

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет

Н.К. Максишко

АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

Конспект лекцій
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності «Економіка»
освітньо-професійної програми «Економічна кібернетика»

Затверджено
вченою радою ЗНУ
Протокол № 11 від 23.06.2021

Запоріжжя
2021

УДК 330.46:519.86(075.8)
М 174

Макшишко Н.К. Аналіз та моделювання соціально-економічних систем : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності «Економіка» освітньо-професійної програми «Економічна кібернетика». Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 102 с.

У конспекті лекцій у систематизованому вигляді викладено теоретичний матеріал з курсу «Аналіз та моделювання соціально-економічних систем». Видання висвітлює основні напрями аналізу та моделювання соціально-економічних систем, а саме: теоретичні та практичні аспекти функціонування соціально-економічних систем у сучасних умовах; концептуальні засади математичного моделювання та моделювання системних характеристик соціально-економічних систем; концепцію сталого розвитку як підґрунтя аналізу та моделювання соціально-економічних систем; сучасні методи аналізу та моделювання, що базуються на використанні інструментарію інтелектуального аналізу даних.

Навчальне видання містить необхідний довідковий матеріал, список рекомендованої літератури, інформаційні ресурси. Для діагностики рівня засвоєння знань представлено питання для самоконтролю, тести для самоперевірки знань основних положень курсу.

Зміст видання відповідає робочій програмі дисципліни «Аналіз та моделювання соціально-економічних систем», метою якої є формування системи фундаментальних знань та практичних навичок щодо сучасних методів аналізу та моделювання соціально-економічних систем.

Конспект лекцій призначений для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності «Економіка» освітньо-професійної програми «Економічна кібернетика».

Рецензент

В.М. Порохня, доктор економічних наук, професор, професор кафедри економіки Класичного приватного університету

Відповідальний за випуск

Н.К. Максишко, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри економічної кібернетики ЗНУ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Змістовий модуль 1	7
<i>Лекція 1. Концептуальні засади аналізу та математичного моделювання соціально-економічних систем</i>	7
Питання для самоконтролю	20
Змістовий модуль 2	21
<i>Лекція 2. Моделювання системних характеристик соціально-економічних систем</i>	21
Питання для самоконтролю	34
Змістовий модуль 3	35
<i>Лекція 3. Концепція сталого розвитку як підґрунтя аналізу та моделювання соціально-економічних систем</i>	35
Питання для самоконтролю	45
Змістовий модуль 4.	46
<i>Лекція 4. Моделювання соціально-економічних систем в умовах невизначеності цілей (прийняття рішень в умовах багатокритеріального оцінювання).....</i>	46
Питання для самоконтролю	57
Змістовий модуль 5.	58
<i>Лекція 5. Моделювання СЕС на базі методів інтелектуального аналізу даних (Date Mining)</i>	58
Питання для самоконтролю	70
Змістовий модуль 6.	72
<i>Лекція 6. Моделювання соціально-економічних систем в умовах невизначеності даних засобами нечіткої математики</i>	72
Питання для самоконтролю	82
Змістовий модуль 7.	83
<i>Лекція 7. Застосування кластерного аналізу у моделюванні соціально-економічних систем</i>	83
Питання для самоконтролю	89
Приклад тестових завдань для поточного та підсумкового контролю:.....	900
Рекомендована література	933
Додаток А.....	95
Додаток Б.....	98
Додаток В.....	99

ВСТУП

Сучасні трансформації економіки України формують нові вимоги до фахівців з економіки, а саме: здатність оперативного адаптуватися до нових умов, креативність, прагнення до постійного навчання тощо. Володіння сучасним економічним мисленням, теоретичними знаннями і прикладними навичками в галузі системного аналізу, застосування сучасного економіко-математичного інструментарію моделювання для дослідження, прогнозування й розв'язання складних дослідницьких, інноваційних, управлінських задач і проблем функціонування економічних систем різного рівня, що характеризуються невизначеністю умов, є відмінними ознаками фахівців з економіки.

Дисципліна «Аналіз та моделювання соціально-економічних систем» відноситься до циклу дисциплін професійної підготовки здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності «Економіка» та є однією з важливих дисциплін у процесі формування сучасного фахівця з економіки. Навчальне видання розроблено відповідно до робочої програми навчальної дисципліни.

Метою викладання навчальної дисципліни «Аналіз та моделювання соціально-економічних систем» є формування системи знань і вироблення практичних навичок з аналізу та моделювання соціально-економічних систем як методологічної бази обґрунтування рішень з управління соціально-економічним розвитком на макро-, мезо- та мікрорівні.

Предметом вивчення є сучасні математичні моделі та методи аналізу соціально-економічних систем, що становлять основу кількісного обґрунтування та сприяють підвищенню якості управлінських рішень.

Основними **завданнями** дисципліни «Аналіз та моделювання соціально-економічних систем» є: вивчення теоретичних та практичних підходів до розробки, обґрунтування та прийняття ефективних рішень із питань розвитку соціально-економічних систем та управління суб'єктами економічної діяльності, розвиток аналітичного мислення при дослідженні соціально-економічних систем та процесів в умовах різного виду невизначеності (цілей, вихідних даних) та обсягів, формування у студентів знань та вмінь щодо застосування сучасного апарату економіко-математичного моделювання для розв'язання теоретичних і практичних задач у професійній діяльності.

У результаті вивчення дисципліни студент має **набути таких компетентностей:**

- здатність визначати й розв'язувати складні економічні задачі та проблеми, приймати відповідні аналітичні та управлінські рішення у сфері економіки або в процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій за невизначених умов та вимог;
- здатність генерувати нові ідеї (креативність);
- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;
- здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності);

- здатність діяти на основі етичних міркувань (мотивів);
- здатність проводити дослідження на відповідному рівні;
- здатність приймати обґрунтовані рішення із використанням інформаційних та комунікаційних технологій;
- здатність приймати рішення в умовах невизначеності з урахуванням ризиків;
- здатність обґрунтовувати управлінські рішення щодо ефективного розвитку суб'єктів господарювання;
- здатність оцінювати можливі ризики, соціально-економічні наслідки управлінських рішень;
- здатність застосовувати науковий підхід до формування та виконання ефективних проектів у соціально-економічній сфері;
- здатність застосовувати науковий, аналітичний, методичний інструментарій для обґрунтування стратегії розвитку економічних суб'єктів та пов'язаних із цим управлінських рішень;
- здатність збирати, аналізувати та обробляти статистичні дані, науково-аналітичні матеріали, які необхідні для розв'язання комплексних економічних проблем, робити на їх основі обґрунтовані висновки;
- здатність використовувати сучасні інформаційні технології, методи та прийоми дослідження економічних та соціальних процесів, адекватні встановленим потребам дослідження;
- здатність визначати ключові тренди соціально-економічного та людського розвитку;
- здатність формулювати професійні задачі у сфері економіки та розв'язувати їх, обираючи належні напрями і відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси;
- здатність до розробки сценаріїв і стратегій розвитку соціально-економічних систем;
- здатність зрозуміти та застосувати математичні методи, які використовуються у сфері відображення економічної діяльності за допомогою методів економічної кібернетики;
- здатність моделювати проблеми управління та їх наслідки і пропонувати можливі шляхи вирішення із використанням методів економічної кібернетики та сучасних інформаційних технологій;
- здатність застосовувати відповідне програмне забезпечення та відповідні пакети стандартних програм.

У разі успішного завершення курсу студент **зможє**:

- здійснювати аналіз функціонування й розвитку соціально-економічної системи на макро-, мезо-і мікрорівнях, виділяти актуальні завдання управління, формалізувати критерії оцінювання якості альтернатив;
- використовувати сучасні математичні методи, моделі та інформаційні технології дослідження економічних та соціальних процесів, адекватні встановленим потребам дослідження;

– самостійно вирішувати питання аналізу, побудови моделі економічних систем, вивчати поведінку цих моделей залежно від дії різних факторів, розробляти оптимальну стратегію управління цими системами;

– застосовувати сучасні математичні методи та моделі для аналізу процесів, що відбуваються в соціально-економічних системах, та кількісного обґрунтування управлінських рішень, що приймаються;

– використовувати інформаційні технології при розробці економіко-математичної моделі, формуванні рішення і його реалізації;

– визначати ключові тренди соціально-економічного та людського розвитку за рахунок врахування концепції сталого розвитку як підґрунтя аналізу та моделювання соціально-економічних систем;

– застосовувати економіко-математичні методи, моделі та комп'ютерні технології обробки даних для вирішення економічних завдань, до здійснення аналізу інформації та підготовки аналітичних звітів.

Відповідно до структурно-логічної схеми підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньо-професійної програми «Економічна кібернетика» курс «Аналіз та моделювання соціально-економічних систем» пов'язаний із дисциплінами: «Теорія і практика кадрової політики держави і організацій», «Сучасні тенденції глобалізації», «Методологія наукових досліджень в інформаційній економіці» та дисциплін вільного вибору студента в межах спеціальності.

Набуті студентами знання та навички з дисципліни «Аналіз та моделювання соціально-економічних систем» будуть необхідні їм при виконанні аналітичних досліджень під час виробничої практики, при написанні кваліфікаційної роботи магістра, у подальшій професійній діяльності.

Конспект лекцій з дисципліни «Аналіз та моделювання соціально-економічних систем» містить теми, що розглядаються на лекційних заняттях, необхідний довідковий матеріал та список рекомендованої літератури. Може бути використаний для самостійного вивчення методологічних підходів до побудови, аналізу та застосування моделей соціально-економічних систем. Для діагностики рівня засвоєння знань представлено питання для самоконтролю, тести для самоперевірки знань основних положень курсу.

Конспект лекцій з дисципліни «Аналіз та моделювання соціально-економічних систем» сприятиме оволодінню теоретичними знаннями основ курсу та якісному засвоєнню теоретичного матеріалу за рахунок наочності (наведено схеми, рисунки, таблиці, графіки) та представлених прикладів застосування моделей соціально-економічних систем.

Змістовий модуль 1

Лекція 1. Концептуальні засади аналізу та математичного моделювання соціально-економічних систем

Мета: ознайомитися з концептуальними засадами моделювання як методу наукового пізнання, поняттям і особливостями соціально-економічних систем (СЕС) та інструментарію економіко-математичного моделювання.

План

- 1.1. Соціально-економічні системи як об'єкт моделювання.
- 1.2. Моделювання як метод наукового пізнання та його види.
- 1.3. Принципи математичного моделювання.
- 1.4. Особливості економіко-математичного моделювання СЕС.
- 1.5. Етапи економіко-математичного моделювання СЕС та загальна оцінка якості моделі.
- 1.6. Елементи класифікації економіко-математичних моделей.
- 1.7. Значення прикладних економіко-математичних досліджень.

Перелік ключових термінів і понять: система, соціально-економічна система, модель, математична модель, економіко-математична модель, адекватність моделі, екзогенні та ендогенні змінні, аналітична модель, алгоритмічна (імітаційна) модель, статистична модель.

1.1. Соціально-економічні системи як об'єкт моделювання

Розглянемо означення ключових понять.

Центральним поняттям кібернетики є поняття «система». Єдиного означення цього поняття не існує. Будемо користуватися таким формулюванням:

Системою називають множину взаємопов'язаних елементів (разом із відношеннями (зв'язками) між ними), які **поєднані спільною метою** (рис. 1.1).

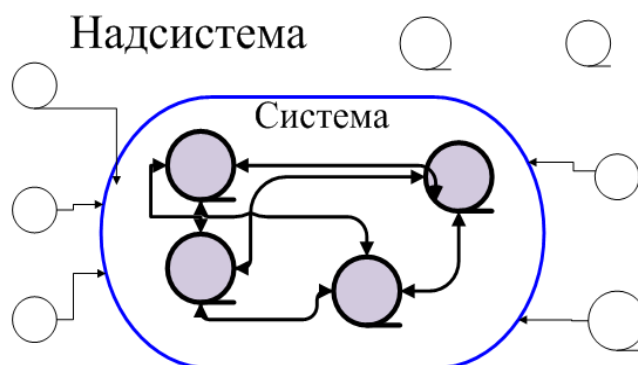


Рис. 1.1. Схематичне представлення системи

Отже, множину елементів можна розглядати як систему, якщо вона характеризується такими ознаками:

1) *цілісність системи*, тобто принципова незведеність властивостей системи до суми властивостей окремих її елементів;

2) *наявність цілей і критеріїв* щодо дослідження цієї множини елементів.

Підсистемою називають таку частину системи, яка сама є системою.

Термін «економіка» має два значення:

економіка як наука та економіка як господарська система. Основні завдання економіки наведено на рис. 1.2.

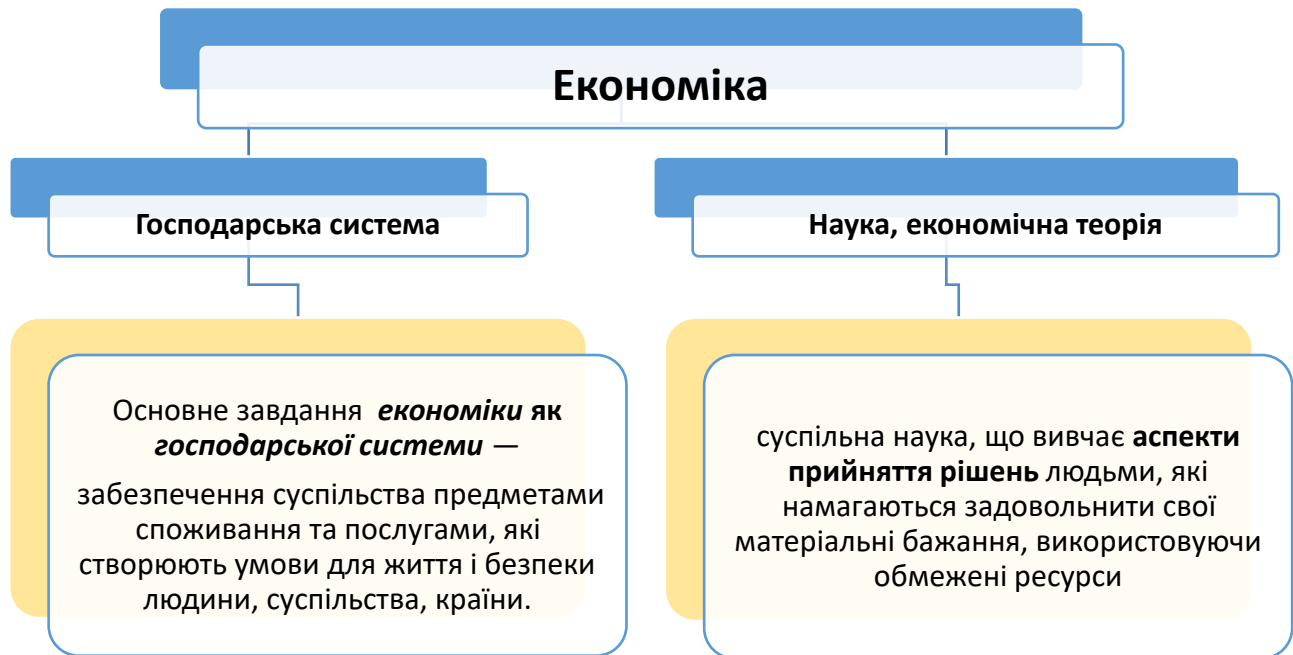


Рис. 1.2. Основні завдання економіки

Економіка як господарська система складається з елементів – господарських одиниць (підприємств, фірм, банків тощо).

Надсистема економіки – природа та суспільство,

дві її головні підсистеми – виробнича та фінансово-кредитна.

Виконуючи своє призначення, економічна система забезпечує розміщення ресурсів, виробляє продукцію, розподіляє предмети споживання та здійснює накопичення (рис. 1.3).

Економіка як складна система є *підсистемою суспільства*. Тому, як правило, об'єкт дослідження науки – *економіка як соціально-економічна система*.

Соціально-економічна система – це складна ймовірнісна динамічна система, що охоплює процеси виробництва, обміну, розподілу й споживання матеріальних та інших благ.

Соціально-економічні системи належать до класу *кібернетичних*, тобто керованих, систем.

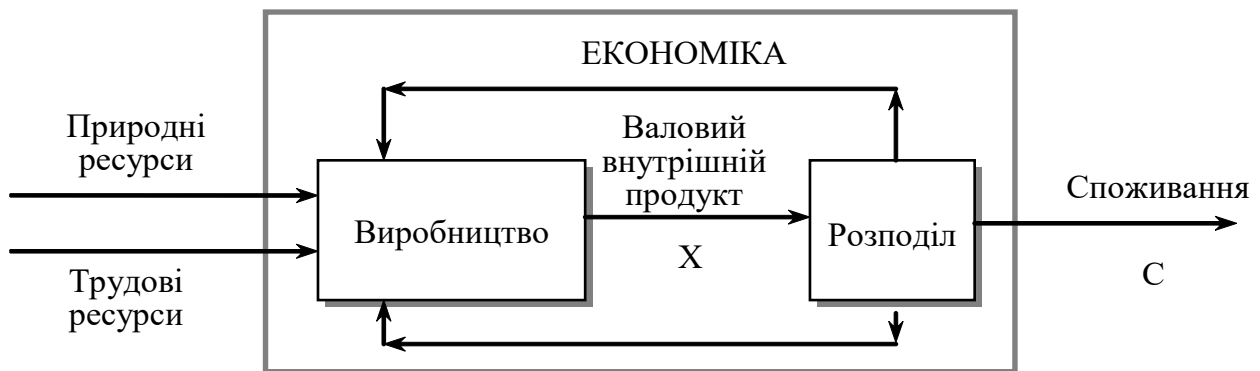


Рис. 1.3. Економіка як підсистема природи і суспільства

Соціально-економічні системи й об'єкти, що до них входять, відносяться до класу *складних систем* і мають характерні їм властивості, до яких можна віднести:

- 1) *складність структури СЕС*:
 - а) *ієрархічність*, але не в «чистому» вигляді, а у вигляді переплетень і перетинань багатьох ієрархій, у яких присутні сітьові ознаки та вбудовані контури;
 - б) *подвійне підпорядкування*, сукупність вертикальних і горизонтальних зв'язків, які відображають відносини управління та взаємодії (виробничі, ринкові, міжгалузеві, соціальні та інші);
 - в) *поділ на підсистеми* за формальними або евристичними ознаками;
- 2) *цілісність системи*, що не дозволяє обмежувати або розбивати на автономні частини, які призводять до втрати властивостей цілісної системи;
- 3) *емерджентність* як прояв властивості цілісності системи – наявність у СЕС таких властивостей, що не є притаманними жодному з її елементів, який розглядається окремо, поза системою;
- 4) наявність складних *інформаційних процесів системоутворення*, які реалізують процеси обробки й сприйняття складних інформаційних конструкцій за допомогою розвинених інформаційних мов. Важлива й переважна роль неформалізованих, інтелектуальних процесів руху потоків знань та їх відтворення;
- 5) складність формулювання місії економічної системи, *множинність цілей* і багатовимірність критеріїв ефективності;
- б) *динамічність* економічних процесів, що полягає в зміні в часі параметрів і структури економічних систем під впливом внутрішніх та зовнішніх чинників (навколишнього середовища);
- 7) різноманітність діючих структур і *різноманітність фізичної природи елементів системи*. У функціонуванні будь-якої системи беруть участь і активно взаємодіють у просторі та часі *три потоки*: матеріальний, енергетичний, інформаційний;

8) велика питома вага *суб'єктивних факторів*, які впливають на склад і функціонування економічної системи;

9) високий *ступінь невизначеності*, який супроводжує функціонування СЕС – визначається високим ступенем *залежності від зовнішнього середовища*, можливих помилок в управлінні, великою тривалістю функціонування (вплив динаміки).

10) *активна реакція* на нові чинники, що з'являються.

Усі ці властивості необхідно враховувати під час дослідження СЕС.

Основним методом дослідження систем є **метод моделювання** – спосіб теоретичних і практичних дій, спрямованих на створення та використання моделей.

1.2. Моделювання як метод наукового пізнання та його види

Модель (від лат. «modulus» – зразок, норма, міра) – це об'єкт, що заміщує оригінал та зберігає найбільш важливі для даного дослідження риси і властивості оригіналу.

Моделювання – процес побудови та використання моделі.

Головна особливість моделювання полягає в тому, що це метод опосередкованого пізнання за допомогою об'єктів-заміщувачів.

Ця особливість моделювання визначає специфічні форми використання *абстракцій, аналогій, гіпотез, інших категорій і методів пізнання*.

Процес моделювання включає три *системотвірних елементи*:

- суб'єкт дослідження (аналітик);
- об'єкт дослідження;
- модель, яка опосередковує відносини між об'єктом, який вивчається, та суб'єктом, який пізнає (аналітиком).

Цілі моделювання:

- 1) вивчення об'єкта;
- 2) прогнозування поведінки об'єкта (отримання нових знань щодо об'єкта);
- 3) управління об'єктом.

Існують різні класифікації моделей, які різняться ознакою (основою класифікації). За *способом представлення* моделі поділяються на дві великі групи: **матеріальні** (предметні, фізичні) та **абстрактні** (ідеальні, інформаційні) (рис. 1.4).

Матеріальні моделі – відтворюють геометричні та фізичні властивості оригіналу і завжди мають реальне втілення (наприклад, карти при вивченні історії та географії, макет автівки, крила літака, фізичні і хімічні досліди, в яких моделюються процеси, наприклад реакція між кремнієм та киснем тощо).

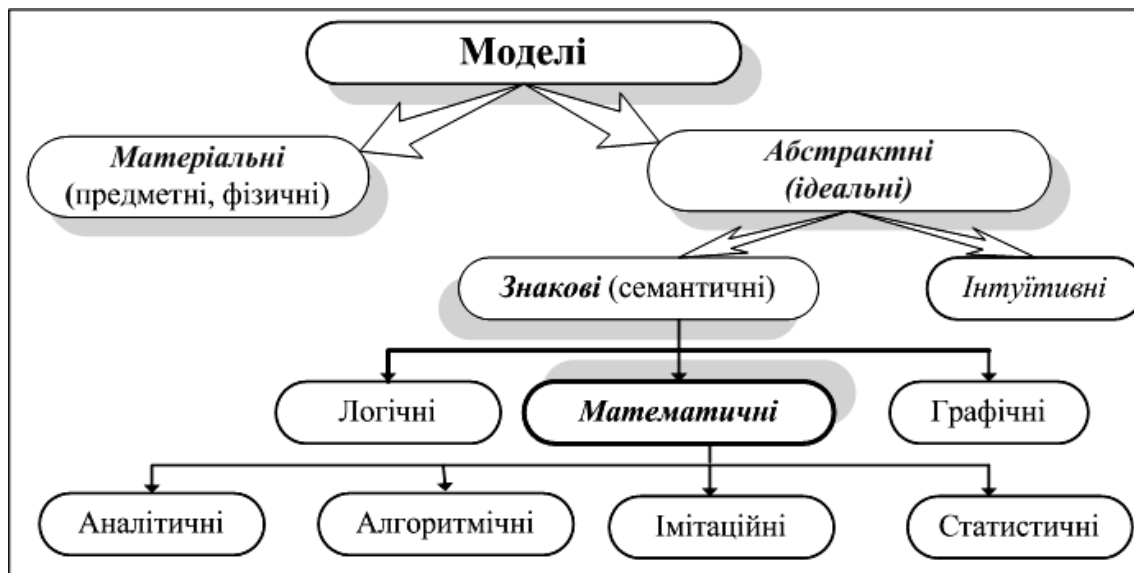


Рис. 1.4. Класифікація моделей

Абстрактними або ідеальними називають моделі, побудовані засобами мислення, свідомості.

Абстрактні моделі можна поділити на *знакові* (семантичні) та *інтуїтивні*. За способом подання семантичні моделі поділяють, зокрема, на математичні, логічні, графічні моделі. Серед інших форм знакових моделей важливе місце посідають **математичні** моделі.

Математична модель – це математичний об’єкт, що заміщує оригінал (реальний об’єкт або процес), в якому відношення між реальними елементами, що цікавлять дослідника, замінені відношеннями між математичними категоріями. Ці відношення зазвичай подаються у формі рівнянь та/чи нерівностей, відношеннями формальної логіки між показниками (змінними), які характеризують функціонування реальної системи, що моделюється. Отже, **математична модель** – це модель, що представляє собою сукупність математичних співвідношень.

Сутність методології математичного моделювання полягає в заміні досліджуваного об’єкта його «образом» – математичною моделлю – і подальшим вивченням (дослідженням) моделі на підставі аналітичних методів та обчислювально-логічних алгоритмів, які реалізуються за допомогою комп’ютерних програм.

Робота **не з самим об’єктом** (явищем, процесом), а **з його моделлю** дає можливість:

- відносно швидко і безболісно досліджувати його основні (суттєві) властивості та поведінку за будь-яких імовірних ситуацій (це переваги теорії);
- водночас обчислювальні (комп’ютерні, симулятивні, імітаційні) експерименти з моделями об’єктів дозволяють ретельно та досить глибоко вивчати об’єкт, що недоступно суто теоретичним підходам (це перевага експерименту).

За обчислювальним характером різних показників, відношень та ін. математичні моделі поділяються на аналітичні, алгоритмічні та імітаційні.

Аналітичні моделі передбачають реалізацію моделі у вигляді алгебраїчних, диференціальних та інших рівнянь, що пов'язують вихідні змінні з вхідними, доповненими системою обмежень. При цьому передбачається наявність однозначної обчислювальної процедури отримання точного розв'язку рівнянь.

При алгоритмічному підході математична модель, що використовується, не припускає точного розв'язку і змушує звертатися до різних наближених, рекурентних методів, ітеративних процедур пошуку наближеного розв'язку. Це типовий підхід до створення моделей складних систем.

Важливим типом математичних моделей складних систем є імітаційні моделі. Імітаційна модель представляє певну обчислювальну процедуру, що описує об'єкт аналізу, його ознаки та дії (процеси), що викликають зміну ознак об'єктів, або появу та зникнення самих об'єктів. Імітаційна модель дає змогу з будь-якою заданою точністю параметрично відтворити систему довільної складності. Основними обмеженнями при створенні цих моделей є ресурси пам'яті і часу. Головним засобом реалізації імітаційних моделей є комп'ютерні системи.

Статистичне моделювання – це вид комп'ютерного моделювання, який дає змогу отримати статистичні дані відносно процесів у модельованій системі.

Графічні моделі передбачають використання графічної форми подання інформації про логіко-математичні залежності між показниками системи. Сучасні комп'ютерні технології дають змогу наглядно подати багатовимірні форми зв'язку (функціональні, стохастичні, логічні), використовуючи тривимірний простір та колірну палітру.

Інтуїтивні моделі будуються на вербальному (описовому) рівні. Ці моделі не встановлюють суворі кількісні співвідношення між явищами, що моделюються, обмежуючись лише аналізом якісних узагальнених понять, що відтворюють лише загальні тенденції розвитку явищ, напрямки змін властивостей об'єктів, що вивчаються, та ін.

Такий підхід здійснюється з метою висунення різних гіпотез поведінки об'єктів складних систем, формування евристик відносно взаємовідносин між активними елементами системи та їх розвитку.

1.3. Принципи математичного моделювання

Розглянемо принципи, які визначають загальні вимоги, яким повинна задовольняти правильно побудована математична модель деякого об'єкта (системи).

Принцип 1. *Полярність* діалектичної пари «модель – об'єкт».

Ця пара завжди полярна, має два полюси – «модель» і «об'єкт».

Принцип 2. *Первинність об'єкта.*

Із двох взаємно пов'язаних полюсів пари «модель – (об'єкт)» один із них – (об'єкт) є первинним, інший (модель) – похідним від нього.

Принцип 3. *Зумовленість моделі об'єктом.*

Наявність полюсу «модель» зумовлює необхідність наявності полюсу «об'єкт».

Принцип 4. Множинність моделей щодо об'єкта дослідження.

Як «модель» для об'єкта, так і «об'єкт» для цієї «моделі» семантично та інтерпретаційно багатозначні: «об'єкт» описується не однією, а багатьма «моделями», «модель» віддзеркалює властивості не одного, а багатьох «об'єктів».

Принцип 5. Адекватність –

відповідність моделі меті дослідження, прийнятій системі гіпотез за рівнем складності й організації, а також відповідність реальній системі (об'єкту). Доки не вирішено питання, чи правильно відображає модель досліджувану систему (об'єкт), цінність моделі незначна.

