді функцій з використанням вбудованої мови програмування. Електронний документ цієї комп'ютерної системи, який називається *notebooks* (записна книжка), допомагає користувачеві створювати тексти, здійснювати обчислення, будувати графіки та анімацію для технічного звіту чи презентації роботи. Існує також можливість підключення додаткових пакетів за допомогою технології Add-ons.

— *S-PLUS* від S-PLUS — інтерактивне програмне середовище для аналізу даних. S-PLUS містить об'єктно орієнтовану мову програмування, уніфіковану парадигму для дослідження статистичних моделей та тисячі вбудованих статистичних і графічних функцій.

— *SAS* від SAS Institute — інтерактивне та командне програмне середовище, що утворене з модулів для головного аналізу даних, статистики та написання звітів. SAS також забезпечує підключення до баз даних ORACLE та INGRES, аналіз часових рядів та прогнозування, кольорові графіки, матричне програмування та розвинену статистику, забезпечує експертну підтримку.

— *SPSS* від SPSS Inc. — Один із найпотужніших, але й дорогих статистичних пакетів. Має зручний інтерфейс. Містить досить повний набір статистичних (усього понад 60) та графічних процедур, а також процедур для створення звітів. Має вбудований засіб, що виконує інтелектуальну функцію, наприклад пояснює користувачеві, яку статистику краще застосувати в кожному конкретному випадку.

— *Statistica* від StatSoft Inc. — найзбалансованіший за співвідношенням «потужність/зручність» пакет. Має широкий спектр функціональних алгоритмів і потужну графіку, а також відповідні засоби для редагування графічних матеріалів. Користувач має знати статистичну термінологію, хоча дуже об'ємна довідкова система дає змогу досить повно ознайомлюватися з алгоритмами, що використовуються.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ (DATA MINING)

Останнім часом все більшої популярності набуває термін «інтелектуальний аналіз даних» (Data Mining) або «виявлення знань у базах даних» (knowledge discovery in databases). Це зумовлено, передовсім, нездатністю класичних статистичних методів досить повно задовольняти вимоги, що ставляться сьогодні до аналізу даних. Зокрема, специфіка даних та сучасних вимог до їх обробки така:

- дані мають практично необмежений об'єм;
- дані є різномірними (кількісними, якісними, текстовими);
- результати мають бути конкретними та зрозумілими;
- інструменти для обробки первинних даних мають бути зручними у використанні.

Загалом технологію DataMining досить точно визначає Григорій Піаецький-Шапіро — один із засновників цього напрямку. DataMining — це процес виявлення в первинних даних:

- раніше невідомих;
- нетривіальних;
- практично корисних;
- доступних для інтерпретації знань, необхідних для прийняття рішень у різних сферах людської діяльності.

Виділяють п'ять стандартних типів закономірностей та методів, які є найхарактернішими для DataMining:

- асоціація;
- послідовність;
- класифікація;
- кластеризація;

— прогнозування.

Асоціація має місце у тому разі, коли кілька подій пов'язані одна з одною.

Послідовність — ланцюг пов'язаних у часі подій.

Класифікація виявляє ознаки, що характеризують групу, до якої належать певні об'єкти.

Кластеризація відрізняється від класифікації тим, що самі групи спочатку не задано.

Прогнозування ґрунтується на історичній інформації, що зберігається в БД у вигляді часових рядів. Якщо вдається знайти шаблони, що адекватно відображують динаміку поведінки цільових показників, то є імовірність, що за їх допомогою можна передбачити поведінку системи в майбутньому.

DataMining є мультидисциплінарною галуззю, що виникла на підґрунті досягнень різних наук. Звідси і велика чисельність методів та алгоритмів, що реалізовані в різних діючих системах DataMining. Багато із таких систем інтегрують у собі кілька підходів. Тим не менш, як правило, в кожній системі існує такий ключовий момент, на який ставиться головний акцент. Зазначені ключові компоненти можна класифікувати так:

— предметно орієнтовані аналітичні системи.

Існує дуже багато програм такого типу;

- статистичні пакети;
- нейронні мережі;
- системи міркувань на основі аналогічних випадків;
- дерева рішень;
- еволюційне програмування;
- генетичні алгоритми;
- алгоритми обмеженого перебору;
- системи для візуалізації багатовимірних даних.

Загалом, стосовно DataMining можна зазначити, що:

1) ринок систем DataMining розвивається експоненційно. В ньому беруть участь практично всі крупні корпорації;

2) системи DataMining застосовують, головню, за такими напрямками, як:

- масовий продукт для бізнес-додатків,
- інструмент для проведення унікальних досліджень;

3) незважаючи на чисельність методів DataMining, пріоритет поступово зміщується в бік логічних алгоритмів аналізу даних if-then-правил (правил типу: «якщо..., то...»);

4) разом з тим головною проблемою логічних методів виявлення закономірностей є перебір варіантів за прийнятний термін. У відомих методах або штучно обмежується такий перебір (у алгоритмах КОРА, WizWhy), або будуються дерева рішень, що мають принципові обмеження ефективності пошуку if-then-правил. Інші проблеми пов'язані з тим, що відомі методи пошуку логічних правил не підтримують функцію узагальнення знайдених правил та функцій пошуку оптимальної композиції таких правил. Вдале розв'язання поставлених проблем може стати предметом нових конкурентоспроможних розробок.