Принцип 6. Спрощення за умови збереження суттєвих (ключових) властивостей об'єкта (системи).

Модель повинна бути в деяких аспектах суттєво простішою від прототипу – в цьому власне й полягає сенс моделювання, тобто модель ігнорує несуттєві властивості об'єкта.

Цей принцип може бути названий *принципом абстрагування від другорядних деталей*.

Практичні рекомендації щодо зменшення складності моделі:

- зменшення кількості змінних за допомогою виключення несуттєвих змінних або їх об'єднання. Процес перетворення (редукції) моделі в модель із меншою кількістю змінних і обмежень називають *агрегуванням*;
- зміна природи змінних величин й параметрів. Змінні величини й параметри наближено розглядаються як постійні, дискретні – як неперервні тощо;
- зміна функціональної залежності між змінними. Нелінійна залежність замінюється зазвичай лінійною, дискретна функція розподілу ймовірностей – неперервною тощо;
- зміна обмежень (збільшення, виключення чи модифікація). Після зняття обмежень одержуємо оптимістичне рішення, після введення – песимістичне. Варіюючи обмеженнями, можна знайти можливі граничні значення ефекту чи ефективності. Такий спосіб часто застосовують для знаходження попередніх оцінок ефективності рішень на етапі постановки задач;
- обмеження точності моделі. Точність результатів моделі не може бути вищою за точність вхідних даних.

Принцип 7. Блочна побудова.

За дотримання цього принципу полегшується розроблення складних моделей і з'являється можливість використання накопиченого досвіду та адаптації готових блоків із мінімально необхідними зв'язками між ними. Виокремлення блоків відбувається з урахуванням розподілення моделі за етапами й режимами функціонування об'єкта (системи).

Складні об'єкти (системи) потребують розробки цілої ієрархії моделей. Виокремлюють такі рівні, як вся система, підсистеми, підсистеми керування тощо.

Використання математичних методів в економічному аналізі жодною мірою не зводиться до підбору прийнятих формул, підстановки в них певних чисел та певного чаклування, в результаті чого виходить «відповідь».

Рекомендація відомого американського вченого Р. Хемінга:
«Мета обчислень – розуміння, а не числа»;
«перш ніж розв'язувати задачу, подумай, що робити з її розв'язком».

1.4. Особливості економіко-математичного моделювання СЕС

Економіко-математична модель – це:

- математична модель, що описує механізм функціонування певної економічної чи соціально-економічної системи (СЕС);
- концентроване вираження найсуттєвіших *економічних взаємозв'язків* досліджуваних об'єктів (процесів) у вигляді математичних функцій, нерівностей і рівнянь.

Однією з **важливих передумов та особливостей економіко-математичного моделювання** є наповнення розроблених моделей конкретною та якісною інформацією.

Точність і повнота первинної інформації, реальні можливості її збору й опрацювання справляють визначальний вплив на вибір типів прикладних моделей.

З іншого боку, завдання моделювання економіки висувають нові вимоги до системи інформації.

Залежно від модельованих об'єктів і призначення моделей використовується в них *вхідна інформація* має суттєво відмінний характер і походження. Вона *може бути розподіленою на дві категорії*:

- щодо минулого розвитку та сучасного стану об'єктів – отримана в результаті економічних спостережень й опрацювання;
- про майбутній розвиток об'єктів (включає дані про очікувані зміни, внутрішні параметри та зовнішні умови (прогнози) – є результатом самостійних досліджень, які також можуть проводитися за допомогою моделювання.

Методи економічних спостережень і використання їхніх результатів розробляються *економічною статистикою*. З огляду на це варто визначити лише специфічні проблеми економічних спостережень, які стосуються моделювання економічних процесів. В економіці чимало процесів є масовими: вони характеризуються закономірностями, що не проявляються на підставі лише одного чи кількох спостережень. Тому *моделювання в економіці має спиратися на масові спостереження*.

Інша проблема породжується *динамічністю економічних процесів*, мінливістю їхніх параметрів і структурних відношень. Унаслідок цього доводиться постійно вивчати економічні процеси, здійснювати їх моніторинг. Оскільки спостереження за цими процесами й опрацювання емпіричних даних зазвичай забирають досить багато часу, то, будуючи економіко-математичні моделі, необхідно коригувати вхідну інформацію з урахуванням її надходження із деяким запізненням у часі.

Дослідження кількісних відношень економічних процесів і явищ спирається на *економічні виміри*.

Точність проведення вимірювань значною мірою впливає на точність кінцевих результатів кількісного аналізу. Тому застосування математичного моделювання загостило проблему вимірювання та кількісного зіставлення різних аспектів і явищ соціально-економічного розвитку та повноти одержуваних даних, захисту їх від навмисних і технічних викривлень (деформації).

1.5. Етапи економіко-математичного моделювання СЕС та загальна оцінка якості моделі

Можна виокремити **шість основних етапів процесу математичного моделювання СЕС**. Узагальнена схема цього процесу представлена на рис. 1.5.

Розглянемо зміст цих етапів більш детально.

Етап 1. Постановка економічної проблеми та розробка концептуальної (змістовної) моделі.

Головне на цьому етапі – чітко сформулювати сутність проблеми (цілі дослідження), припущення, що приймаються, і ті питання, на які необхідно одержати відповіді. З урахуванням цілей дослідження проводиться якісний аналіз об'єкта; виокремлюються, абстрагуючись від другорядних, найважливіші риси і властивості об'єкта, що моделюється. З позиції системного підходу вивчаються структура об'єкта й головні взаємозв'язки між його елементами (підсистемами). Обираються та обґрунтовуються основні показники й система гіпотез, що пояснюють поведінку та розвиток об'єкта і на основі яких буде відбуватися подальша формалізація.

На цьому етапі моделювання широко застосовуються *якісні методи описання систем, знакові та мовні моделі*. Таке попереднє, наближене зображення системи називають *концептуальною моделлю*.

Етап 2. Розробка математичної моделі.

Це етап формалізації економічної проблеми, вираження її у вигляді конкретних математичних залежностей і відношень (функцій, рівнянь, нерівностей тощо). На цьому етапі проводиться теоретичне (аналітичне) дослідження моделі, обираються методи дослідження й розв'язку.



Рис. 1.5. Узагальнена схема процесу економіко-математичного моделювання

Метою теоретичного (аналітичного) дослідження є з'ясування загальних властивостей моделі. Найважливіший момент – доведення існування розв'язку для моделі. Знання загальних властивостей моделі є дуже важливим. Тому часто задля доведення подібних властивостей дослідники свідомо йдуть на ідеалізацію первинної моделі. У тому разі, коли аналітичними методами не вдається з'ясувати загальні властивості моделі, а спрощення моделі спричиняється до недопустимих (неадекватних) результатів, переходять до числових методів дослідження.

Етап 3. Реалізація моделі у вигляді комп'ютерної програми та проведення розрахунків.

Включає розробку алгоритмів для числового розв'язування задачі, складання програм на комп'ютері (або використання існуючих комп'ютерних програм із відповідною адаптацією) і безпосереднє проведення розрахунків. Труднощі цього етапу зумовлені передусім великою розмірністю економічних задач, необхідністю опрацювання значних масивів інформації. Завдяки високій

швидкодії сучасної комп'ютерної техніки вдається проводити числові «модельні» експерименти, вивчаючи «поведінку» моделі за різних значень деяких умов. Дослідження, що проводяться за допомогою числових методів, можуть стати суттєвим доповненням до результатів аналітичного дослідження. Клас економічних задач, які можна розв'язувати числовими методами, значно ширший, ніж клас задач, доступних аналітичному дослідженню.

Етап 4. Аналіз результатів модельних обчислень, порівняння їх з фактичними даними та прийняття відповідних рішень.

Результати досліджень подаються у вигляді, зручному для огляду, і на основі обробки отриманих результатів проводиться аналіз матеріалів дослідження моделі. На цьому етапі вирішується питання про правильність і повноту результатів моделювання, про можливість практичного застосування останніх, і, найголовніше, про досягнення цілей дослідження.

Отже, цей етап виконується, насамперед, з метою перевірки моделі на адекватність.

Модель вважається *адекватною* об'єкту-оригіналу, якщо вона з достатнім ступенем наближення (на рівні розуміння аналітика) відтворює закономірності процесу функціонування реальної економічної системи в зовнішньому середовищі.

Вимога адекватності є суперечною вимозі простоти, і це слід враховувати, перевіряючи модель на адекватність. Початковий варіант моделі попередньо перевіряється за такими основними аспектами: чи всі суттєві параметри включені в модель; чи містить модель несуттєві параметри; чи правильно відображені функціональні зв'язки між параметрами; чи правильно визначені обмеження на значення параметрів тощо.

Для встановлення відповідності створюваної моделі оригіналу (*адекватності*) використовують такі *методи*:

- порівняння результатів моделювання з окремими експериментальними результатами, одержаними за однакових (подібних) умов;
- використання інших моделей;
- порівняння структури і функціонування моделі з прототипом.

Головним шляхом перевірки адекватності моделі досліджуваного об'єкта виступає практика. Але вона потребує накопичення статистики, котра не завжди буває достатньою для отримання надійних даних. Для багатьох моделей перші два методи виявляються менш прийнятними. Тоді залишається лише один шлях: висновок про подібність моделі та прототипу робити на підставі порівняння їхніх структур і виконуваних функцій. Такі висновки не мають формального характеру, оскільки ґрунтуються на досвіді та інтуїції дослідника.

Згідно з результатами перевірки моделі на адекватність приймається рішення про необхідність проведення її коригування (перехід до етапу 5) чи можливість її практичного використання (перехід до етапу 6).

Етап 5. Корегування моделі, формування нових гіпотез.

У процесі дослідження виявляються недоліки попередніх етапів моделювання. Недоліки, які не вдається виправити на проміжних етапах моделювання, необхідно усунути, повертаючись до попередніх етапів. Отже, *процес моделювання має циклічну структуру*. Результати кожного циклу мають і цілком самостійне значення. Розпочавши дослідження від побудови простої моделі, можна швидко одержати корисні результати, а потім перейти до створення досконалішої моделі.

Етап 6. Впровадження (використання) моделі.

Впровадження моделі можна розглядати як самостійну задачу, застосувавши до неї й системний підхід, і аналіз. Отриманий математичний розв'язок формулюють у відповідній змістовній формі (здійснюють *інтерпретацію* результатів) та представляють замовникові у вигляді інструкцій та рекомендацій.

Зауваження щодо загальної оцінки якості моделі

Творчий характер процесу моделювання зумовлює різноманітність критеріїв оцінки якості моделі.

З погляду **розроблювача** «гарною» моделлю є *нетривіальна, потужна й витончена модель*.

Нетривіальна модель дозволяє проникнути в сутність поведінки системи та розкрити деталі, які не є очевидними при безпосередньому спостереженні.

Потужна – дає змогу отримати множину (декілька) таких нетривіальних висновків.

Витончена – має досить просту структуру й реалізованість.

Із погляду **користувачів**, які виявляють більше прагматизму при оцінці моделі, «гарна» модель – це модель *релевантна, точна, результативна, економічна*.

Модель є :

релевантною (від англ. relevance – доречність), якщо вона відповідає поставленій меті;

точною – якщо її результати достовірні;

результативною – якщо отримані результати дають продуктивні висновки;

економічною – якщо ефект від використання отриманих результатів перевершує витрати на її розробку та реалізацію.

У будь-якому випадку дослідник повинен обґрунтувати необхідність використання конкретної моделі, що застосовується.

1.6. Елементи класифікації економіко-математичних моделей

Для класифікації економіко-математичних моделей використовують різні *класифікаційні ознаки*.

За цільовим призначенням економіко-математичні моделі поділяються на *теоретико-аналітичні*, що використовуються під час дослідження загальних

властивостей і закономірностей економічних процесів, і *прикладні*, що застосовуються в розв'язанні конкретних економічних задач (моделі економічного аналізу, прогнозування, управління).

Відповідно до загальної класифікації математичних моделей вони поділяються на *функціональні* та *структурні*, а також *проміжні* форми (структурно-функціональні). Типовими структурними моделями є моделі міжгалузевих зв'язків. Прикладом функціональної моделі може слугувати модель поведінки споживачів в умовах товарно-грошових відносин.

Моделі поділяють на *дескриптивні* та *нормативні*. Прикладом дескриптивних моделей є виробничі функції та функції купівельного попиту, побудовані на підставі опрацювання статистичних даних. Типовим прикладом нормативних моделей є моделі оптимального (раціонального) планування, що формалізують у той чи інший спосіб цілі економічного розвитку, можливості і засоби їх досягнення.

За характером відображення причинно-наслідкових аспектів розрізняють *моделі жорстко детерміновані* і *моделі, що враховують випадковість і невизначеність*.

За способами відображення чинника часу економіко-математичні моделі поділяються на *статичні* й *динамічні*.

Моделі економічних процесів надзвичайно різноманітні за формою математичних залежностей. Важливо виокремити клас *лінійних моделей*, що набули значного поширення завдяки зручності їх використання. Відмінності між лінійними і нелінійними моделями є суттєвими не лише з математичного погляду, а й у теоретико-економічному плані, адже багато залежностей в економіці мають принципово нелінійний характер.

За співвідношенням *екзогенних* і *ендогенних змінних*, які включаються в модель, вони поділяються на *відкриті* і *закриті*. Повністю відкритих моделей не існує; модель повинна містити хоча б одну ендогенну змінну. Повністю закриті економіко-математичні моделі, тобто такі, що не містять екзогенних змінних, надзвичайно рідкісні. Переважна більшість економіко-математичних моделей посідає проміжну позицію і розрізняється за ступенем відкритості (закритості).

1.7. Роль прикладних економіко-математичних досліджень

Можна виокремити щонайменше **чотири аспекти застосування математичних методів і моделей у вирішенні практичних проблем**.

1. Удосконалення системи економічної інформації. Математичні методи й моделі дають змогу упорядковувати економічну інформацію, виявляти недоліки в наявній інформації та розробляти вимоги до підготовки нової інформації чи її коригування. Розроблення і застосування економіко-математичних моделей вказують шляхи вдосконалення системи економічної інформації, орієнтованої на вирішення певних завдань планування та управління.

2. Інтенсифікація і підвищення точності економічних розрахунків.

Формалізація економічних задач і застосування комп'ютерів значно прискорюють типові, масові розрахунки, підвищують точність і скорочують трудомісткість, дають змогу проводити багатоваріантні економічні дослідження та обґрунтування складних заходів, які недосяжні за панування «ручної» технології.

3. Поглиблення кількісного аналізу економічних проблем. Завдяки застосуванню економіко-математичного моделювання створюються нові можливості економічного аналізу; вивчення чинників, які впливають на економічні процеси; кількісного оцінювання наслідків змін умов розвитку економічних об'єктів тощо.

4. Розв'язання принципово нових економічних задач. За допомогою математичного моделювання вдається розв'язувати економічні задачі, які в інший спосіб розв'язати практично неможливо, наприклад, відшукування оптимального варіанта народногосподарського плану, імітація народногосподарських заходів, автоматизація контролю за функціонуванням складних економічних об'єктів.

Сфера практичного застосування економіко-математичного моделювання обмежується можливостями та ефективністю формалізації економічних проблем і ситуацій, а також станом інформаційного, математичного, технічного забезпечення використовуваних моделей. Намагання будь-якою ціною застосувати математичну модель може не дати очікуваних результатів через відсутність необхідних умов.

Питання для самоконтролю:

1. У чому полягає основна особливість моделювання?
2. Що є передумовою для практичного застосування математичного моделювання в економіці?
3. У чому полягає суть принципу абстрагування від другорядних деталей?
4. Як можна класифікувати моделі за характером відображення причинно-наслідкових аспектів?
5. Які методи використовують для перевірки моделі на адекватність?
6. Назвіть основні переваги застосування математичних моделей в економіці.

Змістовий модуль 2

Лекція 2. Моделювання системних характеристик соціально-економічних систем

Мета: ознайомитися з концепцією оцінювання адаптивних та динамічних властивостей соціально-економічних систем, основними видами збурюючих впливів на них та системою моделей для відображення та оцінювання адаптивних характеристик СЕС.

План:

- 2.1. Проблема прийняття рішень та невизначеність інформації в економіці.
- 2.2. Загальний огляд динамічних характеристик СЕС.
- 2.3. Основні джерела нестійкості плану.
- 2.4. Основні функціональні характеристики планів.
- 2.5. Взаємозв'язок функціональних характеристик планів.

Перелік ключових термінів і понять: *маневреність планових рішень, міра маневрування, еластичність планів, надійність планів, напруженість планів, інерційність економічних систем, адаптивність плану, актуальність планових рішень, ентропія, ентропійні характеристики плану.*

2.1. Проблема прийняття рішень та невизначеність інформації в економіці

У широкому сенсі під *прийняттям рішень* розуміється *особливий процес людської діяльності, спрямований на вибір найкращого варіанту дій.*

Прийняття рішень становить суть процесу управління, незалежно від області застосування. У науковій та навчальній літературі для поняття «прийняття управлінського рішення» існують визначення різного ступеня повноти: від найкоротшого (рішення – це вибір альтернативи) до більш розгорнутого. Зокрема, *прийняття управлінського рішення* – це спрямований на досягнення поставленої мети вольовий вплив суб'єкта управління на його об'єкт.

Особливий (визначальний) вплив процес прийняття рішень має на результати економічної діяльності. Тому процес прийняття рішень є об'єктом уваги майже всіх економічних теорій, які різняться, зокрема, предметом дослідження. Сьогодні існують вже достатньо розвинуті класифікації управлінських рішень за різними ознаками (зміст, міра складності, форма, час, вплив на майбутнє тощо). Проте загальновизнаним є і те, що процес прийняття рішень є особливим – творчим – процесом, що має кілька стадій або етапів, основними з яких є підготовка рішень, прийняття рішень та реалізація рішень.

Перший етап – підготовка рішення – це аналіз ситуації, в якій перебуває об'єкт управління (підприємство, фірма тощо), включаючи пошук, збирання і

опрацювання інформації, а також виявлення і формування проблеми, що потребує вирішення.

На стадії прийняття рішення опрацьовуються та оцінюються альтернативні рішення і напрями дій, що провадяться на основі багатоваріантних розрахунків; виробляються критерії вибору оптимального рішення; обирається і приймається кінцеве найкраще рішення.

Усі процеси управління відбуваються на основі застосування інформації. В економіці невизначеність економічної інформації завжди об'єктивно наявна на стадіях підготовки та прийняття рішень. Основне джерело цієї невизначеності — неточність, неповнота інформації про сировинну базу та інші ресурси, можливості й наслідки науково-технічного прогресу, зміни попиту та пропозиції тощо.

Оскільки невизначеність, неповнота інформації в економічній діяльності існують завжди, то економічні теорії, а особливо теорії прийняття рішень, планування, які цього не враховують, можуть вважатися лише першими наближеннями до реальної дійсності. Інструментарієм переходу до другого наближення стають нові теорії, зокрема, стохастичне програмування, теорія нечіткої оптимізації, теорія ігор, імітаційне моделювання, нелінійна динаміка та інші.

У ринковій економіці підвищуються вимоги до забезпечення прийняттого рівня ризику та надійності планів і економічних рішень. Адже за «ненадійність», недоцільний ризик доводиться розраховуватися власними коштами. Зокрема, якщо економічна система матиме низькі маневрені властивості, то це не дасть змогу швидко реагувати на зміни зовнішніх умов її функціонування та розвитку (зміни в номенклатурі та попиті, науково-технічному прогресі тощо).

Так, одним з основних напрямів урахування невизначеності, неповноти інформації в теорії оптимального планування є **концепція адаптивності плану**, його параметрів. Координація планів, адаптивність їх щодо додаткової інформації, яка надходить у процесі функціонування, є значним чинником підвищення ефективності економічних систем. Наприклад, у задачах багатоетапного стохастичного оптимального планування значення змінних та відповідних двоїстих оцінок залежить від умов реалізації плану, які постійно змінюються. Адаптуючи план, можна зменшити ризик і одержати економічний ефект (порівняно з неадаптивними підходами). Виявляється, що міра адаптивності плану є величиною, яку можна оптимізувати. Надмірна надійність (малий ризик) зумовлює певні додаткові витрати, що забезпечують мінімізацію ризику відхилень від плану, а це призводить до виникнення ризику невикористаних можливостей (надмірних витрат). Ці витрати пов'язані зі збільшенням запасів, необхідністю розробки певних заходів тощо.

Найважливішою характеристикою якості плану є його ефективність (рентабельність, строк окупності, прибуток тощо). Проте цього показника для оцінки недостатньо, оскільки фактичні умови реалізації планів можуть суттєво відрізнитися від тих, які були спочатку передбачені й планувалися як

передумови досягнення відповідних рівнів ефективності. Тому виникають проблеми: стійкості показників ефективності, економічного маневрування для стабілізації вихідних характеристик, еластичності, надійності та напруженості планових рішень – їх системних характеристик.

Виявляється, що теорії планування, які виходять із детерміністських уявлень про наявність вичерпної інформації щодо майбутніх умов реалізації планів, також не здатні описати багато істотних моментів функціонування та розвитку економічних систем. У межах детерміністичного підходу неможливо описати процес адаптації планів до нової інформації, їхню гнучкість. Водночас за детерміністичного підходу відсутнє наукове обґрунтування для коригування та маневреності планів, для створення запасів тощо.

Системні властивості економічних планових рішень слід розглядати як урахування таких важливих характеристик планів, як ризик та надійність їх реалізації, еластичність, маневреність, гнучкість, інерційність, живучість, стійкість тощо.

Урахування чинників, що впливають на означені характеристики, дає змогу глибше проникнути в суть оптимізації процесів розвитку та функціонування економічних систем за невизначеності вхідної інформації. Зокрема, виникає можливість здійснити економіко-математичний аналіз рівня ризику та надійності планових рішень та обґрунтувати вимоги для забезпечення раціонального рівня цих показників на етапі прийняття рішень.

Системні характеристики планів (ризик та надійність, надійність та еластичність, ризик та еластичність) взаємопов'язані. Наприклад, маневрені якості планів справляють значний вплив на еластичність, надійність, ризикованість.

Із метою управління на стадії планування є певні можливості вибору складу, структури, побудови планованої підсистеми, від яких істотно залежать маневреність, ризикованість, надійність та еластичність плану. Виникає завдання виділити й описати фактори системного характеру, що впливають на поведінку плану як системи.

2.2. Загальний огляд динамічних характеристик СЕС

Ціль розглянутих методів і моделей – визначити динамічні характеристики прийнятого рішення, яке вже репрезентовано у вигляді конкретного плану.

План сам по собі виявляється складною системою, яку необхідно досліджувати для того, щоб найбільш ефективно управляти нею. Це пов'язано з тим, що при розробці плану доводиться враховувати не стільки поточну ситуацію, скільки прогноз на майбутнє. Проте процес планування для економічних систем будь-якого рівня ієрархії суттєво ускладнюється динамічністю зовнішнього середовища та інших чинників.

Нагадаємо, що найважливішою характеристикою якості плану є його ефективність. Залежно від об'єкта планування й низки інших факторів

вимірниками ефективності можуть бути: рентабельність, строк окупності, прибуток, національний доход та ін.

Проте для оцінки якості планів одних показників ефективності недостатньо: фактичні умови реалізації планів можуть суттєво відрізнятись від тих, які були спочатку передбачені й планувалися як передумови досягнення відповідних рівнів ефективності.

Зміни умов реалізації в порівнянні з тими, які розглядалися при побудові плану, можуть стосуватись практично всіх умов реалізації плану: від ресурсної забезпеченості виробництва до змін технологій у зв'язку з розвитком НТП. У багатьох галузях народного господарства (сільське господарство, виробництва аграрно-промислового комплексу) на виконання планів суттєво впливають погодні умови.

Зміни умов реалізації планів можуть бути пов'язані й із внутрішньогалузевою, міжгалузевою й міжнародною конкуренцією, а для великих промислових систем також і з зовнішньополітичними факторами, прикладами чого дуже багата історія української економіки.

Природно, що в результаті цих змін в умовах виконання планів фактичні рівні ефективності можуть значно відрізнятись від планових, у зв'язку з чим виникає *проблема стійкості показників ефективності*.

На стадії планування є певні можливості вибору складу, структури, побудови планованої підсистеми. Так, можна варіювати набори, що включаються в план, об'єктів, технологій, способів функціонування; економічними й технологічними зв'язками об'єктів як усередині планованої системи, так і між підсистемами; рівнями спеціалізації, концентрації виробництва, кооперування й комбінування.

Обираючи той або інший варіант плану, ми тим самим значною мірою визначаємо можливості планованої системи реагувати на різні збурювання, перебудовуватись, пристосовуватись до змін умов реалізації планів. Інакше кажучи, ми зумовлюємо можливості стабілізації її вихідних характеристик.

Як основні характеристики плану, що описують властивості його стійкості та стабільності, у літературі розглядається його еластичність і надійність.

При цьому під еластичністю розуміється ступінь досягнення кінцевих цілей плану при змінах умов його реалізації, а під надійністю – ймовірність виконання закладених у план показників ефективності. До найважливіших характеристик плану належить також його напруженість (що доповнює надійність плану або їй обернена).

Другий важливий аспект проблеми стійкості плану – управління надійністю й еластичністю планів.

Найбільші можливості надає економічне маневрування, особливо для довгострокових програм розвитку. Властивості економічної інерції й зворотні їм характеристики можливої зміни керуючих параметрів систем, тобто властивості маневреності, розглядаються як визначальні при дослідженні проблем стійкості (стабільності).

Інші шляхи підвищення надійності й еластичності планів: резервування, взаємозамінність продукції й ресурсів.

Можливості маневрування планованої системи при збуреннях в умовах її функціонування визначаються (більшою мірою) прийнятим варіантом її складу, структури й будови. У зв'язку з цим виникає завдання виділити й описати фактори системного характеру, що впливають на маневрені можливості. Одним із найважливіших факторів у цій області є різноманітність складу і структури системи, а також можливих у ній управлінь.

В умовах зростаючої невизначеності інформації й можливих збурень особливе значення має питання про те, на скільки зростуть витрати, якщо виникне необхідність відмовитися від реалізації частини плану. Для характеристики зв'язків, що утворюються при цьому, вводиться представлення про оборотність і необоротність планових рішень.

2.3. Основні джерела нестійкості плану

До основних джерел нестійкості планів, які розроблено для СЕС можна віднести такі чинники.

Зміни зовнішніх умов (можливостей) виконання плану:

– забезпеченість різними видами ресурсів. Причина: зміни умов експортно-імпортних поставок, планів підприємств-постачальників ресурсів, зумовлених внутрішніми і зовнішніми обставинами реалізації планів суміжних підприємств (галузей).

– природно-географічні та інші аналогічні зовнішні умови. Причина: їх зміни в порівнянні з початковими умовами, закладеними в план, можуть бути викликані стохастичним або варіантним характером частини цих умов, недообліком усіх деталей обстановки та ін.

Як правило, варіювання цієї групи умов знаходить своє відображення в зміні витратних коефіцієнтів по ресурсах (норм витрати ресурсів) і вартісних коефіцієнтів цільової функції.

Зміни внутрішніх умов виконання плану – зміни інтенсивності, структури та ефективності:

– науково-технічного прогресу, закладеного в початковий план;
– механізмів функціонування об'єкта планування;
– технологічної та організаційної структури плану (вони можуть викликати, зокрема, зміну допустимої транспортної схеми, схеми технологічних зв'язків та ін.).

Причини можливих змін цієї групи полягають у стохастичності результатів науково-технічного прогресу (особливо при стратегічному плануванні), у множинності факторів і умов, що формують технологічні і транспортні схеми та їх параметри зі значним впливом імовірнісних і невизначених обставин тощо.

Зміна цільових установок плану:

– варіювання обсягу та асортименту випуску продукції (зміна вектора продукції);

- зміна цільової функції (особливо при екстраординарних обставинах);
- поява нових підцілей, що враховуються, наприклад, додатковими обмеженнями або складовими цільової функції.

Причинами зміни цільових установок плану можуть бути різноманітні фактори – від зовнішньополітичних до внутрішньофірмових.

Розглянуті зміни можуть бути як *вимушеними*, тобто по відношенню до планованої системи пасивними, так і *активними, цілеспрямованими*. Активний характер змін запланованих спочатку зовнішніх і внутрішніх умов реалізації планів може бути викликаний підвищеною ефективністю і цілеспрямованістю науково-технічного прогресу, надплановою макроекономічною активністю тощо.

Частина вимушених змін оцінюється як негативна, і природно прагнення різними шляхами послабити їхню дію. Але існує й не виправна сукупність змін, що носять характер об'єктивних закономірностей.

Зміни зовнішніх і внутрішніх умов виконання планів змушують плановану систему якимось перебудовуватися, пристосовуватися до нових умов.

2.4. Основні функціональні характеристики планів

До основних функціональних характеристик планів можна віднести:

Маневреність планових рішень. Маневреність – реакція системи на зміну внутрішніх і зовнішніх умов реалізації її плану, а також на зміну цільових установок плану.

Існує широка гама можливостей маневрування, але змістовно їх можна звести до маневру: ресурсами, продукцією, способами функціонування та інтенсивностями способів.

По кожному з цих напрямів можливі два основні способи маневрування:

- зміна характеристик обсягів;
- організація взаємозамін у межах існуючих можливостей.

Маневрування способами функціонування – інтерпретується як перехід від одного набору в базисі плану до іншого. Кожному способу функціонування з вихідної множини J , існуючої до прийняття рішення про варіант плану, що обирається, відповідає деяка підмножина $J_1 \subset J$ допустимих переходів на інші способи в даному плановому періоді.

Встановлення допустимої області маневрування способами, або допустимих переходів (у якомусь періоді) від одного способу функціонування до іншого, з підмножини J_1 , можна звести до обмеження допустимих при цьому відмінностей у способах функціонування, до встановлення такої області подібності, всередині якої можливий маневр:

$$0 \leq \Delta_{jk} \leq \Delta_j^*, \quad (2.1)$$

де Δ_j^* – нормоване значення граничної відстані, на яку можна віддалитися в процедурах маневрування від вихідного способу функціонування j , включеного до плану.

Із метою спрощення цю функціональну залежність можна, наприклад, перетворити в лінійну функцію:

$$\Delta_j^* = a_j^* T \quad \text{або} \quad \Delta_j^* = \Delta_{j0}^* + a_j^{*1} \cdot T, \quad (2.2)$$

Варіювання інтенсивностей використання способів.

При постановці оптимізаційних завдань планування для них вказується деяка область існування. Це або вимога невід'ємності змінних ($x_j \geq 0$), або одночасно встановлення верхніх меж існування: $0 \leq x_j \leq \bar{x}_j$, $j \in J$, де \bar{x}_j – можливі граничні значення інтенсивностей, або встановлення двосторонніх обмежень: $b_j \leq x_j \leq \bar{x}_j$.

Практично нормування кордонів (коридорів) допустимого маневрування в динамічних задачах планування можна здійснювати таким чином:

$${}^+ \Delta x_{jt}^l \leq {}^+ \bar{\Delta}_{jt}^l; \quad - \Delta x_{jt}^l \leq - \bar{\Delta}_{jt}^l, \quad (2.3)$$

де ${}^+ \Delta x_{jt}^l$, $- \Delta x_{jt}^l$ – можливі позитивні і негативні зміни інтенсивностей у t -му році на j -му об'єкті по l -му способу; ${}^+ \bar{\Delta}_{jt}^l$, $- \bar{\Delta}_{jt}^l$ – гранично допустимі позитивні і негативні прирощення інтенсивностей.

Розміри коридорів маневрування визначаються: природно-географічними; техніко-технологічними; організаційно-економічними; а також прийнятими значеннями інтенсивностей, причому коридори маневрування завжди знаходяться всередині області існування інтенсивностей.

Визначальними для цих властивостей факторами є:

- ступінь дискретності введення потужностей;
- співвідношення витрат ресурсів та капіталовкладень на будівництво об'єктів і на створення інфраструктури;
- витрати, що не залежать від потужності і пропорційних їй коефіцієнтів повних і прямих витрат;
- техніко-технологічні особливості об'єктів і способів та низка інших.

Міру маневрування M прийнятого варіанта плану можна визначити, такою композицією:

$$M = \{ {}^+ \Delta x_j^l, - \Delta x_j^l, \Delta_j^* \}, \quad (2.4)$$

де ${}^+ \Delta x_j^l$, $- \Delta x_j^l$ – вектори граничних показників маневрування відповідно в бік збільшення і зменшення інтенсивностей по об'єктах і способах, що увійшли в базис плану;

Δ_j^* – вектор допустимих відстаней переходів від способу до способу для всіх способів функціонування (з ненульовими інтенсивностями), що входять у базис плану.

Припустимо, наприклад, що пронормовані дві відстані від образу повної інерційності до $\Delta_M^{\tilde{n}\tilde{e}}$ і $\Delta_M^{\tilde{n}\tilde{\delta}}$ – слабо- і середнєманеврених систем. Тоді сформується такі класи:

- слабоманеврені (високоінерційні): $0 < \Delta_M \leq \Delta_M^{cl}$;

- середньоманеврені (середнеінерційні): $\Delta_M^{cl} < \Delta_M \leq \Delta_M^{cp}$;
- високоманеврені (слабоінерційні): $\Delta_i^{\tilde{n}\delta} < \Delta_M$.

Еластичність планів. Під еластичністю плану в загальному випадку розуміється його здатність до певних «деформацій» без істотної втрати можливості реалізації кінцевих цілей.

Існують різні способи характеристики еластичності планів. Один із них полягає в оцінці ступеня впливу забезпеченості яким-небудь (або всіма) ресурсом на випуск продукції.

Якщо відомий механізм формування оптимального плану, то існує й певний зв'язок між недовипуском продукції і зменшенням забезпеченості ресурсами:

$$F\left(\frac{\Delta P_k}{P_k}, \frac{\Delta S_i}{S_i}\right) = 0 \quad (2.5)$$

Залежність між відносним недовипуском k -ої продукції ($\Delta P_k / P_k$) і відносною недопоставкою i -го ресурсу ($\Delta S_i / S_i$) характеризує еластичність плану відносно зв'язку $P_k \leftrightarrow S_i$. У кожній точці розглянутої функції еластичності відношення характеризує жорсткість, а обернене йому – еластичність плану.

$$g_{ki} = \frac{\Delta P_k}{P_k} \div \frac{\Delta S_i}{S_i} ; \quad e_{ki} = \frac{1}{g_{ki}} = \frac{\Delta S_i}{S_i} \div \frac{\Delta P_k}{P_k} \quad (2.6)$$

При недопоставці одночасно ряду ресурсів можна говорити про вектор недопоставки $\overline{\Delta S_i}$.

Причини недопоставок:

- недопоставки найбільш несприятливо впливають на реалізацію плану і зумовлюють необхідність послідовності незапланованих заходів щодо усунення, зниження цих впливів;
- інші несприятливі наслідки умов невизначеності, такі, наприклад, як занижені норми витрати ресурсів, завищені норми випуску продукції в технологічному забезпеченні плану, можуть бути, як правило, зведені якраз до недопоставки ресурсів;
- надпланові поставки ресурсів є з позицій надійності плану економічної системи її резервами.

Головним джерелом існування характеристик еластичності як деяких функціональних властивостей тих чи інших варіантів планів є їх *інерційність*.

Інерційність і правила маневрування встановлюють зв'язність цих станів, роблять актуальним завдання управління еластичності як характеристикою планів.

Способи управління еластичністю планів поділяються на:

- зовнішні (з боку середовища): підвищення ступеня зарезервованості плану по продукції та ресурсах і рівнів взаємозамінності різних видів продукції, що випускаються системою;
- внутрішні (в плановій системі): поліпшення маневрених якостей плану (системи); підвищення рівнів взаємозамінності ресурсів, об'єктів,

технологічних способів тощо; посилення комплексування та оптимізація рівнів спеціалізації; ослаблення локальних обмежень по ресурсах; вибір оптимального складу, структури, будови системи, зміна набору способів функціонування об'єктів і технологій, збільшення їх різноманітності аж до необхідної.

Надійність планів. Надійність плану можна визначити як потенційну ймовірність виконання рішень, які містяться в ньому щодо обсягів і термінів.

Надійність H_k плану з випуску k -го виду продукції може бути визначена так:

$$H_k = 1 - \frac{E(\Delta P_k)}{P_k}, \quad (2.7)$$

де P_k – випуск продукції k -го виду, встановлений планом;

$E(\Delta P_k)$ – математичне сподівання недовипуску k -го виду продукції.

Якщо недовипуск продукції пов'язаний з недопоставкою ресурсів, і при цьому вектор можливих недопоставок заданий розмірами недопоставки якого-небудь виділеного ресурсу (що передбачає збереження асортиментного складу недопоставок), то надійність плану по випуску k -ої продукції можна визначити ще таким чином:

$$H_k = 1 - \frac{E(\Delta S^*)}{S^* e_k^*}, \quad (2.8)$$

де $E(\Delta S^*)$ – математичне сподівання недопоставки виділеного ресурсу S^* ;

e_k^* – середній в діапазоні ΔS коефіцієнт еластичності по випуску k -ої продукції.

Вектор надійності плану по випуску в цілому:

$$H(P) = (H(P_k)), \quad k = \overline{1, K} \quad (2.9)$$

Надійність плану «по валу» у вартісному вираженні:

$$H(C) = 1 - \frac{E\left(\frac{\Delta S^*}{S^*}\right) \sum_{k=1}^K \frac{C_k}{e_k^*} P_k}{W}, \quad (2.10)$$

де $H(C)$ – надійність плану по валу;

$E\left(\frac{\Delta S^*}{S^*}\right)$ – математичне сподівання відносної недопоставки виділеного

ресурсу S^* ;

C_k – вартісна оцінка одиниці продукції до k -го виду;

$W = \sum_{k=1}^K C_k P_k$ – валовий випуск продукції.

Надійність плану з випуску продукції залежить від усіх факторів, що впливають на його еластичність, а також від ймовірностей (і законів їх розподілу) постачання різних видів ресурсів у різних обсягах.

Напруженість плану. Напруженість плану виступає в якомусь сенсі синонімом ймовірності його невиконання. Напруженість планів тим вище, чим нижче їх надійність.

Напруженість плану можна визначити, наприклад, за одним із таких співвідношень:

$$N_k = A(1 - H_k) \quad (2.11)$$

або

$$N_k = \frac{B}{H_k}, \quad (2.12)$$

де N_k – напруженість плану з випуску k -ої продукції;

H_k – надійність плану з випуску k -ої продукції;

A і B – коефіцієнти бальності, за допомогою яких здійснюється переклад надійності плану в бальні оцінки напруженості.

Напруженість плану випуску продукції в цілому:

$$N(P) = \{N(P_k)\}, \quad k = \overline{1, K} \quad (2.13)$$

або по валу

$$N(C) = A(1 - H(C)) = \frac{AE \left(\frac{\Delta S^*}{S^*} \right) \sum_{k=1}^K \frac{C_k}{e_k^*} P_k}{W}, \quad (2.14)$$

або

$$N(C) = \frac{B}{H(C)} \quad (2.15)$$

Сукупність факторів, що визначають напруженість планів, та сама, що і для їх надійності. Це, перш за все, фактори, що формують еластичність плану, а також імовірнісні характеристики поставок різних видів ресурсів, необхідних для виконання планів.

Способи управління напруженістю планів співпадають із заходами, спрямованими на підвищення міри маневреності планів, їх еластичності та надійності. Це зумовлено тим, що організація взаємозамінності ресурсів і продукції, спрямоване зниження інерційності планових рішень, резервування і створення запасів тощо, ведуть одночасно до зниження напруженості планів.

Надійність плану відображає рівень збалансованості ресурсів і випуску продукції, що досягається при статистичному розумінні таких категорій, як норми витрат ресурсів (витратні коефіцієнти), ресурси, які виділяємо, тощо. Найвищі рівні напруженості планів будуть відповідати тим ситуаціям, коли ці коефіцієнти по ресурсах приймаються за їх оптимістичними оцінками, а виділення ресурсів відповідає песимістичним варіантами.

Актуальність планових рішень. Актуальність планових рішень визначається великою сукупністю факторів, і перш за все рівнем охоплення економічної системи планом, глибиною планованих заходів, їх ефективністю тощо.

Однак існує й інший розріз аналізу та оцінки актуальності планових рішень. Цей розріз можна назвати *аналізом мінливості і стабільності прийнятих планових рішень*.

Найбільш актуальні планові рішення – ті, що приймаються відносно інерційних і стабільних структурних елементів планованої системи, тобто рішення щодо вибору параметрів (зокрема, параметрів динаміки) найбільш інерційної частини об'єктів, способів, їх інтенсивностей, а також найбільш ефективної частини елементів системи. Навпаки, *найменш актуальні планові рішення* – ті, що приймаються відносно конкретних рівнів інтенсивностей або їх динаміки за малоінерційними об'єктами і способами, оскільки наперед відомо, що ці рішення піддадуться найбільшим змінам.

Інерційність економічних систем. Інерційність економічних систем – одне з головних джерел виникнення проблем узгодження коротко-, середньо- і довгострокових оптимумів.

Сама необхідність планування (особливо довгострокового) викликається більшою мірою наявністю істотних інерційних складових у планованих системах.

Загострюючи постановку питання, можна сказати, що обирати на стадії планування у відповідних виробничих, територіальних, тимчасових розрізах плану потрібно те, що характеризується в них інерційністю або стабільністю і одночасно ним можна керувати.

Так, зокрема, найбільший прояв інерційних якостей спостерігається при зміні:

- основних напрямів науково-технічного прогресу;
- місця та умов розміщення об'єктів у разі необхідності переходу від «легких» до «важких» місць розміщення або для об'єктів, які прив'язуються до джерел природних ресурсів;
- конкретних техніко-економічних характеристик об'єктів, якщо останні використовують передові напрямки науково-технічного прогресу і відносяться до числа кращих або унікальних;
- рівнів концентрації (потужностей, об'єктів) з найбільш стабільною або інерційною частини об'єктів із вузькими коридорами маневрування.

Ентропійні характеристики плану. Важливою властивістю перспективного плану, є певна ступінь різноманітності, яка, згідно У.Р. Ешбі, для будь-якої системи визначається множиною можливостей її перебування в різних станах.

Як міру різноманітності станів планованої системи можна використовувати *ентропію* в її шенонівському розумінні, тобто як математичне сподівання ймовірності перебування системи в певному стані.

За допомогою ентропії можна охарактеризувати різноманітність можливих станів системи при змінах станів зовнішнього середовища. Це відкриває можливості обліку при плануванні таких закономірностей, як обмеження різноманітності, надмірність, закон необхідної різноманітності тощо.

Аналіз зазначених закономірностей у застосуванні до плану розвитку економічної системи сприяє визначенню області та формулюванню необхідних правил маневрування, встановленню ємності і складу «ядра» еластичності і маневреності плану та ін.

Активність вихідних множин у планах. Оптимізаційні завдання планування формуються на базі вихідних множин об'єктів, технологій, способів функціонування. Їхні межі більшою мірою визначаються станом і перспективами розвитку науки і техніки, обмеженнями, що диктуються зовнішнім середовищем, та ін.

Розрізняються *пасивні та активні вихідні* множини.

До активних слід віднести такі реальні вихідні множини, які залежно від змін в обмеженнях, або цільових установах, або системи об'єктивно зумовлених оцінок починають з притаманною їм маневреністю міняти свої кордони і структуру.

Система об'єктивно зумовлених оцінок, одержувана на основі двоїстої динамічної задачі, відображає результат дії цільової функції й обмежень на ресурси і продукцію. Динаміку зміни меж активної вихідної множини можна, у зв'язку з цим, відобразити через вплив на них системи оцінок.

Такий підхід дозволяє одночасно врахувати ту обставину, що під впливом системи цін з'являються нові технології, технологічні способи, організаційні рішення та ін., тобто в результаті створюється якась спрямована активність.

Одне з головних положень запропонованого підходу полягає в тому, що напрямок такої активності визначається вектором об'єктивно обумовлених оцінок. Це означає, що, наприклад, економічно необхідні напрямки науково-технічного прогресу полягають, насамперед, у формуванні таких нових способів, які спрямовані на руйнування найбільш жорстких ресурсних обмежень або дозволять переробляти ресурси з нульовими і низькими оцінками в ресурси з високими оцінками та ін.

Основним завданням довгострокового планування стає при цьому не стільки оптимальний розподіл ресурсів, скільки руйнування ресурсних обмежень при збереженні загальної цільової установки – максимуму ефекту.

Характеристика динаміки витрат. У деяких ситуаціях адаптивні якості варіантів плану можуть бути певною мірою охарактеризовані «моментом витрат» відносно осі, що проходить через початок планового періоду (добуток витрат на плече часу).

«Момент витрат» у певному сенсі є мірою адаптивності плану.

Цей показник, зокрема, можна використовувати як додатковий критерій відбору варіантів плану (при аналізі множини можливих) з тих, що знаходяться в зоні економічної невизначеності за основним критерієм (наприклад, по мінімуму сумарних витрат з урахуванням фактора часу). Природно, що доцільність застосування вимірювачів адаптивності системи пов'язана з невизначеністю й імовірнісним характером деяких із майбутніх умов реалізації планів, а ця ситуація найбільш характерна для процедур перспективного планування і прогнозування.

2.5. Взаємозв'язок і взаємодія функціональних характеристик планів

Із розглянутих положень видно, що між багатьма функціональними характеристиками планів існує очевидний зв'язок, і насамперед – між надійністю й еластичністю плану, напруженістю й еластичністю, напруженістю і надійністю, актуальністю планових рішень та інерційністю елементів планованої системи та ін.

Інші зв'язки менш очевидні і носять алгоритмічний характер, тобто проявляються через алгоритми взаємодії характеристик, і, отже, вид зв'язку залежить від типу оптимізаційної задачі планування, її змісту та способу подання в ній цього зв'язку.

Подібні зв'язки є між усіма функціональними характеристиками, і особливо, якщо завдання планування носить досить загальний характер і на нього не накладаються спеціальні припущення, що спрощують.

Як вже зазначалося, характеристики маневреності планованої системи пов'язують різні її стани. Причому чим більше інерційність, тим вище і зв'язність станів системи, більш вимушене перенесення об'єктів і способів, оптимальних для якогось стану вектору продукції та ресурсів і стану системи при інших значеннях вектору обмежень, для яких ці об'єкти і способи інтенсивності вже не є оптимальними в детерміністському сенсі. Унаслідок цього маневрені якості плану суттєво впливають на всю його тріаду: еластичність, надійність, напруженість. Характер цього впливу простежується досить чітко, якщо сформульована задача оптимального планування, причому рівні еластичності, надійності, напруженості, заходи маневреності розглядаються в цій задачі оптимізації як головні керуючі змінні поряд з інтенсивностями способів функціонування та визначаються як оптимальні для якого-небудь стану вектора обмежень.

Сама оптимізаційна задача планування і зміст поняття оптимуму зазнають у зв'язку з цим досить істотних змін:

- змінюється набір керуючих змінних;
- оптимізація виходить на діапазон умов (постачань ресурсів):
- формуються в явній формі протиріччя між локальними оптимумами різних станів однієї й тієї ж системи;
- утворюється «правило ваги»: чим ближче до оптимуму знаходиться система при одному з крайніх станів вектора ресурсів, тим далі вона буде від оптимуму при іншому крайньому стані вектора ресурсів.

Важливо відзначити, що правило ваг формується тільки внаслідок інерційної пов'язаності станів системи і виявляється як в одноперіодній задачі оптимізації плану, так і в динаміці, висловлюючи протиріччя між локальними оптимумами системи при різних станах середовища. По суті, тут йдеться про те, що утворюється спеціальна задача узгодження локальних оптимальних станів системи при різних умовах, що задаються середовищем – аналогічно

задачі узгодження стану системи, оптимального для тих чи інших умов середовища, і станом, який одночасно може бути й оптимальним, і відповідним вимогам еластичності і надійності в діапазоні умов.

Одне з основних положень полягає в тому, що функціональні характеристики плану – маневреність, еластичність, надійність, напруженість тощо – в істотній мірі визначаються структурою плану, його складом і будовою, тобто структурними характеристиками.

Найважливішою структурною характеристикою плану є *ентропія* – міра різноманітності або одноманітності показників і характеристик елементів системи – способів функціонування, об'єктів та ін. У зв'язку з цим всі функціональні характеристики планованої системи залежать від структурної ентропії та ентропії станів.

Нарешті, весь комплекс функціональних і структурних характеристик плану може використовуватися для опису задач оптимального планування як на активних, так і на пасивних вихідних множинах способів функціонування та об'єктів.

Питання для самоконтролю:

1. Що розуміється під процесом прийняття рішень?
2. У чому полягає недостатність оцінки показників ефективності плану?
3. Які основні характеристики стійкості плану?
4. Які існують шляхи підвищення стійкості плану?
5. Із чим пов'язана необхідність розгляду функціональних характеристик прийнятих планових рішень?
6. Які основні матеріальні, фінансові, інформаційні потоки можна виділити у взаємодії з зовнішнім середовищем: виробничої системи; комерційного банку; економіки регіону; економіки країни?
7. Від чого залежать функціональні характеристики системи?
8. Які типи змін можливі у взаємодії економічної системи і зовнішнього середовища? Охарактеризуйте їх і наведіть приклади.
9. Що розуміється під маневреністю й інерційністю планових рішень?
10. Якими числовими характеристиками виражається маневреність?
11. Чи вірно, що при зміні умов реалізації рішення можливий перехід на будь-яку іншу траєкторію?
12. Із чим пов'язане поняття еластичності?

Змістовий модуль 3

Лекція 3. Концепція сталого розвитку як підґрунтя аналізу та моделювання соціально-економічних систем

Мета: ознайомитися з поняттям «сталий розвиток» як основою для довготермінового стратегічного розвитку суспільства.

План

- 3.1. Сутність концепції сталого розвитку.
- 3.2. Історія виникнення та розвитку концепції сталого розвитку.
- 3.3. Характеристика складових концепції сталого розвитку.
- 3.4. Огляд існуючих математичних моделей сталого розвитку.

Перелік ключових термінів і понять: *сталий розвиток, Римський клуб, Організація Об'єднаних Націй (ООН), економічна, соціальна та екологічна складова сталого розвитку, моделі глобального розвитку.*

3.1. Сутність концепції сталого розвитку

Сталый розвиток (англ. *Sustainable development*) – загальна **концепція** стосовно необхідності встановлення балансу між задоволенням сучасних *потреб* людства і захистом інтересів майбутніх поколінь, включаючи їх потребу в безпечному і здоровому *довкіллі*.

Зауваження:

українське слово «сталий» найточніше відповідає загальній думці концепції, але не є абсолютно точним перекладом першого значення цього терміну. «Сталый розвиток» це переклад англійського sustainable development. «Sustainable» можна перекласти також як «життєздатний», «екологічний» або навіть «невиснажливий».

За визначенням *Комісії ООН з навколишнього середовища і розвитку*

сталый розвиток – це *«розвиток, який задовольняє потреби нинішнього покоління без шкоди для можливості майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби»*.

Отже, **сталый розвиток** – це спосіб організації діяльності суспільства, за якою воно зможе існувати в довгостроковій перспективі. Він має на меті досягнення соціальної та економічної справедливості, збереження навколишнього середовища та відновлення використаних природних ресурсів.

Сутність сталого розвитку полягає у визначенні життєздатних схем, що враховують та збалансовують економічні, соціальні та екологічні аспекти людської діяльності. Ухвалюючи рішення, країни, громади, компанії та громадяни мають враховувати не лише перспективу 10-20 років, а й далеке майбутнє.

Сталий розвиток – це керований розвиток.

Основою його керованості є системний підхід та сучасні інформаційні технології, які дозволяють дуже швидко *моделювати* різні варіанти напрямків розвитку, з високою точністю прогнозувати їх результати та вибирати найбільш оптимальний.

Центральне місце в концепції займає людина сучасного та людина майбутнього.

За цією концепцією всі аспекти розвитку суспільства – експлуатація ресурсів, економічний розвиток, спрямованість інвестицій, а також освіта, охорона здоров'я, зайнятість та боротьба з голодом – мають узгоджуватися як із сучасними, так і з майбутніми потребами.

3.2. Історія виникнення та розвитку концепції сталого розвитку

Історія виникнення та розвитку концепції сталого розвитку в узагальненому вигляді представлена у Додатку А.

Розглянемо детально ключові дати та події в її розвитку.

У 50–60-х рр. 20 ст. розвиток пов'язували лише з економічним прогресом та зростанням економічної ефективності. На початку 70-х рр. у зв'язку з несправедливим розподілом прибутків та зі зростанням кількості бідних у країнах, що розвиваються, питання соціальної справедливості були визнані такими ж важливими, як і питання зростання економічної ефективності. Проте зростаюче споживання природних ресурсів призвело до деградації довкілля й негативно вплинуло на здоров'я людей. Реальною загрозою стала проблема «меж зростання», на яку в 1972 році звернув увагу світової громадськості Римський клуб. Однак у роботах членів Римського клубу застосовувався термін «органічне зростання».

Термін «сталий розвиток» з'явився в 1980 році, коли вийшла «Всесвітня стратегія охорони природи» (ВСОП), підготовлена Міжнародною спілкою охорони природи (МСОП). Ця стратегія висунула принципово нове положення: збереження природи нерозривно пов'язане з питаннями розвитку. Розвиток суспільства має відбуватися за умови збереження природи. Поняття «сталий розвиток» почали широко застосовувати після публікації в 1987 році звіту Міжнародної комісії з довкілля та розвитку «Наше спільне майбутнє», підготовленого під керівництвом Г. Х. Брундтланд.

Концепція сталого розвитку набула провідного статусу після Конференції ООН з довкілля та розвитку (1992, м. Ріо-де-Жанейро) і була відображена в прийнятому на конференції «Порядку денному на XXI століття». Термін «сталий розвиток» на Конференції визначався як «розвиток, що задовольняє потреби теперішнього часу, не ставлячи під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби». Усі наступні визначення поняття за основу брали саме це тлумачення сталого розвитку.

У головному документі, прийнятому на цій конференції, «Порядку денному на XXI століття» (Agenda 21), що розглядався як програма

всесвітнього співробітництва, сталий розвиток пов'язується з гармонічним досягненням таких цілей:

- високої якості навколишнього середовища і здорової економіки для всіх народів світу,
- задоволенні потреб людей і збереженні сталого розвитку протягом тривалого періоду.

Відомо, що після Конференції в Ріо, попри всі декларації досягти рівноважного стану між економічним ростом, соціальною спільнотою та навколишнім природним середовищем, цього так і не сталося. Навпаки, ситуація погіршилась і ускладнюється з кожним днем. Це також підтверджують міжнародні конференції, присвячені досягненню сталого розвитку, що проводилися впродовж останніх двох десятиліть.

У грудні 1997 р. в Кіото (Японія) було підписано міжнародну угоду, що містить конкретні заходи по скороченню викидів газів, що викликають парниковий ефект. Цю міжнародну угоду, що отримала назву Кіотський протокол, підписали представники 38 країн та ЄС. Цей документ міг стати першим ефективним інструментом стимулювання сталого розвитку на різних рівнях розвитку суспільства – від глобального до регіонального.

Боннська угода встановлювала також правила розрахунку викидів таких газів, схему торгівлі квотами на викиди між державами, систему контролю за виконанням зобов'язань підписантами Кіотського протоколу. У результаті Кіотський протокол набрав чинності лише в лютому 2005 р.

Досить важливим із точки зору стимулювання сталого розвитку були рішення, прийняті на Міжнародній конференції з фінансування розвитку (International Conference on Financing for Development). Конференція проходила у Монтерреї (Мексика) в 2002 р. Глави держав і урядів країн світу, відзначаючи дефіцит ресурсів, закликали досягти інтернаціонально погоджених цілей розвитку, у тому числі тих, що містяться в Цілях Тисячоліття. Для цього вони запропонували використовувати такі інструменти: податкові важелі, інвестиції в економічну і соціальну інфраструктуру, розвиток ринків капіталу через банківські системи, проводити розсудливу бюджетну і грошову політику. Також зменшувати вплив інфляції, сприяти високим нормам економічного зростання, повній зайнятості, викориненню бідності, цінній стабільності.

Наступним етапом втілення ідей сталого розвитку на міждержавному рівні було проведення Світового саміту зі сталого розвитку (Саміт Землі 2002, Ріо+10) World Summit on Sustainable Development (Earth Summit 2002). Саміт являв собою зустріч керівників країн та урядів світу на найвищому рівні в Йоганнесбурзі в 2002 р. Зустріч дала змогу об'єднати велику кількість інтересів, які представляли як голови держав та урядів, так і керівники та експерти від кожної з головних груп. У ній взяли участь понад 22 тис. людей, зокрема понад 8 тис. представників недержавних організацій, бізнесових структур та 4 тис. представників преси. На саміті було розглянуто результати, досягнуті країнами з виконання зобов'язань, взятих у 1992 та 1997 р., оцінено успіхи на шляху просування до сталого розвитку. Саміт в Йоганнесбурзі дав

змогу визначити цілі, часові рамки і зобов'язання з широкого спектру питань, які покликані змінити життя у всіх регіонах світу, у тому числі, деякі нові цільові показники, пов'язані із забезпеченням базовими елементами санітарії, використанням і виробництвом хімічної продукції та ін. Найважливішим результатом зустрічі стало те, що міжнародні зобов'язання були доповнені низкою добровільних партнерських ініціатив зі сталого розвитку.

У процесі підготовки до зустрічі та на самій зустрічі було оголошено про більш як двісті партнерських пропозицій, зосереджених у багатьох вирішальних напрямках сталого розвитку у всіх регіонах світу. Для реалізації цих партнерств було виділено значні обсяги фінансування. У рамках саміту уряди країн прийняли два основні документи: Йоганнесбурзький план з імплементації та Йоганнесбурзьку декларацію зі сталого розвитку. На саміті було відмічено, що за минуле десятиліття рішення, прийняті з довілля охорони і переходу до сталого розвитку, багато в чому виявилися не виконаними.

У 2000 році на Саміті тисячоліття ООН 189-ма країнами була прийнята **«Декларація тисячоліття» ООН**, в якій визначено всеосяжні межі цінностей, принципів і ключових чинників розвитку за трьома основними мандатами Організації Об'єднаних Націй: мир і безпека, розвиток і права людини. Дорожня карта зі втілення «Декларації тисячоліття» запропонувала набір із **восьми** універсальних цілей з конкретними термінами і кількісними показниками, спрямованими на ліквідацію основних перешкод на шляху до гідного життя будь-якої людини в будь-якому суспільстві: викорінення голоду та крайньої бідності, забезпечення доступу до освіти, забезпечення гендерної рівності, скорочення материнської та дитячої смертності, зменшення масштабів ВІЛ/СНІДу та інших захворювань, забезпечення екологічної стійкості та гармонізація зовнішньої допомоги для країн, що розвиваються. Період 2000–2015 років було визначено як термін реалізації восьми **Цілей розвитку тисячоліття (ЦРТ)**, відповідно до встановлених показників.

Весь світ працював над досягненням цілей, і звіт за 15 років показав, що вдалося досягти певних позитивних результатів. Робота над виконанням країнами – учасницями ООН Цілей розвитку тисячоліття (ЦРТ) завершилася у 2015 році. Прогрес у досягненні восьми Цілей розвитку тисячоліття оцінювався за допомогою **21 задачі і 60 офіційних показників**.

Проте, станом на 2015 рік, у світі залишалось багато глобальних проблем, зокрема:

800 мільйонів людей знаходяться за межею бідності;

36 активних збройних конфліктів;

40% людей у 41 країні страждає від дефіциту води;

200 мільйонів людей не мають роботи;

на кожному квадратному кілометрі океану – 13 000 предметів сміття.

Тому, у вересні 2015 року, під час 70-ї сесії Генеральної Асамблеї ООН у Нью-Йорку, відбувся Саміт ООН з прийняття **Порядку денного розвитку після 2015 року**, на якому було затверджено нові орієнтири розвитку.

Ця подія стала кульмінацією довгого та інтенсивного процесу консультацій, який, з 2012 року, об'єднав національні уряди, установи системи ООН та широке коло представників громадянського суспільства.

Підсумковий документ «Перетворення нашого світу: порядок денний у сфері сталого розвитку до 2030 року» було затверджено **25 вересня 2015 р.** на відкритті Саміту ООН. Документ містить преамбулу, декларацію, **17 Цілей сталого розвитку** та **169** завдань, засоби для реалізації та глобального партнерства, а також межі для подальшої діяльності та огляду ходу реалізації. ЦСР відображають масштаб та спрямування нового порядку денного, а також враховують незавершені питання Цілей розвитку тисячоліття. ЦСР є всеохоплюючими та неподільними, вони враховують три аспекти сталого розвитку: економічний, соціальний та екологічний (див. Додаток Б).

Документ «Перетворення нашого світу: Порядок денний в області сталого розвитку на період до 2030 року» погодили лідери майже двохсот країн, серед яких є Україна. Власне, **сталий розвиток і став загальною ідеєю, за яким світ домовився жити та видозмінюватися до 2030 року.**

3.3. Характеристика складових концепції сталого розвитку

Концепція сталого розвитку з'явилася в результаті об'єднання трьох основних точок зору: економічної, соціальної та екологічної (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Триєдина концепція стійкого розвитку

Економічна складова

Економічний підхід до концепції стійкого розвитку заснований на теорії максимального потоку сукупного доходу Хікса-Ліндаля, який може бути зроблений за умови, принаймні, збереження сукупного капіталу, за допомогою якого і здійснюється цей дохід. Ця концепція передбачає оптимальне

використання обмежених ресурсів і використання екологічних – природо-, енерго- і матеріало-зберігаючих технологій, включаючи видобуток і переробку сировини, створення екологічно прийнятної продукції, мінімізацію, переробку і знищення відходів.

Однак при вирішенні питань про те, який капітал повинен зберігатися (наприклад, фізичний або природний, чи людський капітал) і якою мірою різні види капіталу є взаємозамінними, а також при вартісній оцінці цих активів, особливо екологічних ресурсів, виникають проблеми правильної інтерпретації і розрахунку. З'явилися два види стійкості – слабка, коли йдеться про не зменшуваний у часі природний та виробничий капітал, і сильна – коли повинен не зменшуватися природний капітал (причому частина прибутку від продажу невідновних ресурсів повинна спрямовуватися на збільшення цінності відновлюваного природного капіталу).

Соціальна складова

Соціальна складова стійкості розвитку орієнтована на людину і спрямована на збереження стабільності соціальних і культурних систем, у тому числі, на скорочення числа руйнівних конфліктів між людьми.

Важливим аспектом цього підходу є справедливий розподіл благ.

Бажано також збереження культурного капіталу і різноманіття в глобальних масштабах, а також повніше використання практики стійкого розвитку, наявної в не домінуючих культурах.

Для досягнення стійкості розвитку, сучасному суспільству доведеться створити ефективнішу систему ухвалення рішень, що враховує історичний досвід і заохочує плюралізм. Важливо досягнення не тільки внутрішньо, а й міжпоколінної справедливості. У рамках концепції людського розвитку людина є не об'єктом, а суб'єктом розвитку. Спираючись на розширення варіантів вибору людини як головну цінність, концепція сталого розвитку передбачає, що людина повинна брати участь у процесах, які формують сферу її життєдіяльності, сприяти прийняттю і реалізації рішень, контролювати їх виконання.

Екологічна складова

З екологічної точки зору, сталий розвиток має забезпечувати цілісність біологічних і фізичних природних систем. Особливе значення має життєздатність екосистем, від яких залежить глобальна стабільність всієї біосфери. Більш того, поняття «природних» систем і ареалів проживання можна розуміти широко, включаючи в них створене людиною середовище, таке як, наприклад, міста. Основна увага приділяється збереженню здібностей до самовідновлення і динамічної адаптації таких систем до змін, а не збереження їх у деякому «ідеальному» статичному стані. Деградація природних ресурсів, забруднення навколишнього середовища і втрата біологічного розмаїття скорочують здатність екологічних систем до самовідновлення.

Єдність концепцій

Узгодження цих різних поглядів та їх переклад на мову конкретних заходів, які є засобами досягнення сталого розвитку – завдання величезної

складності, оскільки всі три елементи сталого розвитку повинні розглядатися збалансовано. Важливі також і механізми взаємодії цих трьох концепцій. Економічний і соціальний елементи, взаємодіючи один з одним, породжують такі нові завдання, як досягнення справедливості всередині одного покоління (наприклад, щодо розподілу доходів) та надання цілеспрямованої допомоги бідним верствам населення. Механізм взаємодії економічного та екологічного елементів породив нові ідеї щодо вартісної оцінки та інтерналізації (обліку в економічній звітності підприємств) зовнішніх впливів на навколишнє середовище. Нарешті, зв'язок соціального та екологічного елементів викликала інтерес до таких питань як внутрішньопоколінна і міжпоколінна рівність, включаючи дотримання прав майбутніх поколінь, та участі населення в процесі прийняття рішень.

3.4. Огляд існуючих математичних моделей сталого розвитку

Зі збільшенням антропогенного впливу на природу у другій половині ХХ ст. загострюється інтерес вчених до екологічної складової економічних систем. Економісти стали приділяти більше уваги проблемам оптимізації еколого-економічних взаємодій.

Узагальнений аналіз деяких математичних моделей, присвячених цим проблемам наведений у Додатку В. Розглянемо їх сутність більш детально.

Перша модель глобального розвитку «World-1» була побудована Дж. Форрестером у 1970 р. Це була примітивна модель, що грубо імітувала основні процеси світової системи.

Подальше її доопрацювання і налагодження привело до появи моделі «World-2», яка була побудована на основі методу системної динаміки в 1971 р. Моделі «World-1» та «World-2» спрямовані на розроблення сценаріїв еколого-економічного розвитку з 1900 по 2100 рік. Для опису зміни екологічної ситуації Дж. Форрестер використав схему побудови формалізованих моделей нелінійних динамічних процесів. Результати розрахунків показали неминучість кризи, пов'язаної з виснаженням ресурсів та зростанням забруднення, якщо будуть збережені сучасні тенденції та не буде вжито ніяких заходів для забезпечення безкризового розвитку. Найбільш оптимістичні гіпотези розвитку світу в цій моделі пов'язані зі стабілізацією рівня використання природних ресурсів та рівня забруднення.

Модель «World-2» стала зразком для подальших робіт, привернула увагу до проблеми світової динаміки, дала поштовх до проведення інших досліджень, що привело до появи цілого напрямку – глобального моделювання. До недоліків цієї моделі потрібно віднести таке: надмірно високий ступінь узагальнення змінних, що характеризують процеси; не враховується багато важливих факторів; утруднена ідентифікація моделі; рекомендації Форрестера щодо запобігання кризи нереалістичні.

Тоді ж Д. Медоуз і його співробітники розробили більш конкретнішу модель «World-3», яка була продовженням моделі Форрестера. У ній

враховувалися такі фактори: подвоєння початкових запасів або навіть необмеженість природних ресурсів, контроль народжуваності, забруднення середовища, інтенсифікація сільського господарства та ін. Однак, незважаючи на такі досить оптимістичні передумови, висновком своєї роботи Медоуз, так само як і Форрестер, називає необхідність нульового зростання.

У другій доповіді Римському клубу в 1974 р. робиться спроба подолання розуміння світу як гомогенної системи шляхом розподілу його на десять регіонів і обліку в кожному регіоні фізичних, економічних, соціальних та інших особливостей. Основною причиною екологічної кризи автори вважають економічний розрив між розвиненими та слаборозвиненими країнами. Розглядаються чотири варіанти розвитку світу в найближчі п'ятдесят років. Перший варіант, збереження існуючих тенденцій, у перспективі веде до зростання розриву. Інші варіанти спрямовані на негайну допомогу слаборозвиненим країнам з боку розвинених країн і відрізняються між собою розмірами коштів, що спрямовуються на скорочення розриву. Ця модель отримала назву «органічний ріст».

Однією з популярних є модель Д. Пірса й К. Тернера, що показує зворотні зв'язки в еколого-економічній системі. Навколишнє середовище є джерелом природних ресурсів та екологічних благ, а також слугує для поглинання й розміщення відходів виробництва та споживання. Якщо асиміляційний потенціал навколишнього середовища перевищує обсяг залишкових відходів (з урахуванням рециркуляції), то якість навколишнього середовища не погіршується. У протилежній ситуації якість навколишнього середовища погіршується й зменшується її здатність постачати ресурсами виробництво й споживання.

Перша міжгалузєва модель, що охоплювала взаємозв'язки економіки та навколишнього середовища, була розроблена В.В. Леонтьєвим і Д. Фордом. Леонтьєв В.В. представляє міжгалузєвий баланс як сукупність потоків товарів і послуг, які відображені у таблиці «input-output», та характеризують основні структурні зміни окремих секторів економіки. Балансовий метод дозволяє встановлювати й узгоджувати в господарській діяльності натурально-речовинні та вартісні пропорції. При цьому повинні виконуватися закони збереження в балансовій формі, включаючи потоки природної сировини, матеріалів та забруднюючих речовин і т.п. Основою ідеї міжгалузєвого балансу в наш час є можливість розкрити найбільш детально міжгалузєві зв'язки, що складаються в процесі відтворення. Це дозволяє показати, з одного боку, як і в яких галузях використовується продукція кожної галузі виробництва, а з іншого – виявити структуру виробничих витрат і знову створеної вартості. Модель міжгалузєвого балансу з урахуванням екологічного фактора спочатку була побудована на припущенні про те, що витрати на очисні заходи прямо пропорційні масі оброблюваних забруднювачів, тобто вартість знешкодження одиниці кожного забруднювача постійна. Природні процеси, які описують динаміку екосистеми, у моделі не описуються або описуються в значно меншій мірі, ніж виробничо-економічна діяльність. Використовуючи цю модель для варіаційних

розрахунків, можна отримати інформацію на макрорівні щодо галузевої структури витрат на охорону навколишнього середовища, їх впливу на інші показники. Із часу появи цієї моделі накопичений широкий досвід її практичного використання, зокрема на регіональному рівні, та розроблено багато її модифікацій.

Еколого-економічна модель Антоновського ґрунтується на моделі Леонтєва, до якої було додано елемент «управління». У моделі використовуються 3 основні типи змінних: природні ресурси; галузі матеріального виробництва; виробництво забруднюючих речовин. Прогнозувалося, що модель дозволить вивчити «відгук» параметрів стану навколишнього природного середовища на варіювання найважливіших показників антропогенної діяльності, до яких автори відносять такі: структуру кінцевого споживання; темпи зростання галузей матеріального виробництва, що здійснюють найбільш істотний вплив на різні екологічні об'єкти; витрати на будівництво очисних споруд; витрати на формування інфраструктури, включаючи витрати на рекреацію; обсяг використання природних ресурсів; обсяг експорту та імпорту; чисельність і структуру трудових ресурсів. До недоліків моделі варто віднести: відсутність її практичної реалізації; модель реєструє тільки обсяг викиду забруднювачів у навколишнє середовище й не розглядає їх вплив на саму природну підсистему. Модель взаємодії господарства та природи регіону створена для умов економічно розвинутого регіону, межі якого визначаються взаємним розташуванням груп джерел шкідливих викидів в атмосферу. Екологічний стан регіону характеризується якісним станом обраного екологічного об'єкта впливу. Як критерій оптимальності визначено мінімум сумарних приведених витрат на виробництво продукції, її транспортування та здійснення комплексу природоохоронних заходів. Недоліком моделі є те, що вона описує не всю природну підсистему регіону, а тільки її окремий елемент, причому аналіз впливу на цей об'єкт зроблений тільки через шкідливі викиди в атмосферу.

Модель Дубовського складається із трьох підмоделей: макромоделі економічного зростання, моделі міжгалузевого балансу й блоку забруднюючих речовин. Виробничими факторами для виробленого валового внутрішнього продукту є капітал, праця, НТП, зовнішньоторговельне сальдо. Структура економіки задається міжгалузевим балансом, що включає 18 галузей. Міжгалузевий баланс розподілу продукції включає перший квадрант традиційного міжгалузевого балансу, квадрант випуску агрегованої забруднюючої речовини, а також вектор кінцевого продукту. Блок забруднень являє собою рядок у системі рівнянь балансу. Розглядається один вид забруднень – викид твердих частин у повітря. Одним з основних недоліків цієї моделі є нерівноцінність економічного та екологічного блоків – вона враховує тільки один вид забруднень, тоді як структура економіки розглянута досить глибоко.

Еколого-економічна модель «Регіон» дозволяє оптимізувати програми розвитку за критеріями, що зв'язують ефективність економіки та стан

природного середовища. Вона вперше використовувалася для аналізу Байкальського регіону Російської Федерації. Надалі ця модель була доповнена блоком, що відображає інноваційні процеси. Це розширення обґрунтовується тим, що економічна підсистема виділяє кошти на створення й впровадження нових технологій та у відповідь на це змінюються параметри самої економічної підсистеми й ефективність її функціонування. Якщо знайти спосіб формалізації цих явищ, то модель дозволить визначити напрямки інноваційного процесу в регіоні, які найкраще сприяли б і розвитку економіки, і поліпшенню стану навколишнього середовища. Модель «Регіон» отримала досить високу оцінку спеціалістів і стала прототипом для низки аналогічних розробок у різних країнах. Для дослідження проблеми компромісу між економікою та навколишнім середовищем використовується також модель поверхні трансформації, в якій якість навколишнього середовища є незалежною змінною. Для побудови моделі використовується система рівнянь, що описують двосекторну економіку, в якій випуск продукції супроводжується забрудненням навколишнього середовища та погіршенням його якості. До цієї системи входять такі функції: функція емісій (забруднень), зумовлених виробництвом продукції; виробнича функція; функція емісій, зумовлених введеними факторами виробництва; функція природоохоронної діяльності; функція дифузії; функція еколого-економічного збитку; ресурсне обмеження, що лімітує можливості виробництва й природоохоронної діяльності. Модель дозволяє визначити межі виробничих можливостей та ефективного розподілу ресурсів між секторами економіки й охороною навколишнього середовища, але тільки за умови визначених допущень. До того ж на практиці виміряти економічний збиток і якість навколишнього середовища досить важко.

Ще один підхід до порівняння природних і виробничих потенціалів базується на припущеннях про зв'язок енергетики виробництва й енергетики природи. Оскільки основні господарські витрати енергії йдуть на видобуток, транспортування й переробку сировини, а відповідні матеріальні потоки в процесі виробництва розподіляються між продукцією й відходами у співвідношенні близько 1:9, то робиться висновок про існування досить тісного зв'язку між енергоспоживанням і забрудненням навколишнього середовища. Вводиться показник, що відображає співвідношення між масою шкідливих викидів, що утворюються, з урахуванням їх токсичності і витратою енергії (витратою палива) в якому-небудь технологічному процесі або їх сукупності. Отже, знаючи споживання енергії галузями на конкретній території, можна визначити сумарне техногенне навантаження на природне середовище. Завдяки своїй простоті енергетичний підхід до регламентації господарської діяльності останнім часом набуває значного поширення. Серед недоліків можна відзначити труднощі, пов'язані з одержанням даних.

Моделювання сталого розвитку є надзвичайно актуальним питанням у наш час. Тому процес розробки нових моделей триває і поширюється.

Питання для самоконтролю:

1. У чому полягає сутність концепції сталого розвитку?
2. Які основні складові сталого розвитку та їх взаємозв'язок?
3. У якому порядку приходило усвідомлення кожної зі складових сталого розвитку?
4. Назвіть основні етапи втілення ідей сталого розвитку на міждержавному рівні.
5. Які, на вашу думку, основні досягнення та невдачі на шляху втілення ідеї сталого розвитку?
6. Які цілі сталого розвитку, Ви вважаєте, потребують особливої уваги для держави Україна?

Змістовий модуль 4

Лекція 4. Моделювання соціально-економічних систем в умовах невизначеності цілей (прийняття рішень в умовах багатокритеріального оцінювання)

Мета: оволодіння знаннями щодо постановки багатокритеріальної задачі та її розв'язку, а також методів розробки рекомендацій щодо прийняття рішень в умовах невизначеності цілей на базі багатокритеріального оцінювання.

План:

- 4.1. Сутність та витoki проблеми прийняття рішень в умовах багатокритеріального оцінювання.
- 4.2. Особливості моделювання багатокритеріальних задач.
- 4.3. Математична постановка (модель) багатокритеріальної задачі та її особливості.
- 4.4. Поняття розв'язку багатокритеріальної задачі (паретовська множина, паретовський оптимум, множина ефективних розв'язків, повна множина альтернатив).
- 4.5. Проблеми, пов'язані із частковими критеріями оцінки якості рішень у багатокритеріальній задачі. Процедури нормалізації критеріїв.
- 4.6. Правила вибору рішення, прийняттого для ОПР. Форми завдання переваг ОПР.

Перелік ключових термінів і понять: *особа, що приймає рішення (ОПР), багатокритеріальний вибір, паретовська множина, паретовський оптимум, повна множина альтернатив, нормалізація критеріїв, вирішальне правило.*

4.1. Сутність та витoki проблеми прийняття рішень в умовах багатокритеріального оцінювання

Проблеми, пов'язані з прийняттям рішень, виникали завжди, але ще порівняно недавно вважали, що прийняття рішень є мистецтвом, заснованим тільки на досвіді та інтуїції. Проте високі темпи науково-технічного прогресу, виявлення залежності між окремими процесами і явищами, які раніше здавалися не пов'язаними один з одним, вимога до прозорості рішень призводять до різкого зростання труднощів у прийнятті обґрунтованих рішень.

Необхідність прийняття обґрунтованих рішень виникає в різноманітних сферах: при проектуванні складних технічних і організаційних систем; при плануванні розвитку міст та громад; при виборі програм розвитку регіонів, підприємств та галузей; при виборі інвестиційних проектів тощо. Витрати на здійснення рішень, пов'язаних з такими складними об'єктами і процесами, безперервно зростають, а наслідки невдалих рішень стають усе серйозніше.

У сучасних умовах досвід та інтуїція не завжди здатні забезпечити вибір найкращого рішення. У зв'язку з цим стали інтенсивно розвиватися наукові методи прийняття рішень, виник новий науковий напрям – теорія прийняття рішень, важливість якого постійно зростає.

Під **прийняттям рішень** розуміють вибір найбільш прийняттого рішення (способу досягнення поставленої мети) з множини припустимих альтернативних рішень або, взагалі, деяке впорядкування цієї множини рішень.

Необхідність проведення вибору зумовлюється виникненням проблемної ситуації, в якій є два стани – існуючий та бажаний, причому існує більше за один спосіб досягнення бажаного стану (цілі). У особи, що опинилася в такій ситуації, є певна «свобода вибору», тобто існує деяка множина (скінченна або нескінченна) альтернативних варіантів рішень, вибір з яких цілком залежить від цієї особи (особи, що приймає рішення – ОПР).

Альтернативні варіанти різняться результатами (наслідками), до яких вони приводять.

Наслідки вибору різних варіантів рішень характеризуються певною мірою досягненням мети вибору і не байдужі особі, що приймає рішення. У неї є свої уявлення про переваги та недоліки окремих результатів, своє власне відношення до них, а отже, і до відповідних варіантів рішень, тобто існує певна *система переваг*. Тому людина зацікавлена у виборі таких альтернативних варіантів, які представляються їй найкращими відповідно до цієї системи.

Проте в складних реальних ситуаціях уявлення ОПР зазвичай виявляються неповними і нечіткими. Вони не дозволяють їй апріорі повністю проаналізувати різні аспекти наслідків порівнюваних варіантів рішень, встановити їх істотність при виборі, сформулювати цілісне відношення до альтернативних варіантів, і, в наслідок цього, сформулювати критерій вибору або цільову функцію.

Іншими словами, система переваг ОПР є *слабоструктурованою*.

Принципова важкість здійснення вибору в слабо структурованих задачах прийняття рішень полягає в невизначеності поняття «найкращий альтернативний варіант».

Основна складність у прийнятті рішень у детермінованих ситуаціях пов'язана з апріорною *відсутністю* таких *скалярних показників*, якими може бути оцінена якість альтернативних варіантів рішень.

Причиною відсутності цих показників у більшості складних і важливих практичних задач є багатоаспектність поняття «Мета прийняття рішень» (а отже, і поняття «Якість варіанту рішення»). При цьому виявляється можливим провести змістовну декомпозицію мети по її окремих аспектах на підцілі і ввести показники (критерії), що характеризують міру досягнення цих підцілей у межах цієї задачі.

У таких ситуаціях виникає проблема оцінки і порівняння переваг різних варіантів рішень з урахуванням *декількох критеріїв* – **багатокритеріальна задача прийняття рішень**.

4.2. Особливості моделювання багатокритеріальних задач

Важливою особливістю розробки багатокритеріальної моделі задачі прийняття рішень є необхідність одержання необхідної інформації в людей – особи, що приймає рішення, або експертів, що є фахівцями в певній області знань.

Ця особливість задач прийняття рішень вимагає спеціальної організації всієї діяльності з розробки багатокритеріальної моделі, її дослідженню, використанню формалізованих методів порівняння варіантів рішень.

Організація процесу прийняття рішень є специфічною діяльністю, що вимагає спеціальних знань. Тому в процесі розробки й дослідження багатокритеріальної моделі поряд з особою, що приймає рішення, і експертами в тих областях знань, з якими пов'язана задача, як правило, бере участь і консультант - фахівець з теорії прийняття рішень.

Отже, сама *процедура розробки моделі* й вибору на її основі варіантів рішень набуває характер *діалогу між консультантами й особою, що приймає рішення* (а при необхідності – між консультантом і експертами).

Консультант організує різні процедури збору й обробки необхідної інформації, перевіряє одержану інформацію, досліджує її несуперечність, встановлює необхідність в одержанні додаткової інформації, визначає її види й, нарешті, розробляє й використовує формалізовані методи порівняння варіантів рішень.

Отже, *процедура розробки й дослідження багатокритеріальної моделі*, по суті, є *діалоговою ітеративною процедурою прийняття рішень*

При постановці й розв'язанні багатокритеріальних задач надзвичайно важливу роль грає врахування великої кількості змістовних обставин і представлень, яким важко дати строге математичне обґрунтування.

Питання про те, які критерії варто враховувати в конкретній задачі, чи всі припустимі рішення прийняті до уваги, які переваги особи, що приймає рішення тощо, перебувають поза математичною постановкою задачі.

У той же час розробка методів виділення кращих рішень неможлива без використання точних методів, які застосовуються не до реальних задач, а до їхніх формалізованих моделей.

Отже, *модельний підхід до розв'язання конкретних багатокритеріальних задач пов'язаний з тим, що змістовні міркування, що не піддаються строгої формалізації, і формалізовані моделі повинні використовуватися спільно; тільки такий підхід може привести до практично корисних результатів*.

Розглянемо **основні положення, які повинні враховуватися при побудові багатокритеріальних моделей задач прийняття рішень**. Ці положення підкреслюють найважливіші специфічні властивості моделей.

1. Модель створюється дослідником для структуризації й уточнення переваг особи, що приймає рішення, що безпосередньо бере участь в її розробці.

2. Модель повинна бути логічно несуперечливою.

3. Модель повинна містити опис усіх найважливіших елементів задачі прийняття рішення, їхніх властивостей.

4. Модель повинна давати можливість використати реальну інформацію про задачу, яка одержується від експертів і особи, що приймає рішення.

5. Модель повинна бути простою і зручною для аналізу й використання особою, що приймає рішення.

Успішна формалізація слабоструктурованих задач прийняття рішень пов'язана з необхідністю обліку великої кількості факторів з області теорії вимірів, соціології, психології й інших дисциплін. Зневага до цих факторів при формалізації багатокритеріальних задач прийняття рішень неминуче відбивається на відношенні осіб, що приймають рішення, до одержуваних результатів і знецінює ці результати.

Основні елементи моделі

Багатокритеріальна модель задачі прийняття рішень може бути представлена в такому вигляді:

$$\langle t, S, K, X, F, P, r \rangle$$

де t – постановка (тип) задачі;

X – множина припустимих розв'язків (рішень);

K – множина критеріїв;

S – множина шкал критеріїв;

F – відображення множини припустимих рішень в множину векторних оцінок;

P – система переваг особи, що приймає рішення;

r – вирішальне правило.

У теорії прийняття рішень передбачається, що кожна особа, що приймає рішення (ОПР), має деяку *систему переваг*.

Під *системою переваг ОПР*, розуміють сукупність зазвичай не структурованих (тим більше не формалізованих) його уявлень, пов'язаних із перевагами та недоліками рішень, що порівнюються.

Така сукупність уявлень, як правило, буває неповною, вона формується в результаті накопичення досвіду (зокрема, при розв'язанні аналогічних задач) і відбиває загальну стратегію, яку має ОПР. Переваги ОПР структуруються,

виявляються й формалізуються (а іноді й остаточно формуються) зазвичай тільки в ході спеціального дослідження, спрямованого на побудову моделі.

У багатокритеріальній моделі система переваг описується сукупністю P деяких множин із відношеннями переваги (наприклад, множин критеріїв, інтервалів між оцінками припустимих розв'язків певного виду тощо).

Основні проблеми, що виникають при побудові моделей багатокритеріальних задач, пов'язані з труднощами одержання інформації, необхідної для розробки таких моделей.

Як правило, при аналізі конкретних багатокритеріальних задач виявляється, що:

- відсутній повний перелік припустимих варіантів рішень;
- невідомий або не є повним перелік критеріїв, що характеризують якість рішень;
- не побудовані всі або деякі шкали критеріїв;
- не отримані оцінки всіх варіантів рішень по шкалах критеріїв;
- не сформоване вирішальне правило, що дозволяє одержати необхідне в задачі впорядкування.

Побудова моделей багатокритеріальних задач прийняття рішень є складною процедурою, що складається з формалізованих і неформалізованих етапів. Результати дослідження моделі дозволяють одержати впорядкування множини припустимих рішень, погоджене з прийнятими припущеннями й використаною інформацією.

Оскільки завжди є можливість відобразити ситуацію за допомогою різних моделей, переваги та недоліки цих моделей можуть бути виявлені тільки на основі їхнього порівняльного аналізу й практичного використання в реальних ситуаціях.

4.3. Математична постановка (модель) багатокритеріальної задачі та її особливості

Постановка і математична модель задачі багатокритеріального вибору містить **3 складові**:

I – Визначення множини припустимих розв'язків задачі (МПР).

Ця множина може бути заданою явно (через перелік альтернативних варіантів – припустимих рішень) або неявно (через формулювання умов, аналогічно задачам математичного програмування).

II – Завдання визначеної на МПР X векторної цільової функції (ВЦФ)

$$F(x) = (F_1(x), F_2(x), \dots, F_N(x)), \quad (4.1)$$

де $F_k(x)$, $k = \overline{1, N}$ – **часткові** (скалярні) критерії:

$$F_k(x) \rightarrow \text{extr}, \quad k = \overline{1, N}, \quad \text{extr} \in \{\max, \min\}. \quad (4.2)$$

III – Визначення поняття **розв'язку задачі**.

Зауваження 1.

Необхідність складової III у постановці задачі пов'язана з такою проблемою.

Якщо розглядати задачу прийняття рішення з одним *скалярним* критерієм – *цільовою функцією* (ЦФ) виду (4.2) (у цьому випадку задача називається *оптимізаційною*), то її розв'язком вважається такий припустимий розв'язок $x^* \in X$, на якому ЦФ $F(x)$ досягає екстремального значення, тобто $F(x^*) = \underset{x \in X}{extr} F(x)$, $extr \in \{\max, \min\}$. Цей розв'язок називається *оптимальним розв'язком* задачі.

Задача з векторною цільовою функцією (ВЦФ) (4.1) – (4.2) називається **векторною** або **багатокритеріальною** задачею і для неї такий підхід до визначення поняття «розв'язок задачі» **неможливий**.

Це зумовлено тим, що серед припустимих розв'язків задачі (альтернатив) можуть існувати такі, що є *непорівнюваними*. Тобто, з двох альтернатив за одним критерієм кращою є перша, а за іншим – друга альтернатива.

Тому в разі наявності ВЦФ під розв'язком **багатокритеріальної задачі** розуміється деяка множина альтернатив.

До таких множин належать **паретовська множина** (позначають як X) та **повна множина альтернатив** (X^0).

4.4. Поняття розв'язку багатокритеріальної задачі (паретовська множина, паретовський оптимум, множина ефективних розв'язків, повна множина альтернатив)

Означення 4.1. *Паретовською множиною* (ПМ) (або *множиною Парето*, або *множиною ефективних розв'язків*) \tilde{X} задачі з ВЦФ (4.1) – (4.2), що визначена на множині припустимих розв'язків X , називають таку підмножину множини X , яка складається з паретовських оптимумів.

Нехай для визначеності будемо вважати, що $F_k(x) \rightarrow \max$, $k = 1, 2$.

Означення 4.2 (формальне). Припустимий розв'язок $\tilde{x} \in X$ називається **паретовським оптимумом** (ПО) (або *оптимальним за Парето*, або *недомінованим*), якщо не існує такого припустимого розв'язку $x \in X$, для якого виконуються нерівності

$$F_k(x) \geq F_k(\tilde{x}), \quad k = 1, 2,$$

серед яких хоча б одна є строгою $F_{k_0}(x) > F_{k_0}(\tilde{x})$, $k_0 \in \{1, 2\}$.

Означення 4.3 (неформальне). **Паретовські оптимуми** (розв'язки) – це векторно непорівнювані розв'язки: якщо один розв'язок є кращим за одним із часткових критеріїв, то він є гіршим за іншим, і немає такого розв'язку, який би був краще одразу за всіма частковими критеріями.

Зауваження 2.

Якщо такий розв'язок існує, то проблеми багатокритеріального вибору немає. У цьому випадку до множини припустимих розв'язків належить так звана «*ідеальна точка*» (позначимо її x^{id}) – припустимий розв'язок, на якому всі часткові критерії набувають найкращого значення:

$$F(x^{id}) = (F_1(x^{id}), F_2(x^{id})), \quad F_k(x^{id}) = \underset{x \in X}{extr} F_k(x), \quad k = 1, 2.$$

Приклад.

I. Нехай задано дискретну скінчену множину $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_{10}\}$ як множину альтернатив – припустимих розв'язків, з яких необхідно здійснити вибір. Для кожної альтернативи – припустимого розв'язку – x_i відомі значення часткових критеріїв $F_k(x_i)$, $k = 1, 2$, які розміщено в таблиці 4.1.

II. На множині X визначена векторна цільова функція (ВЦФ)

$$F(x) = (F_1(x), F_2(x)), \quad (4.3)$$

яка містить два часткових критерія

$$F_k(x) \rightarrow \max, \quad k = 1, 2 \quad . \quad (4.4)$$

III. Необхідно з метою звуження множини альтернатив X виділити в ній *паретовську множину* X та *повну множину альтернатив* X^0 .

Розв'язання.

Результати виділення паретовської множини \tilde{X} для множини альтернатив X (табл.4.1) представлено в табл. 4.2.

Таблиця 4.1. Значення часткових критеріїв $F_k(x_i)$, $k = 1, 2$ для множини альтернатив X

x_i	$F(x)$	
	$F_1(x)$	$F_2(x)$
x_1	12	15
x_2	5	22
x_3	10	22
x_4	11	20
x_5	8	21
x_6	9	16
x_7	8	17
x_8	5	14
x_9	7	20
x_{10}	11	20

Таблиця 4.2. Виділення паретовської множини \tilde{X} для множини альтернатив X (табл.4.1) (за умови $F_k(x) \rightarrow \max, k=1,2$)

x_i	$F(x)$		ПМ \tilde{X}
	$F_1(x)$	$F_2(x)$	
x_1	12	15	+
x_2	5	22	– (домінує x_3)
x_3	10	22	+
x_4	11	20	+
x_5	8	21	– (домінує x_3)
x_6	9	16	– (домінує x_3, x_{10})
x_7	8	17	– (домінує x_3)
x_8	5	14	– (домінує x_7)
x_9	7	20	– (домінує x_{10})
x_{10}	11	20	+

Означення 4.4. Множина $F(X) = \{F(x) = (F_1(x), F_2(x)) : x \in X\}$ називається **множиною досяжності** ВЦФ на множині альтернатив X у критеріальному просторі $(F_1(x), F_2(x))$.

Тобто **множина досяжності** ВЦФ є відображенням множини альтернатив X у критеріальний простір – простір значень часткових критеріїв.

У випадку двох часткових критеріїв можна навести геометричну інтерпретацію множини досяжності в загальному випадку (рис. 4.1) та для задачі, розглянутої в прикладі (рис. 4.2).

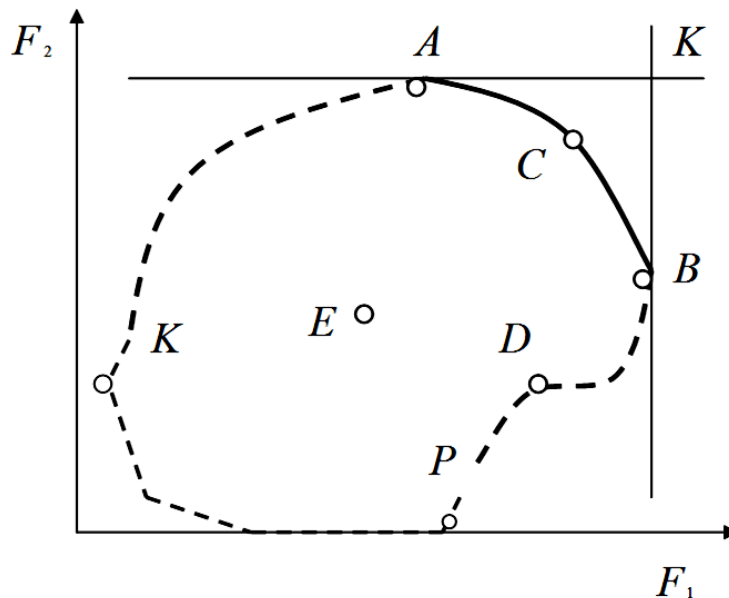


Рис. 4.1. Графічне зображення множини досяжності багатокритеріальної задачі ($N=2$) у критеріальному просторі $(F_1(x), F_2(x))$ та його паретовської границі (ACB – за умови $F_k(x) \rightarrow \max, k=1,2$)

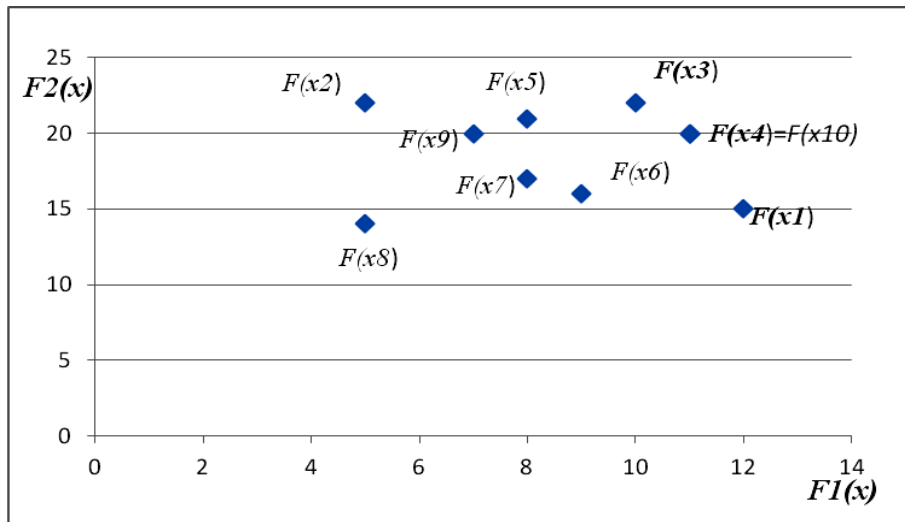


Рис. 4.2. Множина досяжності ВЦФ (4.3)-(4.4) на множині альтернатив X , що задана табл. 4.1

Паретовська множина $\tilde{X} = \{x_1, x_3, x_4, x_{10}\} \subset X$.

Означення 4.5. Образ паретовської множини в критеріальному просторі $F(X)$ називають **паретовською границею множини досяжності** в критеріальному просторі.

Означення 6. Підмножина $X^0 \subseteq \tilde{X}$ називається **повною множиною альтернатив** (ПМА), якщо при виконанні рівності

$$F(X^0) = F(\tilde{X}),$$

де $F(X^*) = \{F(x) = (F_1(x), F_2(x), \dots, F_N(x)) : x \in X^*\}$, її потужність $|X^0|$ мінімальна, тобто $|X^0| = \min_{X^* \subseteq \tilde{X}} |X^*|$.

Тобто ПМА – це така мінімальна за потужністю підмножина паретовської множини, образ якої в критеріальному просторі збігається із паретовською границею множини досяжності.

Для задачі, що розглядається в прикладі, за ПМА можна обрати множини $X^0 = \{x_1, x_3, x_4\} \subset \tilde{X}$ або $X^0 = \{x_1, x_3, x_{10}\} \subset \tilde{X}$, оскільки їх образи збігаються з образом паретовської множини $F(X)$.

4.5. Проблеми, пов'язані із частковими критеріями оцінки якості рішень у багатокритеріальній задачі. Процедури нормалізації критеріїв

Кожний розв'язок x приводить до певного результату, наслідки якого оцінюються за критеріями K_1, K_2, \dots, K_N , які формалізуються у вигляді часткових критеріїв $F_1(x), F_2(x), \dots, F_N(x)$.

Критеріями називають такі показники, які:

- визнаються ОПР як характеристики ступеня досягнення підцілей поставленої мети;
- є загальними й вимірними для всіх припустимих рішень;
- характеризують загальну цінність рішень таким чином, що в ОПР є прагнення одержати по них найбільш кращі оцінки (тобто вони не можуть бути представлені у вигляді обмежень).

Іншими термінами, використовуваними для позначення **критеріїв** або **часткових критеріїв**, є локальні критерії, показники або показники якості, **цільові функції**, фактори тощо.

Векторний критерій або **векторна цільова функція** (ВЦФ) $F(x) = (F_1(x), F_2(x), \dots, F_N(x))$ у деяких задачах буває заданою, але, зазвичай, формується в процесі дослідження.

Для кожного з часткових критеріїв повинна бути задана або побудована **шкала**, що представляє собою множину впорядкованих оцінок.

Шкали S_1, S_2, \dots, S_N , що утворюють множину S , можуть бути числовими й нечисловими; числові шкали можуть бути дискретними й неперервними. Множина S може містити шкали різних типів.

Нагадаємо, що існують 3 типи шкал для вимірювання показників:

- відношень;
- інтервалів;
- порядкові.

Тому в разі необхідності доцільно застосувати **процедуру нормалізації часткових критеріїв**.

Необхідність нормування часткових критеріїв зумовлена тим, що

1) задача, що розв'язується, може вимагати пошуку різноспрямованих цілей (максимізації або мінімізації показників, які відображають ступінь досягнення цілей). Тобто, часткові критерії $F_k(x) \rightarrow \text{extr}$, $k = \overline{1, N}$ можуть мати різний градієнт (напрямок: max або min);

2) часткові критерії $F_k(x) \rightarrow \text{extr}$, $k = \overline{1, N}$ можуть мати різні одиниці виміру (грошові одиниці, одиниці виміру ваги, довжини, об'єму, рейтингові оцінки тощо);

3) часткові критерії $F_k(x) \rightarrow \text{extr}$, $k = \overline{1, N}$ можуть вимірюватися в різних шкалах.

Тому метою **процедури нормалізації**, тобто приведення значень часткових критеріїв $F_k(x)$, $k = \overline{1, N}$ до виду $F_k^H(x)$, $k = \overline{1, N}$, є

1) приведення всіх часткових критеріїв до одного виду екстремуму (максимуму або мінімуму);

2) приведення всіх часткових критеріїв до однієї одиниці вимірювання або до безвимірної величини.

Основні способи нормалізації часткових критеріїв наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3. Способи нормалізації часткових критеріїв

Методи	Формули
Зміна градієнту	$F_k^H(x) = C - F_k(x)$ або $F_k^H(x) = 1/F_k(x)$, де C – достатньо велике додатне число (зокрема, $C = \max_x F_k(x)$ або $C = 1 + \max_x F_k(x)$)
Зведення до безвимірної величини (загальний вид)	$F_k^H(x) = F_k(x)/\rho(F_k(x))$, де ρ – деяка функція, наприклад, $\rho(F_k(x)) = \max F_k(x)$
Зведення до однієї розмірності	$F_k^H(x) = F_k(x)/\lambda_k$, де λ_k – деяка вагова функція
Природна нормалізація	$F_k^H(x) = (F_k(x) - \min F_k(x)) / (\max F_k(x) - \min F_k(x))$
Нормалізація порівняння	$F_k^H(x) = F_k(x) / \max F_k(x)$
Нормалізація усереднення	$F_k^H(x) = F_k(x) / \sum_{k=1}^K F_k(x)$

4.6. Правила вибору рішення, прийняттого для ОПР. Форми завдання переваг ОПР.

Вирішальне правило – є одним із методів прийняття рішення та є принципом порівняння векторних оцінок і винесення суджень про перевагу одних із них стосовно інших; воно може бути задане у вигляді аналітичного вираження, алгоритму або словесного формулювання. Наприклад, із двох векторних оцінок переважніше та, котра має хоча б один більший компонент, і не має ні однієї меншої. Ще приклад: одна векторна оцінка переважніше іншої, якщо сума її компонентів більше (передбачається однакова розмірність різних компонентів).

Зрівняння векторних оцінок на основі вирішального правила дає змогу задати на множині *векторних оцінок* $F(X)$ бінарне відношення переваги R . Вирішальне правило може забезпечувати порівняння всіх припустимих векторних оцінок (як, наприклад, друге з наведених вище правил) або лише якої-небудь частини з них (як, наприклад, перше).

Розглянемо приклади вирішальних правил, що застосовуються найчастіше для вибору одного з множини непорівнянних розв'язків (паретовської множини).

Правило 1 – Вирішальне правило зваженої суми

$$f_1(x_i) = \sum_{k=1}^3 \lambda_k F_k^H(x_i) \rightarrow \text{extr},$$

де $0 \leq \lambda_k \leq 1, k = \overline{1,3}; \sum_{k=1}^3 \lambda_k = 1$ – коефіцієнти важливості часткових критеріїв $F_k(x)$.

Правила 2 та 3 – Вирішальні правила виду MINMAX і MAXMIN:

$$f_2(x_i) = \min_{k=1,2,3} \lambda_k F_k''(x_i) \rightarrow \max, \quad f_3(x_i) = \max_{k=1,2,3} \lambda_k F_k''(x_i) \rightarrow \min,$$

де $0 \leq \lambda_k \leq 1, k = \overline{1,3}; \sum_{k=1}^3 \lambda_k = 1$ – коефіцієнти важливості часткових критеріїв.

Правило 4 – Вирішальне правило виду «відстань до ідеальної точки»

$$f_4(x_i) = (\lambda_1(F_1''(x_i) - c_1)^2 + \lambda_2(F_2''(x_i) - c_2)^2 + \lambda_3(F_3''(x_i) - c_3)^2)^{1/2} \rightarrow \min,$$

де $c = (c_1, c_2, c_3)$ – «ідеальна точка» – точка, у якій всі критерії досягають найкращого значення.

Правило 5 – Мультиплікативне вирішальне правило

$$f_5(x_i) = (F_1''(x_i))^{\lambda_1} (F_2''(x_i))^{\lambda_2} (F_3''(x_i))^{\lambda_3} \rightarrow extr,$$

де $0 \leq \lambda_k \leq 1, k = \overline{1,3}; \sum_{k=1}^3 \lambda_k = 1$ – коефіцієнти важливості часткових критеріїв.

Вирішальне правило повинне приводити до такого **впорядкування множини** припустимих рішень, що відповідає змістовній постановці задачі, узгоджується з прийнятими в моделі припущеннями й системою переваг ОПР.

До прийнятих припущень відносяться припущення про повноту множини рішень і набору критеріїв, про однозначність відповідності множини шкал множині критеріїв, про достатню точність оцінки розв'язків за шкалами критеріїв, про систему переваг, можливостях її виявлення тощо.

Залежно від прийнятих припущень, а також від цілей і переваг особи, що приймає рішення, можуть бути побудовані різні вирішальні правила.

Питання для самоконтролю:

1. Що таке паретовська множина?
2. Дайте визначення паретовських оптимумів.
3. Якщо існує розв'язок, при якому всі часткові критерії набувають найкращих значень, чи є цей розв'язок паретовським оптимумом?
4. Поясніть необхідність нормування часткових критеріїв.
5. Назвіть відомі вам вирішальні правила.
6. Поясніть зміст вирішального правила MINIMAX.
7. Які значення обираються як координати ідеальної точки при вирішальному правилі «відстань до ідеальної точки»?

Змістовий модуль 5

Лекція 5. Моделювання СЕС на базі методів інтелектуального аналізу даних (Data Mining)

Мета: ознайомитись з сутністю та призначенням методології інтелектуального аналізу даних та основними моделями інтелектуальних обчислень.

План

- 5.1. Поняття інтелектуального аналізу даних.
- 5.2. Етапи та методи знаходження нових знань.
- 5.3. Основні моделі інтелектуальних обчислювань.

Перелік ключових термінів і понять: *інтелектуальний аналіз даних, Data Mining, нейронні мережі, дерева рішень, генетичні алгоритми, еволюційне програмування.*

5.1. Поняття інтелектуального аналізу даних.

Більшість організацій накопичують під час своєї діяльності величезні обсяги даних, але головне, що вони хочуть від них отримати – це корисну інформацію. Як можна дізнатися з даних про те, що є вигіднішим для клієнтів організації, як розмістити ресурси ефективним чином або як мінімізувати втрати? Для вирішення цих проблем призначені новітні технології інтелектуального аналізу, які використовують для знаходження моделей і відносин, прихованих у середовищі даних, – моделей, які не можуть бути знайдені звичайними методами.

Термін Data Mining отримав свою назву з двох понять: пошуку цінної інформації у великій базі даних (Data) і видобутку гірської руди (Mining). Обидва процеси вимагають або просіювання величезної кількості сирого матеріалу, або розумного дослідження і пошуку корисних цінностей. Найчастіше Data Mining переводиться як видобуток даних, витягання інформації, розкопка даних, інтелектуальний аналіз даних, засоби пошуку закономірностей, витягання знань, аналіз шаблонів, «витягання зерен знань з гір даних», розкопка знань в базах даних, інформаційна проходка даних, «промивання» даних. Поняття «виявлення знань в базах даних» (Knowledge Discovery in Databases, KDD) можна вважати синонімом Data Mining.

Поняття Data Mining вперше з'явилося в 1978 році та придбало високу популярність у сучасному трактуванні приблизно з першої половини 1990-х років. Донині обробка й аналіз даних здійснювалися в рамках прикладної статистики, при цьому в основному вирішувалися завдання обробки невеликих баз даних.

В основу сучасної технології Data Mining покладена концепція шаблонів (паттернів), що відображають фрагменти багатоаспектних взаємин у даних. Ці шаблони є закономірностями, властивими підвибіркам даних, які можуть бути

компактно виражені в зрозумілій людині формі. Пошук шаблонів проводиться методами, які не обмежені рамками апріорних припущень про структуру вибірки і виду розподілів значень аналізованих показників.

У цілому технологію Data Mining достатньо точно визначає Григорій Піатецький-Шапіро (Gregory Piatetsky-Shapiro) – один із засновників цього напрямку: «Data Mining – це процес виявлення в «сирих» даних раніше невідомих, нетривіальних, практично корисних і доступних інтерпретації знань, необхідних для ухвалення рішень у різних сферах людської діяльності».

Сутність та мету технології Data Mining можна охарактеризувати так: це технологія, яка призначена для пошуку у великих обсягах даних неочевидних, об'єктивних і корисних на практиці закономірностей.

Неочевидних – це означає, що знайдені закономірності не виявляються стандартними методами обробки інформації або експертним шляхом.

Об'єктивних – це означає, що виявлені закономірності повністю відповідатимуть дійсності, на відміну від експертної думки, яка завжди є суб'єктивною.

Практично корисних – це означає, що висновки мають конкретне значення, якому можна знайти практичне застосування.

Data Mining – мультидисциплінарна область, що виникла і розвивалася на базі таких наукових напрямів як прикладна статистика, розпізнавання образів, штучний інтелект, теорія баз даних, математичні дисципліни, алгоритмізація, машинне навчання.

Data Mining – є потужним інструментом для полегшення і поліпшення роботи аналітика.

Data Mining має досить суттєві відмінності від інших методів аналізу даних.

Традиційні методи аналізу даних (статистичні методи) і OLAP в основному орієнтовані на перевірку наперед сформульованих гіпотез (verification-driven Data Mining) і на «грубий» розвідувальний аналіз, що становить основу оперативної аналітичної обробки даних (Online Analytical Processing, OLAP), тоді як одне з основних положень Data Mining – пошук неочевидних закономірностей. Інструменти Data Mining можуть знаходити такі закономірності самостійно і також самостійно будувати гіпотези про взаємозв'язки. Оскільки саме формулювання гіпотези щодо залежностей є найскладнішим завданням, перевага Data Mining у порівнянні з іншими методами аналізу є очевидною. Більшість статистичних методів для виявлення взаємозв'язків у даних використовують концепцію усереднювання по вибірці, що призводить до операцій над неіснуючими величинами, тоді як Data Mining оперує реальними значеннями. OLAP більше підходить для розуміння ретроспективних даних, Data Mining спирається на ретроспективні дані для отримання відповідей на питання про майбутнє.

Якщо розглядати майбутнє Data Mining у *короткостроковій перспективі*, то очевидно, що розвиток цієї технології найбільш зумовлений розвитком сфер,

пов'язаних із бізнесом. Продукти Data Mining можуть стати такими ж звичайними і необхідними, як електронна пошта, і, наприклад, використовуватися користувачами для пошуку найнижчих цін на певний товар або найбільш дешевих квитків.

У довгостроковій перспективі майбутнє Data Mining – це може бути пошук інтелектуальними агентами як нового вигляду лікування різних захворювань, так і нового розуміння природи всесвіту.

Дослідження відзначають, що існують як успішні рішення, які використовують Data Mining, так і невдалий досвід застосування цієї технології. Напрями, де застосування технологій Data Mining, швидше за все, будуть успішними, мають такі *особливості*:

- вимагають рішень, заснованих на знаннях;
- мають навколишнє середовище, що змінюється;
- мають доступні, достатні і значущі дані;
- забезпечують високі дивіденди від правильних рішень.

Сфера застосування Data Mining нічим не обмежена – вона скрізь, де є будь-які дані, це може бути сфера роздрібної торгівлі, банківська справа, телекомунікації, страхування, управління виробництвом, менеджмент якості, молекулярна генетика і генна інженерія, медицина, прикладна хімія тощо.

Приклад застосування Data Mining у банківській справі.

Банківські установи сьогодні збирають докладну інформацію про кожну окрему транзакцію клієнта, його депозитні і кредитні рахунки. Досягнення технології Data Mining використовуються в банківській справі для вирішення таких поширених завдань:

- виявлення шахрайства з кредитними картками. Шляхом аналізу минулих транзакцій, які згодом виявилися шахрайськими, банк виявляє деякі стереотипи такого шахрайства;
- сегментація клієнтів. Розбиваючи клієнтів на різні категорії, банки роблять свою маркетингову політику більш цілеспрямованою і результативною, пропонуючи різні види послуг різним групам клієнтів;
- прогнозування змін клієнтури. Data Mining допомагає банкам будувати прогнозні моделі цінності своїх клієнтів, і відповідним чином обслуговувати кожну категорію.

5.2. Етапи та методи знаходження нових знань.

Побудова моделі інтелектуального аналізу даних є складовою частиною більш масштабного процесу, який включає всі етапи, починаючи з визначення базової проблеми, яку модель вирішуватиме, до розгортання моделі в робочому середовищі. Цей процес може бути заданий за допомогою таких шести базових кроків (рис. 5.1):

1. Постановка задачі.
2. Підготовка та огляд даних:
 - оцінювання даних;

- об'єднання і очищення даних;
 - відбір даних;
 - перетворення.
3. Побудова моделей:
- оцінка і інтерпретація;
 - зовнішня перевірка.
4. Використання моделей.
5. Нагляд за моделлю.

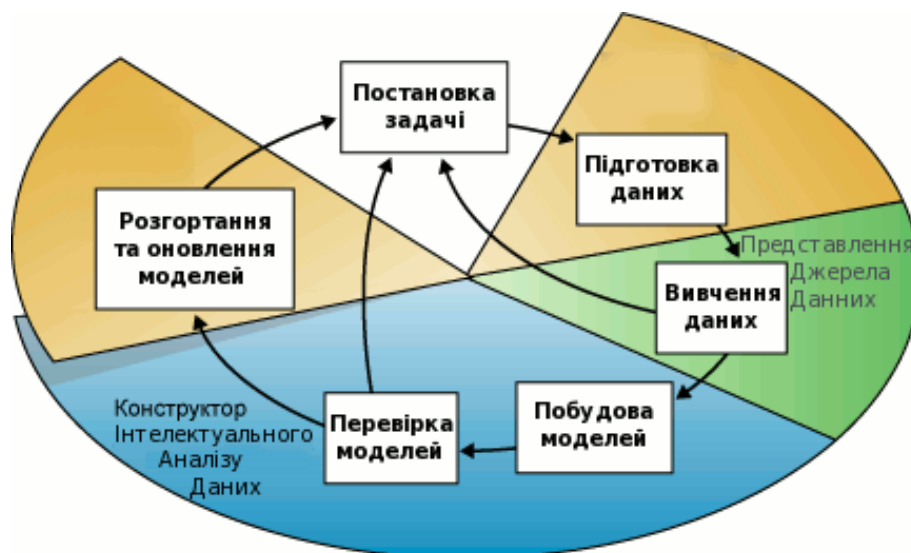


Рис. 5.1. Етапи інтелектуального аналізу даних

Хоча процес, що ілюструється за допомогою рис. 5.1, носить циклічний характер, кожен крок не обов'язково веде безпосередньо до наступного кроку. Створення моделі інтелектуального аналізу даних є динамічний ітеративний процес. Виконавши огляд даних, користувач може виявити, що існуючих даних недостатньо для створення необхідних моделей інтелектуального аналізу даних, що, відповідно, веде до необхідності пошуку додаткових даних. Можна розробити декілька моделей і зрозуміти, що вони не вирішують сформульованої задачі. Отже, потрібна зміна характеристик завдання.

Може виникнути необхідність в оновленні вже розгорнутих моделей за рахунок нових даних, що поступили. Отже, важливо розуміти, що створення моделі інтелектуального аналізу даних – це процес, і що кожен крок такого процесу може бути повторений стільки разів, скільки необхідно для створення ефективної моделі.

Розглянемо докладніше кожний з цих етапів:

Визначення проблеми. Для того, щоб повніше використовувати всі переваги інтелектуальних технологій необхідно ясно представити мету майбутнього аналізу. Побудова моделі проводиться залежно від мети. Якщо необхідно збільшити прибуток торгової організації, то для цілей: «збільшення кількості продажів» і «збільшення ефективності реклами» необхідно будувати

різні моделі. На цьому ж етапі визначаються способи оцінювання результатів майбутнього проекту і можливі витрати на його реалізацію.

Підготовка та огляд даних. Це є найтриваліший етап, який може займати від 50% до 85% часу всього процесу знаходження нового знання. На цьому етапі необхідно визначити джерела отримання даних. Це можуть бути дані, накоплені самою організацією або зовнішні дані від загальнодоступних джерел (відомості про погоду або перепис населення) або приватних джерел (різні архівні дані, бази нотаріальних контор та ін.).

Оцінювання даних. При побудові моделі доцільно пам'ятати одне правило, що стосується коректності вхідних даних: «Якщо на вхід задачі поступає «сміття», то і результатом теж буде «сміття». Перед «завантаженням» даних у сховище необхідно врахувати, що різні джерела даних можуть бути спроектовані під певні задачі і, відповідно, виникають проблеми, пов'язані з об'єднанням даних: різні формати представлення числових даних (наприклад, цілі або дійсні); різне кодування даних (наприклад, різний формат дат); різні способи зберігання даних; різні одиниці вимірювання (дюйми і сантиметри); а також частота збору даних і дата останнього оновлення. Аналітик повинен завжди знати, як, де і за яких умов збираються дані, і бути упевненим, що всі дані, які використовуються для проведення аналізу зміряні однаковим способом.

Об'єднання і очищення даних. На цьому етапі відбувається побудова сховища даних для подальшої обробки, тобто, відбувається наповнення сховища або додавання до нього даних, відібраних на попередніх етапах. У цей же час відбувається очищення, тобто виправлення всіх виявлених помилок. Може здатися, що цей крок дублює етап збору даних, але насправді це два зовсім різних етапа. На першому з них відбувається відбір даних для прискорення машинної обробки інформації без втрати якості, на другому дані доводяться до вигляду, зручному для візуального контролю користувача.

Відбір даних. Якщо сховище сформоване і визначені типи моделей, які будуть побудовані для розв'язання задач, відбувається відбір даних необхідних саме для цих моделей.

Перетворення даних. Служить для збагачення отриманої бази, тобто додавання різних відносин на основі існуючих полів (не борг і дохід, а відношення боргу до доходу), додавання інтервалів (по номеру місяця можна поставити номер кварталу, а відсоток виконання плану можна доповнити характеристиками «добре», «задовільно»), додавання критичних значень (максимум, середнє, мінімум).

Побудова моделі є ітераційний процес, тобто, необхідно побудувати низку моделей для знаходження однієї, що найбільше задовольняє поставленим цілям. Моделі можна розділити на дві групи:

- контрольовані (моделі класифікації, регресії, прогнозування часових послідовностей);
- неконтрольовані (кластеризація, асоціація і послідовність).

Після того, як визначено тип моделі, необхідно вибрати алгоритм побудови моделі або технологію знаходження знання.

Суть процесу побудови контрольованої моделі зводиться до знаходження залежностей на одній частині даних («навчання моделі») і перевірки цих залежностей на іншій частині даних (оцінка точності). Модель вважається побудованою, якщо завершується цикл «навчання» і перевірок. Якщо точність моделі при чергових ітераціях не поліпшується, то це говорить про завершення побудови моделі.

Після того, як побудова моделі завершена, можна корегувати модель, використовуючи інші параметри або навіть змінити алгоритм побудови моделі, оскільки ніколи не можна сказати, який алгоритм, яка технологія знаходження знання надає кращі результати. Не можна бути впевненим, що певна технологія працюватиме краще за інші. Часто доводиться будувати велику кількість моделей і оцінювати кожну для знаходження кращої. Окрім цього, для різних моделей необхідна різна підготовка даних і неминуче повторення кроків. Усе це збільшує час знаходження кращої моделі, тому необхідно застосовувати технології паралельних обчислень.

Оцінка і інтерпретація. Після побудови моделі необхідно оцінити результати і пояснити (інтерпретувати) їх значущість. При оцінці моделі обчислюється точність, але треба пам'ятати, що це значення вірно лише для даних, на яких модель побудована і бути готовим, що нові дані, до яких надалі застосовуватиметься модель, можуть відрізнятись від результатних невідомим чином.

Зовнішня перевірка. Висока точність моделі не є гарантією того, що модель правильно відображає реальне середовище. Однією з причин, є існування так званих неявних припущень у моделі. Тобто, сам по собі коефіцієнт інфляції не може бути частиною моделі, що пояснює схильність покупців до покупки чи того іншого товару, але різка зміна цього коефіцієнта з 3% до 20% вже, напевно, може пояснити таку поведінку. Інша причина – це існування неминучих проблем із даними, що призводять до некоректності моделі, тому дуже важливо перевірити модель у реальному середовищі.

Використання моделі. Після побудови і оцінки моделі, її можна використовувати різними способами. Наприклад, базуючись на результатах використання моделі, аналітик може рекомендувати дії, які можна починати у діловій сфері. Проте часто технології інтелектуальних обчислень – це частина автоматизованої системи (наприклад, знаходження кредитних ризиків, визначення можливості втрати клієнтів і ін.), тобто модель вбудовується в систему, яку аналітик або менеджер можуть застосовувати для ухвалення рішення. Процедура знаходження знання за допомогою цих методів може об'єднуватись із знаннями експертів і застосовуватись до даних у базах.

Спостереження за моделлю. Коли модель починає працювати в реальному середовищі, то необхідно вимірювати точність моделі на реальних даних. Проте навіть якщо модель працює добре, і можна вважати, що робота на цьому закінчується, то все одно необхідно продовжувати спостереження за

моделлю. Усі системи мають властивість розвиватися, і отримані дані (їх структура, точність, періодичність) теж міняються. Зовнішня змінна, така як коефіцієнт інфляції, своєю зміною теж можуть впливати на поведінку людей і на чинники, що впливають на цю зміну. Час від часу модель необхідно піддавати повторному тестуванню, і навіть перебудові.

Можна виділити принаймні шість методів виявлення й аналізу знань:

- класифікація;
- регресія;
- прогнозування часових послідовностей (рядів);
- кластеризація;
- асоціація;
- послідовність.

Перші три використовуються головним чином для передбачення, тоді як останні зручні для опису існуючих закономірностей у даних.

Класифікація – найпоширеніша модель інтелектуального аналізу даних. З її допомогою виявляються ознаки, що характеризують групу, до якої належить той або інший об'єкт. Це робиться за допомогою аналізу вже класифікованих об'єктів і формулювання деякого набору правил. Певний ефективний класифікатор може використовуватися для класифікації нових записів у базі даних в уже існуючі класи, і в цьому випадку він набуває характеру прогнозу. Наприклад, класифікатор, що вміє ідентифікувати ризик віддачі позики, може бути використаний для ухвалення рішення, чи великий ризик надання позики певному клієнтові. Тобто класифікатор використовується для прогнозування вірогідності повернення позики.

Регресійний аналіз використовується, коли стосунки між змінними можуть бути виражені кількісно у вигляді деякої комбінації цих змінних. Отримана комбінація використовується для передбачення значення, яке може набувати цільова (залежна) змінна, що обчислюється на заданому наборі значень вхідних (незалежних) змінних.

Прогнозування часових послідовностей. Основою для будь-яких систем прогнозування служить історична інформація, що зберігається в інформаційних сховищах у вигляді часових рядів. Якщо можна побудувати математичну модель і знайти шаблони, що адекватно відображують цю динаміку, є вірогідність, що за їх допомогою можна передбачати і поведінку системи в майбутньому.

Кластеризація відрізняється від класифікації тим, що класи заздалегідь не задані і за допомогою моделі кластеризації засоби інтелектуальних обчислень самостійно створюють однорідні групи даних.

Асоціація відноситься до аналізу структури і застосовується, коли декілька подій пов'язано між собою. Класичний приклад аналізу структури покупок відноситься до представлення придбання якої-небудь кількості товарів як окремої економічної операції (транзакції). Оскільки велика кількість покупок відбувається в супермаркетах, а покупці для зручності використовують корзини, куди і складається весь товар, то для знаходження асоціацій служить

аналіз вмісту корзини. Метою підходу є знаходження трендів (однакових ділянок) серед великого числа транзакцій, які можна використовувати для пояснення поведінки покупців. Наприклад, дослідження, проведене в супермаркеті, може показати, що 65% людей купують картопляні чипси, беруть також і «кока-колу», а за наявності знижки за такий комплект «кока-колу» купують у 85% випадків. Маючи такі дані, менеджерам легко оцінити, наскільки дієва надана знижка.

Послідовність має місце, якщо існує ланцюжок зв'язаних у часі подій. Традиційний аналіз структури покупок має справу з набором товарів, які представляють одну транзакцію. Варіант такого аналізу зустрічається, якщо існує додаткова інформація (номер кредитної карти клієнта або номер його банківського рахунку) для скріплення різних покупок в єдину тимчасову серію. У такій ситуації важливе не лише співіснування даних усередині однієї транзакції, але й порядок, у якому ці дані з'являються в різних транзакціях, і час між цими транзакціями. Правила, що встановлюють ці стосунки, можуть бути використані для визначення типового набору попередніх продажів, які можуть повести за собою наступні продажі певного товару. Після покупки будинку в 45% випадків протягом місяця купується і нова кухонна плита, а в перебігу наступних двох тижнів 60% новоселів придбають ще й холодильник.

5.3. Основні моделі інтелектуальних обчислювань

Розглянемо основні види моделей, які використовуються для знаходження нового знання на основі даних інформаційного сховища. Метою інтелектуальних технологій є знаходження нового знання, яке користувач може надалі застосувати для поліпшення результатів своєї діяльності. Результат моделювання – це виявлення відносин у даних.

На практиці широке застосування знайшли такі **інструменти (моделі та алгоритми) інтелектуальних обчислень**:

- нейронні мережі;
- дерева рішень;
- системи міркувань на основі аналогічних випадків;
- алгоритми визначення асоціацій і послідовностей;
- нечітка логіка;
- генетичні алгоритми;
- еволюційне програмування;
- візуалізація даних;
- комбіновані методи.

Нейронні мережі – це системи з архітектурою, що умовно імітують роботу нейронів. Математична модель нейрона є деяким універсальним нелінійним елементом із можливістю широкої зміни і настроювання його характеристик. Нейронні мережі є сукупністю зв'язаних між собою прошарків нейронів, які отримують вхідні дані, здійснюють їх обробку і генерують на виході результат. Між вузлами видимих вхідного і вихідного прошарків може

знаходиться певне число прихованих прошарків. Нейронні мережі реалізують непрозорий процес. Це означає, що побудована модель, як правило, не має чіткої інтерпретації. Багато пакетів, які реалізують алгоритми нейронних мереж, застосовуються у сфері обробки комерційної інформації, при розпізнаванні образів, розшифровки рукописного тексту, інтерпретації кардіограм. Апаратні або програмні реалізації алгоритмів нейромереж називаються нейрокомп'ютером.

Його **основними особливостями є:**

- нейрокомп'ютери дають стандартний спосіб розв'язання багатьох нестандартних задач. І неважливо, що спеціалізована машина краще вирішить один клас завдань. Важливіше, що один нейрокомп'ютер розв'яже і цю задачу, і іншу, і третю, і не треба кожного разу проєктувати спеціалізовану ЕОМ, нейрокомп'ютер зробить все сам і майже не гірше;

- замість програмування застосовується навчання. Нейрокомп'ютер навчається, потрібно лише формувати навчальну множину. Отже, робота програміста замінюється новою роботою вчителя. Програміст наказує машині виконати всі деталі роботи, вчитель створює «навчальне середовище», до якого пристосовується нейрокомп'ютер. З'являються нові можливості для роботи;

- нейрокомп'ютери ефективні там, де потрібний аналог людської інтуїції, зокрема, для розпізнавання образів, читання рукописних текстів, підготовки аналітичних прогнозів, перекладу з однієї мови на іншу і т.п. Саме для таких завдань зазвичай важко скласти явний алгоритм;

- нейронні мережі дозволяють створити ефективне програмне і математичне забезпечення для комп'ютерів із високим ступенем розпаралелювання обробки;

- нейрокомп'ютери «демократичні», вони прості, як текстові процесори, тому з ними може працювати будь-якій, навіть зовсім недосвідчений користувач.

Дерева рішень – метод, широко вживаний в сфері фінансів і бізнесу, де частіше зустрічаються задачі числового прогнозу. У результаті застосування цього методу для навчальної вибірки даних створюється ієрархічна структура правил класифікації типу, «ЯКЩО..., ТОДІ...», що мають вид дерева. Для того, щоб вирішити, до якого класу віднести деякий об'єкт або ситуацію, треба відповісти на питання, що стоїть у вузлах цього дерева, починаючи з його кореня. Питання можуть мати вигляд «Значення параметра А більше за Х?» або вигляду «Чи належить значення змінної В підмножині ознак С?». Якщо відповідь позитивна, перехід до правого вузла наступного рівня, якщо негативний – то до лівого вузла; потім знову відповідь на питання, пов'язане з відповідним вузлом. Таким чином врешті-решт, можна дійти до одного з кінцевих вузлів, де визначений клас об'єкту. Цей метод гарантує предметне представлення правил і його легко зрозуміти.

Сьогодні спостерігається зростання інтересу до продуктів, що застосовують дерева рішень. В основному це пояснюється тим, що більшість комерційних проблем вирішуються ними швидше, ніж алгоритмами нейронних

мереж, вони простіші і зрозуміліші для користувачів. У той же час не можна сказати, що дерева рішень завжди діють безвідмовно: для певних типів даних вони можуть виявитися неприйнятними.

Річ у тому, що окремим вузлам на кожній гілці відводиться менше число записів даних – дерево може сегментувати дані на велику кількість окремих випадків. Чим більше таких окремих випадків, тим менше навчальних прикладів потрапляє в кожен такий окремий випадок, і їх класифікація стає менш надійною. Якщо дерево дуже «гіллясте» – складається з невиправдано великого числа дрібних гілок – воно не даватиме статистично обґрунтованих відповідей. Як показує практика, у більшості систем, що використовують дерева рішень, ця проблема не знаходить задовільного рішення.

Системи міркувань на основі аналогічних випадків. Ідея алгоритму проста. Для того, щоб зробити прогноз майбутнього або вибрати правильне рішення, системи знаходять у минулому близькі аналоги наявної ситуації і вибирають ту ж відповідь, що була для них правильною. Тому, цей метод ще називають методом «найближчого сусіда». Системи міркувань на основі аналогічних випадків дають гарні результати в різних завданнях. У виборі рішення вони базуються на всьому масиві доступних історичних даних, тому неможливо сказати, на основі яких конкретно чинників ці системи будують свої відповіді.

Алгоритми виявлення асоціацій знаходять правила про окремі предмети, які з'являються разом в одній транзакції, наприклад в одній покупці. Послідовність – ця теж асоціація, але залежна від часу. Асоціація записується як $A \rightarrow B$, де A називається передумовою, B – наслідком. Частота появи кожного окремого предмету або групи предметів, визначається дуже просто – підраховується кількість появи цього предмету у всіх подіях (покупках) і ділиться на загальну кількість подій. Ця величина вимірюється у відсотках і носить назву «поширеність». Низький рівень поширеності (менш однієї тисячною відсотка) говорить про неістотність асоціації.

Для визначення важливості кожного отриманого асоціативного правила необхідно отримати величину, яка носить назву «довірчість A до B » (взаємозв'язок A та B). Ця величина показує, як часто з появою A з'являється B , і розраховується як відношення частоти появи (поширеності) A і B разом до поширеності A . Тобто, якщо довірчість A до B дорівнює 20%, то це означає, що при покупці товару A в кожному п'ятому випадку купують і товар B . Якщо поширеність A не рівна поширеності B , то і довірчість A до B не дорівнює довірчості B до A . Насправді, покупка комп'ютера частіше веде до покупки «мишки», ніж покупка «мишки» – до покупки комп'ютера.

Ще однією важливою характеристикою асоціації є потужність асоціації. Чим більше потужність, тим сильніше вплив, який поява A робить на появу B . Потужність розраховується по формулі: (довірчість A до B) / (поширеність B).

Деякі алгоритми пошуку асоціацій спочатку сортують дані і лише після цього визначають взаємозв'язок і поширеність. Єдиною розбіжністю таких алгоритмів є швидкість або ефективність знаходження асоціацій. Це важливо, у

зв'язку з величезною кількістю комбінацій, що необхідно перебрати для знаходження більш значущих правил. Алгоритми пошуку асоціацій можуть створювати свої бази даних поширеності, довірчості і потужності, до яких можна звертатися при запиті. Наприклад: «Знайти всі асоціації, в яких для товару *X* довірчість більше 50% і поширеність не менше 2,5%». При знаходженні послідовностей додається змінна часу, що дозволяє працювати із серією подій для знаходження послідовних асоціацій впродовж деякого періоду часу.

Підводячи підсумки цьому методу аналізу, необхідно сказати, що випадково може виникнути така ситуація, коли товари в супермаркеті будуть згруповані за допомогою знайдених моделей, але це, замість очікуваного прибутку, дасть зворотний ефект. Це може відбутися через те, що клієнт довго не ходитиме по магазину у пошуках бажаного товару, купуючи при цьому ще щось, що попадається на очі, і те, що він ніколи не планував купувати.

Нечітка логіка застосовується для наборів даних, де приналежність даних до якої-небудь групи неможливо оцінити чітко («так» або «ні»), проте, можна оцінити мірою, що визначена на інтервалі від 0 до 1.

Областю впровадження алгоритмів нечіткої логіки є будь-які аналітичні системи, зокрема :

- нелінійний контроль за процесами (виробництво);
- удосконалення стратегій управління і координації дій, наприклад, складне промислове виробництво;
- самонавчальні системи (або класифікатори);
- дослідження ризикованих і критичних ситуацій;
- розпізнавання образів;
- фінансовий аналіз (ринки цінних паперів);
- дослідження даних (корпоративні сховища).

В Японії цей напрям переживає бум. Тут функціонує спеціально створена лабораторія Laboratory for International Fuzzy Engineering Research (LIFE). Програмою організації є створення ближчих до людини обчислювальних пристроїв. LIFE об'єднує 48 компаній, серед яких: Hitachi, Mitsubishi, NEC, Sharp, Sony, Honda, Mazda, Toyota. З іноземних учасників LIFE можна виділити: IBM, Fuji Xerox, до діяльності LIFE також виявляє цікавість NASA.

Потужність і інтуїтивна простота нечіткої логіки як методології вирішення проблем гарантує її успішне використання у вбудованих системах контролю й аналізу інформації. При цьому відбувається підключення людської інтуїції та досвіду оператора. На відміну від традиційної математики, яка вимагає на кожному кроці моделювання точних і однозначних формулювань закономірностей, нечітка логіка пропонує зовсім інший рівень мислення, завдяки чому творчий процес моделювання відбувається на високому рівні абстракцій, при якому постулюється лише мінімальний набір закономірностей.

Недоліками нечітких систем є:

- відсутність стандартної методики конструювання нечітких систем;

- неможливість математичного аналізу нечітких систем існуючими методами.

Генетичні алгоритми є могутнім засобом розв'язання різних комбінаторних задач і задач оптимізації. Проте генетичні алгоритми увійшли зараз до стандартного інструментарію методів інтелектуальних обчислень. Цей метод названий так тому, що якоюсь мірою імітує процес природного (еволюційного) відбору в природі. Нехай потрібно знайти розв'язки задач, оптимальні з погляду деякого критерію, де кожний розв'язок цілком описується певним набором чисел або величин нечислової природи. Наприклад, якщо треба вибрати сукупність фіксованого числа параметрів ринку, що істотно впливають на його динаміку, це буде набір імен цих параметрів. Про цей набір можна говорити як про сукупність хромосом, що визначають якості індивіда, – даного розв'язку поставленої задачі. Значення параметрів, що визначають розв'язок, називаються генами. Пошук оптимального розв'язку при цьому схожий на еволюцію популяції індивідів, представлених наборами хромосом.

В еволюції діють три механізми:

по-перше, *відбір найсильніших* – наборів хромосом, яким відповідають найбільш оптимальні розв'язки;

по-друге, *схрещування* – виробництво нових індивідів за допомогою змішування хромосомних наборів відібраних індивідів;

по-третє, *мутації* – випадкові зміни генів у деяких індивідів популяції. У результаті зміни поколінь виробляється розв'язок поставленої задачі, який вже далі не може бути покращеним.

Генетичні алгоритми мають два слабкі місця. По-перше, постановка задачі не дає можливості проаналізувати статистичну значущість отриманого з їх допомогою розв'язку і, по-друге, ефективно сформулювати завдання, визначити критерій відбору хромосом під силу тільки фахівцеві. Через ці чинники, генетичні алгоритми треба розглядати скоріше як інструмент наукового дослідження, ніж засіб аналізу даних для практичного застосування в бізнесі і фінансах.

Еволюційне програмування – наймолодша область інтелектуальних обчислень. Гіпотези про вид залежності цільової змінної від інших змінних формуються системою у вигляді програм на деякій внутрішній мові програмування. Якщо це універсальна мова, то теоретично на ній можна виразити залежність будь-якого вигляду. Процес побудови таких програм будується як еволюція в світі програм (цим метод трохи схожий на генетичні алгоритми). Якщо система знаходить програму, яка точно виражає залежність, яка шукається, вона починає вносити до неї невеликі модифікації і відбирає серед побудованих таким чином дочірніх програм ті, які підвищують точність. Система «вирощує» декілька генетичних ліній програм, що конкурують між собою в точності знаходження шуканої залежності. Спеціальний транслуючий модуль, перекладає знайдені залежності з внутрішньої мови системи на зрозумілу користувачеві мову (математичні формули, таблиці та ін.), роблячи їх

досяжними. Для того, щоб зробити отримані результати зрозумілішими для користувача-нематематика, існує великий арсенал різноманітних засобів візуалізації виявлених залежностей.

Пошук залежності цільових змінних від інших проводиться у формі функцій якого-небудь певного вигляду. Наприклад, в одному з найбільш вдалих алгоритмів цього типу – методі групового обліку аргументів (МГОА) залежність шукають у формі поліномів. Причому складні поліноми замінюються декількома простими, що враховують лише деякі ознаки (групи аргументів). Зазвичай використовуються попарні об'єднання ознак. Цей метод не має великих переваг у порівнянні з нейронними мережами з готовим набором стандартних нелінійних функцій, але отримані формули залежності, в принципі, піддаються аналізу й інтерпретації (хоча на практиці це все-таки складно).

Програми візуалізації даних у певному значенні не є засобом аналізу інформації, оскільки вони тільки представляють її користувачеві. Проте візуальне представлення, наприклад, відразу чотирьох змінних наочно узагальнює величезні обсяги даних (рис. 5.2).

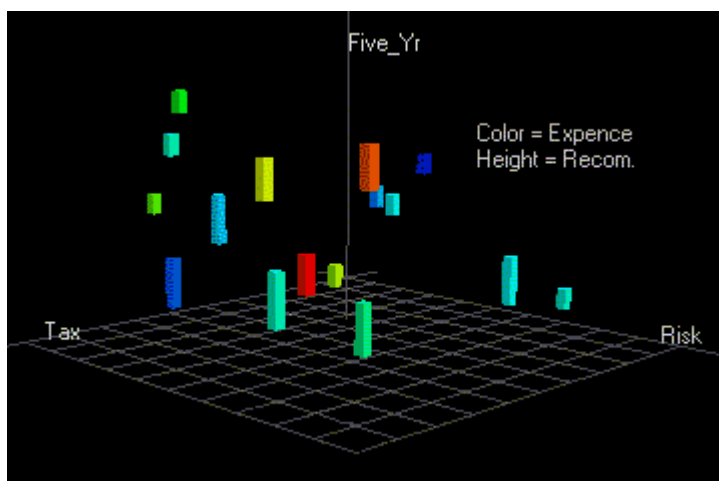


Рис. 5.2. Приклад візуалізації показників діяльності інвестиційних фондів

Комбіновані методи. Часто виробники об'єднують вказані підходи. Об'єднання алгоритмів нейронних мереж і технології дерев рішень сприяє побудові точнішої моделі і підвищенню швидкості. Для вирішення кожної проблеми слід шукати свій «найкращий» метод.

Питання для самоконтролю

1. У чому полягають відмінності інтелектуального аналізу даних від інших методів аналізу даних?
2. Що є передумовами для успішного застосування інтелектуального аналізу даних?
3. Назвіть основні методи виявлення та аналізу знань.

4. Що є основними особливостями моделі на основі нейронної мережі?
5. У чому полягає основна проблема при побудові моделі дерева рішень?
6. Як ще називають алгоритм системи роздумів на основі аналогічних випадків?
7. Які три механізми покладено в основу генетичних алгоритмів?
8. У чому полягає сутність еволюційного програмування?

Змістовий модуль 6

Лекція 6. Моделювання соціально-економічних систем в умовах невизначеності даних засобами нечіткої математики

Мета: ознайомитися з сутністю та методологією моделювання соціально-економічних систем в умовах невизначеності даних за допомогою інструментарію нечіткої логіки.

План

- 6.1. Теорія нечіткої логіки (або теорія нечітких множин, або Fuzzy Logic): передумови, основні поняття, інструмент.
- 6.2. Переваги та недоліки методу.
- 6.3. Приклад застосування методу нечіткої логіки для аналізу інвестиційних проектів
- 6.4. Застосування методу нечіткої логіки за допомогою пакета MATLAB.

Перелік ключових термінів і понять: *теорія нечіткої логіки (або теорія нечітких множин, або FUZZY LOGIC), лінгвістична змінна, терм-множина, функція приналежності, фазифікація, дефазифікація, база правил системи нечіткого виведення.*

6.1. Теорія нечіткої логіки (або теорія нечітких множин, або Fuzzy Logic): передумови, основні поняття, інструмент

Теорія нечіткої логіки (або теорія нечітких множин, або Fuzzy Logic) – новий підхід до опису бізнес-процесів, у яких присутня невизначеність, що ускладнює і навіть виключає застосування точних кількісних методів і підходів.

Історія:

Теорія нечітких множин (fuzzy sets theory) бере свій початок з 1965 р., коли професор Лотфі Заде (Lotfi Zadeh) з університету Берклі опублікував основну роботу «Fuzzy Sets» в журналі «Information and Control».

Основні етапи формування теорії:

1 етап – *формування основних теоретичних постулатів* (1965 – початок 80-х рр.);

- Zadeh L.A. (1965, 1973);
- Dubois D., Prade H. (1979, 1980) – операції над нечіткими числами.

2 етап – *практичних розробок в різних сферах життя*, заснованих на нечіткій логіці; народження нового наукового напрямку в рамках нечіткої логіки «Fuzzy Economics» (1973 – початок 90-х рр.);

- Buckley, J. (1987,1992) – «Рішення нечітких рівнянь в економіці і фінансах» і «Нечітка математика в фінансах»;

- Kosko, Bart. (1993) – доведена основоположна FAT-теорема (Fuzzy Approximation Theorem), яка підтвердила повноту нечіткої логіки;
- і багато інших;

3 етап – масового використання продукції, в основі роботи яких лежить нечітка логіка (1995 – наш час). 48 японських компаній утворили спільну лабораторію LIFE (Laboratory for International Fuzzy Engineering – Міжнародна лабораторія розробок, заснованих на нечіткій логіці).

Основна відмінність методу:

Введення лінгвістичних змінних (суб'єктивних категорій).

Лінгвістичні змінні – змінні, які не можна описати за допомогою математичної мови, тобто їм складно надати точну (об'єктивну) кількісну оцінку. Наприклад, поняття «малий» і «середній» (кажучи про бізнес), «висока» або «низька» (про процентну ставку) не мають чіткої межі і не можуть бути представлені точним математичним описом.

Згідно Л. Заде, **лінгвістичною змінною** називається така змінна, значеннями якої є слова або речення природної мови.

У літературі нечітких множин лінгвістичні змінні також називають **термами** (а їх множини – **терм-множинами**, від англ. Term – називати).

Приклад 1.

Часто, для отримання інтегральної оцінки ризику недостатньо тільки значень зміни ціни, попиту та інших кількісних змінних. Необхідно також враховувати і багато якісних змінних, як наприклад, сила конкурентів, грамотність менеджменту, погодні умови (особливо актуально для будівельних проєктів). Так, для отримання чисельної оцінки лінгвістичної змінної «умови для проведення будівельних робіт» визначемо інтервал значень оцінки від 0 до 10, де 0 – найсуворіші умови, що заважають процесу проведення робіт. На основі здорового глузду й експертних оцінок, можна стверджувати, що якщо роботи планується вести в житловій зоні (де підвищені ризики) і в умовах відсутності підготовчих робіт, то її оцінка буде коливатися від 0 до 3 балів, що буде означати суворі умови будівельних робіт. Якщо ж будувати будинок планується на вже підготовленому до роботи майданчику, в умовах сухої місцевості і далеко від житлових будинків, то оцінки змінної будуть набувати значень від 7 до 10 балів, що означає сприятливі умови будівельних робіт. Змінна набуде значення в інтервалі від 3 до 7 балів, якщо погодним умовам будуть притаманні як сприяючі, так і перешкоджаючі будівництву характеристики. Відповідні бали присвоюються або оцінювачами, або групою експертів, безпосередньо залучених до процесу аналізу інвестиційного проєкту.

Приклад 2.

Ще одним прикладом оцінки лінгвістичної змінної може бути нечіткість межі змінної «низька процентна ставка». Яка ставка відсотка по кредиту

вважається низькою? Відповідь на це питання може бути знайдено шляхом опитування безлічі експертів. Так, ґрунтуючись на здоровій логіці, можуть бути отримані відповіді, наприклад, що ставка по кредиту менше 7% – низька, від 8 до 15% – середня, а від 16% і вище – висока. Отже, межі між цими уявленнями – нечіткі, розмиті, і поняття «низька вартість кредиту» є суб'єктивною оцінкою.

Основний інструмент методу:

функція приналежності.

Функція приналежності – інструмент перекладу лінгвістичних змінних на математичну мову для подальшого застосування методу нечітких множин.

Функцією приналежності є якась математична функція, що задає ступінь або впевненість, з якою елементи деякої множини належать заданій нечіткій множині А. Чим більше аргумент x відповідає нечіткій множині А, тим більше значення, тобто тим ближче значення аргументу до 1.

Підставою для побудови функції приналежності можуть слугувати експертні оцінки.

Приклад 3 (продовження прикладу 2).

На рис. 6.1 представлена функція приналежності для змінної «висока ставка відсотка», де по осі X розташовуються значення ставки відсотка, а по осі У – значення функції приналежності для терм-множини «високий відсоток».

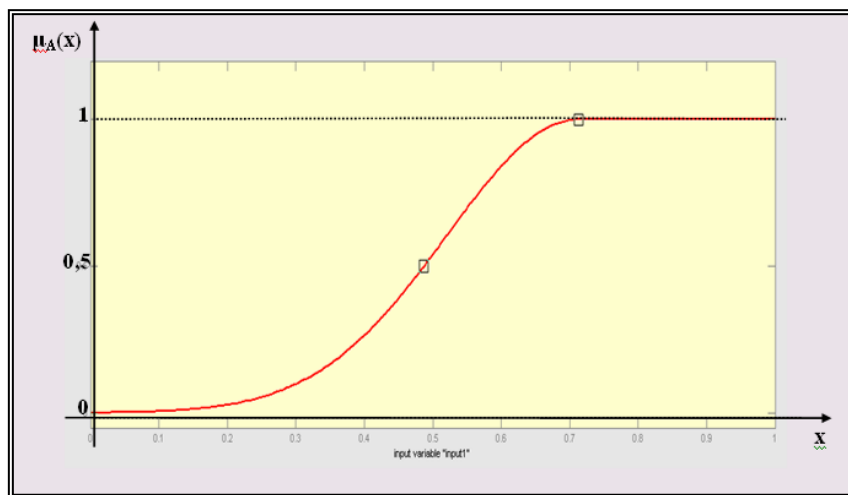


Рис. 6.1. Функція приналежності для змінної «висока ставка відсотка»

Оскільки значення від 16% і вище були визнані експертами як висока ставка відсотка, то функція приналежності набуває значення 1, що відповідає істинності приналежності відсотка терм-безлічі «високий відсоток». При значеннях відсотка від 0 до 7% (тобто низька ставка відсотка) значення функції приналежності дорівнює нулю. У проміжку від 7 до 16% функція приналежності монотонно зростає, тим самим, підвищуючи достовірність висловлювання при наближенні значень відсотка до 16%.

Види функцій приналежності.

Основні види функцій приналежності:

- трикутні;
- трапецієвидні;
- кусково-лінійні;
- дзвоноподібні (розподілу Гаусса);
- сігмоїдні.

Методи побудови функцій приналежності.

Виділяють дві групи методів побудови за експертними оцінками функцій приналежності нечіткої множини: прямі і непрямі методи.

Прямі методи характеризуються тим, що експерт безпосередньо задає правила визначення значень функції приналежності, що характеризує елемент x . Прикладами прямих методів є безпосереднє завдання функції приналежності таблицею, графіком або формулою. Недоліком цієї групи методів є велика частка суб'єктивізму.

У непрямих методах значення функції приналежності вибираються таким чином, щоб задовольнити заздалегідь сформульованим умовам. Експертна інформація є тільки вихідною інформацією для подальшої обробки. До групи цих методів можна віднести такі методики побудови функцій приналежності, як побудова функцій приналежності на основі парних порівнянь, з використанням статистичних даних, на основі рангових оцінок і т.д.

Передумови для аналізу за допомогою методу нечіткої логіки.

Оскільки теорія нечітких множин – окремий розділ математики, то він базується на своїх передумовах.

У роботі Л. Заде і Р. Беллмана вказані основні властивості, які повинні мати нечіткі множини:

- а. Нормальність.
- б. Унімодальність.
- с. Опуклість.

6.2. Переваги і недоліки методу нечітких множин

Використання методу нечітких множин дає низку *переваг*, тому що дозволяє:

- включати в аналіз якісні змінні;
- оперувати нечіткими вхідними даними;
- оперувати лінгвістичними критеріями;
- швидко моделювати складні динамічні системи і порівнювати їх із заданим ступенем точності;
- долати недоліки й обмеження існуючих методів оцінки проектних ризиків.

Недоліки методу:

- існує суб'єктивність у виборі функцій приналежності і формуванні правил нечіткого введення;
- відсутність інформованості про метод, а також незначна увага до застосування методу професійними фінансовими установами;
- необхідність спеціального програмного забезпечення, а також фахівців, які вміють з ним працювати.

Незважаючи на недоліки і обмеження теорії, метод нечітких множин отримав визнання як перспективного і дає точні результати найбільшими міжнародними компаніями (Motorola, General Electric, Otis Elevator, Pacific Gas & Electric, Ford). Для України, а також ринків, що розвиваються, використання методу нечіткої логіки особливо перспективне. Аналіз ризиків на основі статистичних методів для більшої частини компаній, що недавно утворилися, не застосовується, тому що немає накопиченої статистичної інформації для отримання об'єктивних оцінок.

Отже, метод нечітких множин не виключає застосування статистичних методів, а стає інструментом, коли інші підходи до оцінки ризику неприйнятні.

Характерне застосування теорії нечітких множин до фінансового менеджменту такі:

- 1) аналіз ризику банкрутства підприємства;
- 2) оцінка ризику інвестиційного проєкту;
- 3) побудова оптимального портфеля цінних паперів і бізнесів;
- 4) оцінка справедливої вартості об'єктів (у тому числі об'єктів нерухомості);
- 5) оцінка інвестиційної привабливості акцій і облігацій;
- 6) аналіз необхідності та обґрунтованості ІТ-рішень.

6.3. Приклад застосування методу нечіткої логіки для аналізу інвестиційних проєктів

Трикутний вид функції приналежності – найчастіше використовуваний в практиці аналізу інвестиційних проєктів.

Трикутне число A задається за допомогою трьох параметрів: мінімальне значення (a), модальное (b) і максимальне (c), що відповідають песимістичному, базовому та оптимістичним сценаріями.

Математично трикутний вид функції приналежності можна описати, як $P_1 = (m_1, n_1) = (a_1 + \alpha \times (b_1 - a_1), c_1 + \alpha \times (b_1 - c_1))$, де при будь-якому α функція приналежності $\mu_A(X)$ набуває значення $m = a + \alpha \times (b - a)$, а $n = c + \alpha \times (b - c)$.

Основні операції над нечіткою множиною.

1. Додавання. $P_1 + P_2 = C = (m, n)$, де $m = m_1 + m_2$, $n = n_1 + n_2$.

2. Множення. $P_1 \times P_2 = C = (m, n)$, де $m = m_1 \times m_2$, $n = n_1 \times n_2$
3. Ділення. $P_1 / P_2 = C = (m, n)$, де $m = m_1 / n_2$, $n = n_1 / m_2$, якщо P_1, P_2 додатні, та $m = m_1 / m_2$, $n = n_1 / n_2$, якщо P_1 від'ємні.

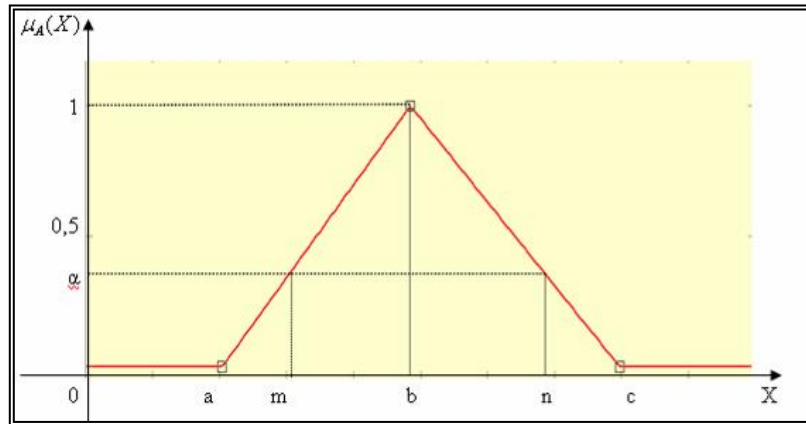


Рис. 6.2. Вид трикутної функції приналежності

Оцінка ризику на основі інтегральної оцінки ризику V&M (Воронова і Максимова)

Розглянемо будь-який інвестиційний проект, в якому NPV можна звести до трикутного числа $NPV = (NPV_1, \overline{NPV}, NPV_2)$,

де NPV_1 – чистий грошовий дохід (ЧГД) при оптимістичному сценарії;
 NPV_2 – ЧГД при песимістичному сценарії;
 \overline{NPV} – очікуваний ЧГД.

G – критерій ефективності проекту (зазвичай приймається рівним нулю).

Проект визнається прибутковим, якщо NPV більше заданого інвесторами критерію G .

Визначивши крайні значення ЧГД, можна описати функцію приналежності:

$$NPV_1 = \alpha(\overline{NPV} - NPV_{\min}) + NPV_{\min}$$

$$NPV_2 = NPV_{\max} - \alpha(NPV_{\max} - \overline{NPV})$$

$$V \& M^* = \int_0^{\alpha_1} \phi^*(\alpha) d\alpha, (*)$$

$$\text{де } \phi^*(\alpha) = \begin{cases} 0, & G \leq NPV_1 \\ \frac{G - NPV_1}{NPV_2 - NPV_1}, & NPV_1 < G < NPV_2 \\ 1, & NPV_2 \leq G \end{cases}$$

Обчисливши інтеграл, можна перетворити наведені вище рівняння до вигляду:

$$V \& M^* = \begin{cases} 0, & G < NPV_{\min} \\ R \times \left(1 + \frac{1 - \alpha_1}{\alpha_1} \ln(1 - \alpha_1) \right), & NPV_{\min} \leq G < \overline{NPV} \\ 1 - (1 - R) \times \left(1 + \frac{1 - \alpha_1}{\alpha_1} \ln(1 - \alpha_1) \right), & \overline{NPV} \leq G < NPV_{\max} \\ 1, & NPV_{\max} \leq G \end{cases} \quad (**),$$

$$\text{де } R = \begin{cases} \frac{G - NPV_{\min}}{NPV_{\max} - NPV_{\min}}, & G < NPV_{\max} \\ 1, & NPV_{\max} \leq G \end{cases}$$

$$\alpha_1 = \begin{cases} 0, & G < NPV_{\min} \\ \frac{G - NPV_{\min}}{\overline{NPV} - NPV_{\min}}, & NPV_{\min} \leq G < \overline{NPV} \\ \frac{NPV_{\max} - G}{NPV_{\max} - \overline{NPV}}, & \overline{NPV} \leq G < NPV_{\max} \\ 0, & NPV_{\max} \leq G \end{cases}$$

Оцінка:

- набуває значення від 0 до 1;
- кожен інвестор, виходячи зі своїх інвестиційних переваг, може класифікувати значення, виділивши для себе відрізок неприйнятних значень ризику.

Переваги методу:

- на основі теорії нечітких множин формується повний спектр можливих сценаріїв інвестиційного процесу;
- рішення приймається не на основі двох оцінок ефективності проєкту, а по всій сукупності оцінок;
- очікувана ефективність проєкту не є точковим показником, а являє собою поле інтервальних значень зі своїм розподілом очікувань, що характеризується функцією приналежності відповідного нечіткого числа.

Приклад 4.

Розглянемо інвестиційний проєкт з такими показниками:

- Проєкт буде здійснюватися протягом трьох років, $t = 3$;
- Розмір стартових інвестицій відомий точно і становить $I = 2$ млн. грн;
- Ставка дисконтування може коливатися в межах від 10% до 20% річних;
- Чистий грошовий потік планується в діапазоні від $CF_{\min} = 0$ до $CF_{\max} = 2$ млн. грн;
- Залишкова (ліквідаційна) вартість проєкту дорівнює нулю.

Застосуємо метод нечіткої логіки для аналізу ризику.

$$\text{Отже, } NPV_{\min} = -2 + \frac{0}{(1+0,2)^1} + \frac{0}{(1+0,2)^2} + \frac{0}{(1+0,2)^3} = -2$$

$$NPV_{\max} = -2 + \frac{2}{(1+0,1)^1} + \frac{2}{(1+0,1)^2} + \frac{2}{(1+0,1)^3} = 2,97 =$$

Оскільки $CF_{av} = 1$ млн., $R_{av} = 15\%$, то $NPV_{av} = 0,28$.

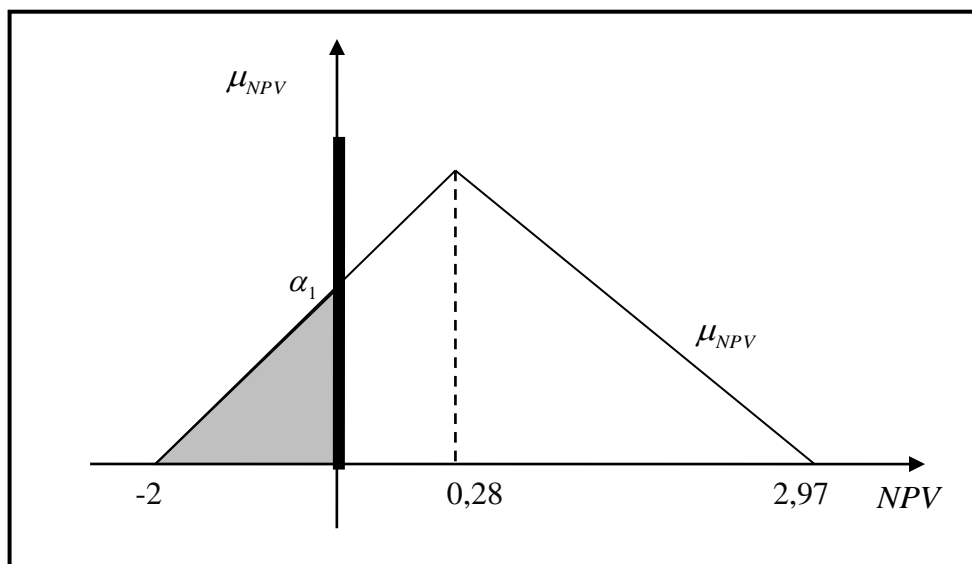


Рис. 6.3. Трикутна функція приналежності для NPV

Отже, трикутне число для Проєкту, що розглядається становить $NPV = (-2, 0,28, 2,97)$.

Оскільки $NPV_{\min} < G = 0 < \overline{NPV}$, то за формулою (**):

$$\alpha_1 = 0,8759, R = 0,402, V \& M^* = 0,283.$$

Ризик-менеджер може самостійно встановити шкалу неприйняття ризику, в залежності від додаткових параметрів проєкту і своїх переваг.

Якщо використати табл. 6.1, яка визначає таку шкалу, то можна зробити висновок, що ризик цього інвестиційного проєкту середній.

Таблиця 6.1. Терм-множина для визначення ступеню ризику

$V \& M$	Ступінь ризику	Рішення компанії відносно інвестування
0 – 0,07	дуже низький	Точно прийняти проєкт
0,07 – 0,15	низький	Прийняти, але з обережністю і подальшим моніторингом
0,16 – 0,35	середній	Прийняти з обмеженнями
0,36 – 0,4	високий	Відхилити та переглянути проєкт
> 0,40	дуже високий	Відмовитись з впевненістю

6.4. Застосування методу нечіткої логіки за допомогою пакета MATLAB.

Говорячи про метод нечіткої логіки, найчастіше мають на увазі системи нечіткого виведення, які лежать в основі різних експертних і керуючих процесів. Основними етапами нечіткого виводу є:

1. Формування бази правил системи нечіткого виведення.
2. Фазифікації вхідних параметрів.
3. Агрегація.
4. Активізація підумов у нечітких правилах.
5. Дефазифікація.

Ця схема відноситься до алгоритму нечіткого висновку Мамдані, який один із перших знайшов застосування в системах нечітких множин.

Опускаючи математичні подробиці теорій нечітких множин, розглянемо основні особливості кожного з цих етапів, основні з яких зображені на прикладі рис. 6.4.

Розглянемо модель, що складається з трьох параметрів, де «А» і «В» – вхідні змінні, а «С» – вихідна. Причому, кожна зі змінних може набувати відповідні значення, тобто володіє своєю лінгвістично заданою термножиною, тобто $A = \{A_1, A_2, A_3\}$, $B = \{B_1, B_3\}$, $C = \{C_1, C_2, C_3\}$. Своєю чергою для кожної з термножини задається функція приналежності. Завдання нечіткого виведення для цього прикладу є визначення числового значення для вихідної змінної С.

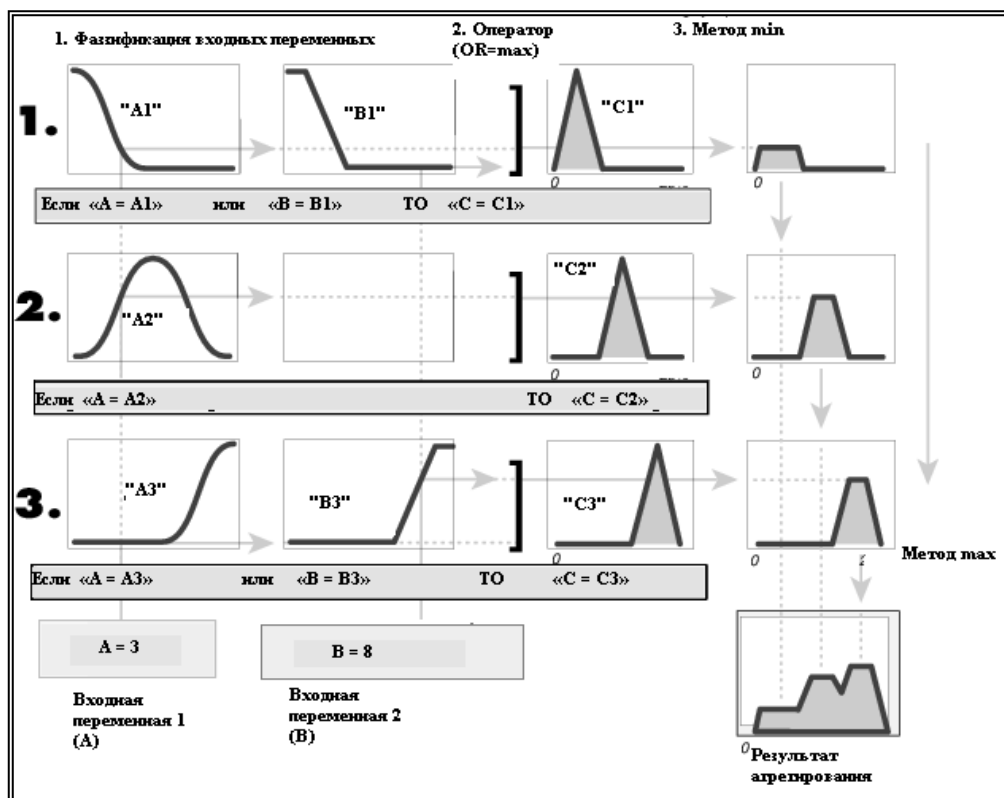


Рис. 6.4. Етапи нечіткого виведення

Формування бази правил системи нечіткого виводу

Процес формування бази правил нечіткого виводу є формальне подання емпіричних знань експерта в тій чи іншій проблемній області. Найбільш часто база правил має вигляд структурованого тексту:

Правило_1: Якщо «Умова_A1» або «Умова_B1», то «Наслідок_C1».
Правило_2: Якщо «Умова_A2» або «Умова_B2», то «Наслідок_C2».
...
Правило_n: Якщо «Умова_An» або «Умова_Bn», то «Наслідок_Cn»,

де «Умова_A1», «Умова_A2», ..., «Умова_An» та «Умова_B1», «Умова_B2», ..., «Умова_Bn» – вхідні лінгвістичні змінні, «Наслідок_C1», «Наслідок_C2», ..., «Наслідок_Cn» – вихідні лінгвістичні змінні.

Слід зазначити, що вхідні та вихідні лінгвістичні змінні вважаються визначеними, якщо для них задані функції приналежності. Так, на рис. 6.4 зображений етап формування трьох груп правил (етапи 1-3), де для кожної зі змінних задані функції приналежності.

Фазифікація вхідних параметрів

Фазифікацією, або введенням нечіткості, називається процес знаходження функції приналежності нечітких множин на основі звичайних вихідних даних. На цьому етапі встановлюється відповідність між чисельним значенням вхідної змінної системи нечіткого виведення і значенням функції приналежності відповідної їй лінгвістичної змінної. Для прикладу на рис. 6.4 групою експертів вхідна змінна «А» була оцінена в 3 бали за 10-бальною шкалою, а змінна «В» – у 8 балів. Причому оцінка в 0 балів показує «низьку» якість змінної (наприклад, погана якість продукції, низька репутація команди), а оцінка в 10 балів – «чудові» характеристики описуваного параметра (наприклад, вигідні умови кредитування, висока конкурентоспроможність товарів).

Агрегація

Метою цього етапу є визначення ступеня істинності кожного з підвисновків по кожному з правил систем нечіткого виводу. Далі це приводить до однієї нечіткої множини, яка буде призначена кожній вихідній змінній для кожного правила. Як правило логічного висновку зазвичай використовуються операції \min (мінімум) або prod (множення). У логічному висновку за допомогою функції \min приналежність висновку «відсікається» по висоті, що відповідає ступеню істинності передумови правила (нечітка логіка «І») (рис. 6.4).

Активізація підумови в нечітких правилах

Нечіткі підмножини, призначені для кожної вихідної змінної, об'єднуються разом, щоб сформувати одну нечітку підмножину для кожної змінної.

Дефазифікація

Отримані результати всіх вихідних змінних на попередніх етапах нечіткого виведення перетворюються в звичайні кількісні значення кожної з вихідних змінних. Дефазифікація нечіткої множини $C = \int_{[x;\bar{x}]} \mu_A(x)/x$ за методом

центра ваги здійснюється за формулою $c = \frac{\int_x^{\bar{x}} x \times \mu_A(x) dx}{\int_x^{\bar{x}} \mu_A(x) dx}$.

Результати дефазифікації шляхом знаходження центру тяжіння фігури зображені на рис. 6.5.

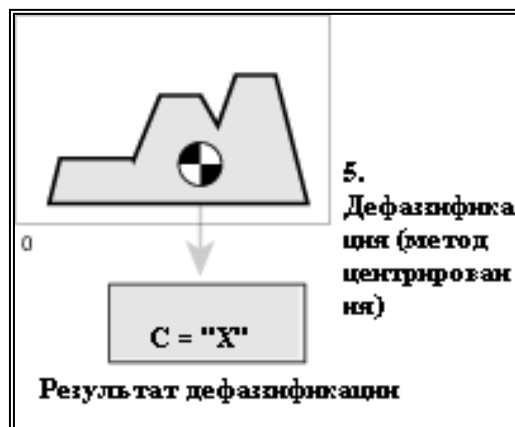


Рис. 6.5. Результати дафазифікації

Фізичним аналогом цієї формули є знаходження центра ваги плоскої фігури, обмеженої осями координат і графіком функції приналежності нечіткої множини.

Питання для самоконтролю:

1. Що є головною особливістю методу нечіткої логіки?
2. У яких випадках доцільно застосовувати метод нечіткої логіки?
3. Що є основним інструментом Fuzzy Logic?
4. Яким шляхом визначається вид функції приналежності?
5. Який алгоритм нечіткого висновку застосовується у пакеті MATLAB?
6. У якому вигляді задається база правил у пакеті MATLAB?
7. Що є фізичним аналогом процедури дефазифікації?

Змістовий модуль 7

Лекція 7. Застосування кластерного аналізу у моделюванні соціально-економічних систем

Мета: ознайомитися з поняттям кластерний аналіз, навчитися застосовувати методи кластерного аналізу при моделюванні соціально-економічних систем.

План

- 7.1. Загальна характеристика кластерного аналізу (КА) як наукового методу пізнання.
- 7.2. Історія виникнення та застосування КА.
- 7.3. Формальна постановка та основні етапи задачі кластеризації.
- 7.4. Особливості проведення кластерного аналізу.
- 7.5. Аналіз результатів: причини неоднозначності та інтерпретація.

Перелік ключових термінів і понять: *кластерний аналіз, кластер, класифікація, метрика, метод k -середніх, евклідова відстань.*

7.1. Загальна характеристика кластерного аналізу (КА) як наукового методу пізнання

Класифікація – це основний процес в інтелектуальній діяльності людини. Зустрічаючись з новим явищем, ми намагаємося знайти йому аналог у відомій нам області. Розглядаючи групу яких-небудь об'єктів, ми мимоволі розділяємо їх на підгрупи близьких один одному елементів. Класифікація присутня при упорядкуванні відомих нам фактів, явищ, предметів.

Отже, можна зробити висновок, що класифікація – це фундаментальне поняття науки і практики.

Кластерний аналіз – це сукупність методів, які дозволяють класифікувати багатомірні спостереження, кожне з яких описується набором вихідних змінних.

Метою кластерного аналізу є утворення груп схожих між собою об'єктів, що прийнято називати **кластерами**.

Слово **кластер** англійського походження (cluster), переводиться як згусток, пучок, група. Споріднені поняття, використовувані в науковій літературі, – клас, таксон, згущення.

Кластерний аналіз – це загальна назва множини обчислювальних процедур, які використовують *при створенні класифікації*. У результаті роботи з процедурами утворюються класи чи групи подібних об'єктів.

Більш точно, **кластерний аналіз** – це багатомірна статистична процедура, що виконує збір даних, які містять інформацію про вибірку об'єктів, і потім упорядковує об'єкти у порівняно однорідні групи.

Кластерний аналіз виконує такі **основні завдання**:

- розробка типології або класифікації.
- дослідження корисних концептуальних схем групування об'єктів.
- породження гіпотез на основі дослідження даних.
- перевірка гіпотез або дослідження для визначення, чи дійсно групи,

виділені тим чи іншим способом, присутні в наявних даних.

Зауваження !!!: Необхідно *не плутати* процедури **кластеризації** та **класифікації**.

Класифікація – віднесення елемента (об'єкта) до певного класу *із заздалегідь відомими параметрами*, отриманими на етапі навчання. Кількість класів при класифікації – строго обмежена.

Кластеризація – це розбиття множини даних на кластери – підмножини однорідних одиниць сукупності, *параметри яких заздалегідь невідомі*.

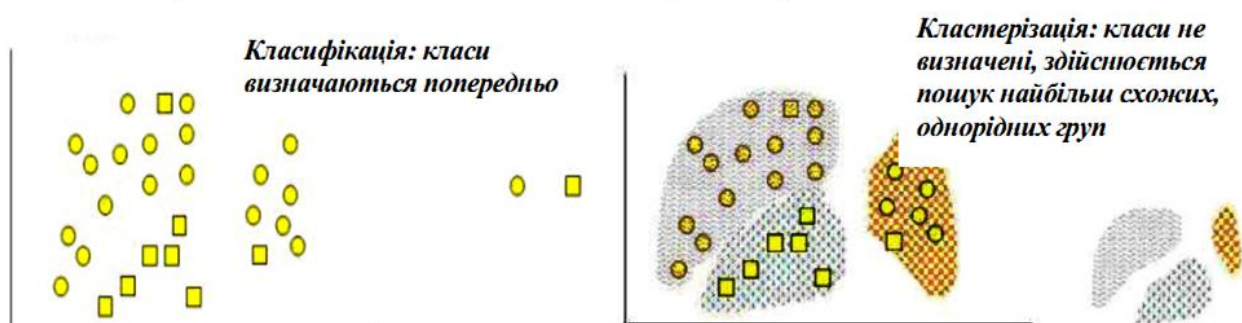


Рис. 7.1. Відмінності класифікації та кластеризації

Кластерний аналіз має низку **переваг перед іншими методами класифікації** даних:

1) він дозволяє виконувати розбиття об'єктів *як за однією ознакою, так і за цілим набором ознак*. Причому вплив кожного з параметрів може бути доволі просто підсилений або послаблений шляхом внесення в математичні формули відповідних коефіцієнтів;

2) кластерний аналіз *не накладає обмежень на вид об'єктів групування* і дозволяє розглядати множину вихідних даних практично довільної природи;

3) особливістю кластеризації є те, що більшість алгоритмів здатні *самостійно визначити кількість кластерів*, на які потрібно розбити дані, а також виділити характеристики цих кластерів *без участі людини*, тільки за допомогою алгоритму, що використовується.

На рис. 7.2 наведено приклад кластеризації об'єктів. Наведені об'єкти доволі прості і мають обмежену кількість характеристик: координати, форма, колір.

Залежно від того, які характеристики використовуються для групування, кластеризація може дати абсолютно різні результати. Реальні об'єкти мають значно більший набір властивостей і, отже, більше варіантів компонування.

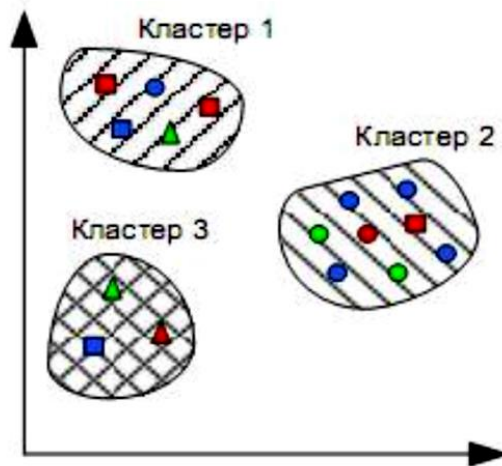


Рис. 7.2. Приклад кластеризації об'єктів

Для того щоб дати точне визначення кластеру, потрібно знати не тільки умови конкретної задачі, але й те, які саме характеристики використовуються в процесі групування.

Характеристиками кластера можна назвати дві ознаки:

- внутрішня однорідність;
- зовнішня ізольованість.

7.2. Історія виникнення та застосування кластерного аналізу

Термін *кластерний аналіз* уперше ввів у 1939 р. Р. Тріон (Tryon), проте активний розвиток цих методів і їхнє широке використання почався наприкінці 60-х – початку 70-х років.

Техніка кластеризації застосовується в різноманітних сферах. Хартіган (Hartigan, 1975) дав прекрасний огляд багатьох опублікованих досліджень, що містять результати, отримані методами кластерного аналізу. Він корисний, коли потрібно класифікувати велику кількість інформації.

Наприклад:

в економіці – для сегментації ринку, вивчення поведінки покупців, визначення конкурентоспроможності нового товару, скорочення розмірності даних тощо,

у медицині – кластеризація захворювань, їх симптомів, а також таксономія пацієнтів, препаратів тощо;

у маркетингу – задача сегментації конкурентів і споживачів,

у менеджменті – розбивка персоналу на різні групи, класифікація споживачів і постачальників, виявлення схожих виробничих ситуацій, при яких виникає брак;

у соціології задача кластеризації – розбивка респондентів на однорідні групи;

в екології – виявлення схожих екологічних умов існування людини та виробництва (стан земель, повітря, води тощо).

У цілому кластерний аналіз виявляється дуже корисним і ефективним тоді, коли необхідно класифікувати «гори» інформації до придатного для подальшої обробки вигляду.

7.3. Формальна постановка та основні етапи задачі кластеризації

Кластерний аналіз (англ. *Data clustering*) – задача розбиття заданої вибірки об'єктів (ситуацій) на підмножини (**кластери**) таким чином, щоб кожен кластер складався зі схожих об'єктів, а об'єкти різних кластерів істотно відрізнялися.

Формальна постановка задачі.

Нехай X – множина об'єктів, Z – множина номерів кластерів.

Задано функцію відстані між об'єктами $\rho(x, x')$.

Є скінченна вибірка об'єктів $X^m = \{x_1, \dots, x_m\} \subset X$.

Потрібно розбити вибірку на підмножини (**кластери**), що не перетинаються, так, щоб кожен кластер складався з об'єктів, близьких по метриці ρ а об'єкти з різних кластерів істотно відрізнялися. При цьому кожному об'єкту $x_i \in X^m$ приписується номер кластеру z_i .

Алгоритм кластеризації – це функція $a: X \rightarrow Z$, яка будь-якому об'єкту $x \in X$ ставить у відповідність номер кластера $z \in Z$.

Множина Y у деяких випадках відома заздалегідь, проте частіше ставиться завдання визначити оптимальне число кластерів, з погляду деякого критерію якості кластеризації.

Задача кластеризації відноситься до статистичної обробки, а також до широкого класу завдань інтелектуального аналізу даних *навчання без вчителя*.

Основні етапи кластерного аналізу.

Незалежно від конкретної сфери застосування кластерного аналізу передбачає такі етапи:

- відбір вибірки для кластеризації;
- визначення множини характеристик, за якими будуть оцінюватися об'єкти у вибірці;
- обчислення значень тієї чи іншої міри схожості (метрики) між об'єктами;
- застосування одного з методів кластерного аналізу для створення груп схожих об'єктів;
- перевірка достовірності результатів кластеризації.

Якщо кластерному аналізу передують факторний аналіз, то вибірка не потребує корегування – викладені вимоги виконуються автоматично самою процедурою факторного моделювання. В іншому випадку вибірку потрібно корегувати.

7.4. Особливості проведення кластерного аналізу

Основні методи кластеризації. Об'єднання схожих об'єктів у групи може бути здійснене різними способами. Саме для цього етапу існує ціла низка методів:

- К-середніх (K-means);
 - нечітка кластеризація С-середніх (C-means);
 - графові алгоритми кластеризації;
 - статистичні алгоритми кластеризації;
 - алгоритми сімейства FOREL;
 - ієрархічна кластеризація або таксономія;
 - нейронна мережа Кохонена;
 - ансамбль кластеризаторів;
 - алгоритми сімейства KRAB;
 - EM-алгоритм;
 - метод просіювання
- та ін.

Типи вхідних даних та вимоги до вхідних даних.

Вхідними даними кластерного аналізу є набір об'єктів. Залежно від способу представлення цих об'єктів розрізняють такі типи вхідних даних:

- *вектор характеристик.* Кожен об'єкт описується набором своїх характеристик; ці характеристики можуть бути числовими або нечисловими;
- *матриця відстаней.* Кожен об'єкт описується відстанями до всіх інших об'єктів вибірки.

Кластерний аналіз висуває такі *вимоги до даних*:

- об'єкти не повинні корелювати (бути залежними) між собою;
- об'єкти мають бути безрозмірними;
- розподіл об'єктів має бути близьким до нормального;
- об'єкти повинні відповідати вимозі стійкості, під якою розуміється відсутність впливу на їх значення випадкових чинників;
- вибірка повинна бути однорідна.

Найбільш розповсюджені метрики.

При проведенні кластерного аналізу для визначення відстаней між двома об'єктами $x = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ та $y = (y_1, \dots, y_i, \dots, y_n)$ використовуються, зокрема, такі метрики:

- метрика Евкліда (евклідова метрика) $d_E(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$;
- відстань Хемінга: $d_{HEM}(x, y) = \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)$;

- метрика Чебишева: $d_{SUP}(x, y) = SUP|x_i - y_i|$;
- ступенева відстань: $d_S(x, y) = \left(\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p \right)^{\frac{1}{p}}$;
- відстані Джеффріса-Матусіти та ін.

Застосування кожної метрики має свої особливості при проведенні кластерного аналізу, а тому її вибір повинен бути ретельно обґрунтовано. Особливості та основні характеристики деяких з наведених метрик представлено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1. Характеристика метрик для вимірювання відстаней

Назва	Недоліки	Переваги
1	2	3
Метрика Евкліда $d_e(x_i, y_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^{Nf} (x_i - y_i)^2}$	Не враховує знакові розходження	1. Пропорційно збільшує відстань між об'єктами у випадку різних абсолютних значень показників. 2. Збільшується розмірність кластерного поля, об'єкти штучно віддаляються один від одного. 3. Межі між кластерами стають чіткими і точними.
Метрика Хемінга $d_{dei}(x_i, y_i) = \sum_{i=1}^{Nf} (x_i - y_i)$	Втрачаються важливі знакові характеристики розходжень	1. Використовується, коли знакові розходження характеристик об'єктів мають принципове значення. 2. За рахунок нівелювання знакових розходжень показників об'єкти сконцентруються навколо області ядра кластера.
Метрика L-норма $d_L(x_i, y_i) = \sum_{i=1}^{Nf} x_i - y_i $	Не враховуються знакові розходження	1. Збільшується розмірність кластерного поля. 2. Об'єкти штучно віддаляються один від одного. 3. Межі між кластерами стають чіткішими і точнішими.
Метрика Чебишева $d_{sup}(x_i, y_i) = SUP x_i - y_i $	Неправомірно змінює картину класифікації через ігнорування усіх факторів, крім одного	З усіх різниць значень факторів, взятих по модулю, обирається одна – найбільша, саме вона буде характеристикою відстані між об'єктами. Отже, чітко формується однакова відстань між об'єктами.

7.5. Аналіз результатів: причини неоднозначності та інтерпретація.

Розв'язок задачі кластеризації принципово неоднозначний, і цьому є декілька причин:

- не існує однозначно найкращого критерію якості кластеризації. Відома ціла низка евристичних критеріїв, а також низка алгоритмів, що не мають чітко вираженого критерію, але здійснюють достатньо розумну кластеризацію «за побудовою». Усі вони можуть давати різні результати;
- кількість кластерів, як правило, невідома заздалегідь і встановлюється відповідно до деякого суб'єктивного критерію;
- результат кластеризації істотно залежить від метрики, вибір якої, як правило, також суб'єктивний і визначається експертом.

Інтерпретація результатів.

Результатом кластеризації є групи об'єктів, об'єднані за певною характеристикою чи характеристиками. Однак ці результати можуть бути інтерпретовані по-різному. Зокрема, при аналізі результатів *соціологічних* досліджень рекомендується здійснювати аналіз ієрархічними методами, наприклад методом Уорда, при якому всередині кластерів оптимізується мінімальна дисперсія, і в результаті створюються кластери приблизно рівних розмірів. Як міра відмінності між кластерами використовується квадратична евклідова відстань, що сприяє збільшенню контрастності кластерів.

Тепер виникає питання стійкості знайденого кластерного розв'язку. По суті, перевірка стійкості кластеризації зводиться до перевірки її достовірності. Тут існує емпіричне правило – *стійка типологія зберігається при зміні методів кластеризації*. Результати ієрархічного кластерного аналізу можна перевіряти ітеративним кластерним аналізом методом k-середніх. Якщо при порівнянні групи збігаються більше, ніж на 70 % (понад 2/3 збігів), то кластерне рішення приймається.

Перевірити адекватність рішення, не вдаючись до допомоги інших видів аналізу, не можливо. Принаймні, в теоретичному плані ця проблема не вирішена.

Питання для самоконтролю:

1. У чому полягає відмінність між кластеризацією та класифікацією?
2. Які переваги має кластеризація в порівнянні з класифікацією?
3. Задачу кластеризації можна віднести до задачі навчання з вчителем чи навчання без вчителя?
4. Яким чином визначається кількість кластерів?
5. У чому полягає причина неоднозначності розв'язку задачі кластеризації?
6. Як перевірити достовірність результатів кластерного аналізу?

Приклад тестових завдань для поточного та підсумкового контролю:

1. Модель – це:
 - a. протилежність оригіналу;
 - b. об'єкт, що замінює оригінал та зберігає важливі властивості оригіналу;
 - c. математичне вимірювання властивостей оригіналу.
2. Маневреність розглядається як:
 - a. властивість економічної системи зберігати свої атрибути, структуру і напрями руху, поки певні сили не виведуть її з цього стану в інший;
 - b. властивість системи повертатись до початкового стану, незважаючи на збурення;
 - c. реакція системи на заміну змінних;
 - d. реакція системи на змінення зовнішніх та внутрішніх умов реалізації плану, а також цільових його стратегій.
3. Надійність плану – це:
 - a. якісна характеристика виконання рішень, що в ньому містяться, за обсягами та строками;
 - b. потенційна ймовірність невиконання рішень, що в ньому містяться, за обсягами та строками;
 - c. потенційна ймовірність виконання рішень, що в ньому містяться, за обсягами та строками.
4. Напруженість плану визначається:
 - a. ймовірністю його виконання;
 - b. дисперсією його виконання;
 - c. дисперсією його невиконання;
 - d. ймовірністю його невиконання.
5. Паретовські оптимуми (неформальне визначення) – це:
 - a. векторно непорівнянні розв'язки: якщо один розв'язок є кращим за одним із часткових критеріїв, то він є гіршим за іншим, і немає такого розв'язку, який би був краще одразу за всіма частковими критеріями;
 - b. це така мінімальна за потужністю підмножина паретовської множини, образ якої в критеріальному просторі збігається із паретовською границею множини досяжності;
 - c. розв'язок, що є кращим за кожним із часткових критеріїв, і немає такого розв'язку, який би був краще хоча б за одним частковим критерієм.

6. Під еластичністю плану (у загальному випадку) розуміється
 - a. його зміна для можливості реалізації кінцевих цілей;
 - b. його здатність до певних змін без істотної втрати можливості реалізації кінцевих цілей;
 - c. його нездатність до певних змін для можливості реалізації кінцевих цілей.

7. Характеристиками кластера Ви вважаєте наступні ознаки:
 - a. внутрішня різноманітність та зовнішня ізольованість;
 - b. внутрішня функціональність та зовнішня ізольованість;
 - c. внутрішня однорідність та зовнішня не ізольованість;
 - d. внутрішня однорідність та зовнішня ізольованість.

8. На Ваш погляд лінгвістична змінна відрізняється від числової змінної тим, що ...
 - a. її значеннями є не числа, а слова або словосполучення в природній або формальній мові;
 - b. її значеннями є числа, а також слова або словосполучення в природній або формальній мові;
 - c. її значеннями є числові та функціональні залежності на формальній мові.

9. Під оцінкою якості кластеризації Ви розумієте ...
 - a. можливість так приписати номери кластерів об'єктам, аби значення вибраного функціонала якості набуло значення нескінченності;
 - b. можливість так розподілити кластери, аби значення вибраного функціонала якості набуло найкращого значення;
 - c. можливість так приписати номери кластерів об'єктам, аби значення вибраного функціонала якості набуло найкращого значення.

10. Під поняттям «нейронна мережа» Ви розумієте ...
 - a. комп'ютерні системи, які в діалоговому режимі демонструють здібність до узагальнення, кластеризації інформації та будівництва прогнозів;
 - b. адаптивні системи для інтелектуального аналізу даних, які є математичною структурою, що імітує деякі аспекти роботи людського мозку;
 - c. комп'ютерні системи, які демонструють здібність до неформального навчання, узагальнення і кластеризації неklasифікованої інформації, здатність самостійно будувати прогнози;
 - d. комп'ютерні системи, які демонструють можливість застосування математичних моделей до задач узагальнення, кластеризації та прогнозування.

11. Термін Data Mining у Вашому уявленні співвідноситься з ...

- a. автоматизованою обробкою економічної інформації;
- b. засобами пошуку закономірностей;
- c. інформаційною проходкою даних;
- d. інтелектуальним аналізом даних;
- e. експертними системами.

12. Важливими парадигмами, пов'язаними з нейрокомп'ютигом, Ви вважаєте:

- a. застосування мов програмування;
- b. дискретний характер обробки інформації;
- c. навчання, засноване на даних;
- d. локальність і паралелізм обчислювань;
- e. універсальність навчальних алгоритмів.

Рекомендована література

Основна

1. Вітлінський В. В. Моделювання економіки : навч. посіб. Київ : КНЕУ, 2003. 408 с.
2. Лавінський Г. В., Пшенишнюк О. С., Устенко С. В., Шарапов О. Д. Моделювання системних характеристик в економіці. Київ : ЕКМО, 2004. 169 с.
3. Програма дій «Порядок денний на ХХІ століття» : Ухвалена конференцією ООН з навколишнього середовища і розвитку в Ріо-де-Жанейро (Саміт «Планета Земля», 1992 р.) : пер. з англ. 2-ге вид. Київ : Інтелсфера, 2000. 360 с.
4. Data Mining Techniques, Concepts, and More. Bravex Publications, 2020. 102 p.
5. Гладун А. Я., Рогушина Ю. В. Data Mining: пошук знань в даних. Київ : ТОВ «ВД «АДЕФ-Україна», 2016. 452 с.
6. Черняк О. І., Захарченко П. В. Інтелектуальний аналіз даних : підручник. Київ : Знання, 2010. 821 с.
7. Sundareswaran K. A Learner's Guide to Fuzzy Logic Systems. Second Edition. New York : CRC Press, 2019. 126 p.

Додаткова

1. Ризики, безпека, кризи і сталий розвиток в економіці: методології, моделі, методи управління та прийняття рішень / під заг. ред. проф. С. К. Рамазанова. Луганськ : Вид-во «Ноулідж», 2012. 948 с.
2. Черняк О. М., Лис Ю. С., Грінченко Г. С., Каницька І. В. Багатокритеріальне оцінювання умов праці на виробництві. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія : Нові рішення у сучасних технологіях.* 2020. № (3(5)). С. 28–33. URL: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2020.01.04>.
3. Шпирко О. В. Особливості застосування методів кластерного аналізу для сегментації і моделювання поведінки споживачів. *Теоретичні та прикладні питання економіки.* 2007. Вип. 13. С. 202–205.
4. Belohlavek R.; Dauben J.; Klir G. Fuzzy Logic and Mathematics: A Historical Perspective. New York : Oxford University Press, 2017. 544 p.
5. Herbert J. Data Mining: The Data Mining Guide for Beginners, Including Applications for Business, Data Mining Techniques, Concepts, and More. Bravex Publications, 2020. 102 p.
6. Ляшенко І. М., Коробова М. В., Столяр А. М. Основи математичного моделювання економічних, екологічних та соціальних процесів : навч. посіб. Тернопіль : Навчальна книга. Богдан, 2006. 304 с.
7. Sundareswaran K. A Learner's Guide to Fuzzy Logic Systems. Second Edition. New York : CRC Press, 2019. 126 p.

Інформаційні ресурси

1. Monterrey Consensus of the International Conference on Financing for Development. URL: <http://www.un.org/esa/ffd>.
2. Сайт одного із засновників Data Mining Г. Піатецького-Шапіро. URL: www.kdnuggets.com.
3. Сайт компанії Basegroup (Deductor). URL: <http://www.basegroup.ru>.
4. Сайт компанії StatSoft (STATISTICA). URL: <http://www.statsoft.ru>.
5. SIGEF Association official website (нечіткі обчислення). URL: <http://gandalf.fcee.urv.es/sigef/english/frame.html>.
6. Консультаційний центр MATLAB компанії SoftLine. URL: http://www.nsu.ru/matlab/MatLab_RU/matlab/default.asp.htm

Додаток А

Таблиця А.1. Історія виникнення та розвитку концепції сталого розвитку

Дати	Захід, причина	Сутність та значення
50–60-х рр. 20 ст.		розвиток пов'язували лише з економічним прогресом та зростанням економічної ефективності .
Початок 70-х рр.	<i>Несправедливий розподіл прибутків та зі зростання кількості бідних у країнах, що розвиваються</i>	питання соціальної справедливості були визнані такими ж важливими, як і питання зростання економічної ефективності
1972 р.	Зростаюче споживання природних ресурсів призвело до <i>деградації довкілля</i> й негативно вплинуло на здоров'я людей. Римський клуб: реальною загрозою є проблема «меж зростання»	в роботах членів Римського клубу застосовувався термін «органічне зростання»
1980 р.	Міжнародною спілкою охорони природи (МСОП) підготовлена «Всесвітня стратегія охорони природи» (ВСОП)	З'явився термін «сталий розвиток» У стратегії – <u>принципово нове положення</u> : збереження природи нерозривно пов'язане з питаннями розвитку . Розвиток суспільства має відбуватися за умови збереження природи.
1987 р.	Публікація звіту Міжнародної комісії з довкілля та розвитку «Наше спільне майбутнє» (підготовлений під керівн. Г. Х. Брундтланд)	Почали широко застосовувати поняття «сталий розвиток» (СР)
1992 р., м. Ріо-де-Жанейро	Конференція ООН з довкілля та розвитку прийняла «Порядок денний на XXI століття» (Agenda 21) .	Концепція сталого розвитку набула провідного статусу <u>Визначення терміну:</u> «сталий розвиток – розвиток, що задовольняє потреби теперішнього часу, не ставлячи під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби» Ціль СР – досягнення: <ul style="list-style-type: none"> • високої якості навколишнього середовища і здорової економіки для всіх народів світу, • задоволенні потреб людей і збереженні сталого розвитку протягом

		тривалого періоду. <i>Але цього так і не сталося!</i>
грудень 1997 р. , Кіото (Японія)	Підписано Кіотський протокол – міжнародну угоду, що містить конкретні заходи по скороченню викидів газів, що викликають парниковий ефект. (підписали представники 38 країн та ЄС).	Документ міг стати першим ефективним інструментом стимулювання сталого розвитку на різних рівнях розвитку суспільства — від глобального до регіонального.
лютий 2005 р.	Ухвалена Боннська угода	– встановлювала правила розрахунку викидів газів, схему торгівлі квотами на викиди між державами, систему контролю за виконанням зобов'язань підписантами Кіотського протоколу. В результаті: Кіотський протокол набрав чинності
2000 р.	Саміт тисячоліття ООН - 189-ма країнами прийнята « Декларація тисячоліття » ООН	Визначено всеосяжні межі цінностей, принципів і ключових чинників розвитку за трьома основними мандатами ООН : мир і безпека, розвиток і права людини. Дорожня карта зі втілення «Декларації тисячоліття» запропонувала набір із 8 універсальних цілей з конкретними термінами і кількісними показниками. Період 2000–2015 рр. визначено як термін реалізації восьми Цілей розвитку тисячоліття (ЦРТ) . Цілі включають в себе скорочення масштабів крайньої бідності, зниження дитячої смертності, боротьбу з епідемічними захворюваннями, такими, як СНІД, а також розширення всесвітнього співробітництва з метою розвитку.
2002 р, Монтерреї (Мексика)	Міжнародна конференція з фінансування розвитку (International Conference on Financing for Development).	Рішення зі стимулювання сталого розвитку Глави держав і урядів країн світу, відзначаючи дефіцит ресурсів, закликали досягти інтернаціонально погоджених цілей розвитку, у тому числі тих, що містяться в Цілях Тисячоліття. Запропоновано використовувати інструменти : податкові важелі, інвестиції в економічну і соціальну інфраструктуру, розвиток ринків капіталу через банківські системи, проводити розсудливу бюджетну і грошову політику. Також зменшувати

		вплив інфляції, сприяти високим нормам економічного зростання, повній зайнятості, викоріненню бідності, цінній стабільності
2002 р., Йоганнесбург Ріо+10	Світовий саміт зі сталого розвитку (Саміт Землі 2002, Ріо+10) World Summit on Sustainable Development (Earth Summit 2002) – зустріч керівників країн та урядів світу на найвищому рівні	Дав змогу: <ul style="list-style-type: none"> • визначити цілі, часові рамки і зобов'язання (з широкого спектру питань, які покликані змінити життя у всіх регіонах світу, у тому числі, деякі нові цільові показники, пов'язані із забезпеченням базовими елементами санітарії, використанням і виробництвом хімічної продукції та ін.); • міжнародні зобов'язання були доповнені низкою добровільних партнерських ініціатив зі сталого розвитку.
вересень 2015 р., Нью-Йорк	Саміт ООН під час 70-ї сесії Генеральної Асамблеї ООН з прийняття Порядку денного розвитку після 2015 року	Прийнято документ «Перетворення нашого світу: Порядок денний в області сталого розвитку на період до 2030 року» . Узгоджено та ухвалено 17 цілей сталого розвитку, 169 завдань, засоби для реалізації тощо. Документ погодили лідери майже 200 країн, серед яких є Україна . Сталий розвиток став загальною ідеєю, за яким світ домовився жити та видозмінюватися до 2030 року.

Додаток Б



Рис. Б.1. «Глобальні цілі» або 17 цілей сталого розвитку, що ухвалені на Саміті ООН зі сталого розвитку 2015 р.

Додаток В

Табл. В.1. Аналіз існуючих математичних моделей еколого-економічних взаємодій

Назва	Автори	Зміст	Опис	Недоліки
«World-1» - («Світ-1»)-перша модель глобального розвитку	Дж. Форрестер, 1970 р.	Примітивна модель, що грубо імітувала основні процеси світової системи.	спрямовані на розроблення сценаріїв еколого-економічного розвитку з 1900 по 2100 рік.	
«World-2»	Дж. Форрестер, 1971 р. (удосконалення)	Побудована на основі методу системної динаміки	Для опису зміни екологічної ситуації Дж. Форрестер використав схему побудови формалізованих моделей нелінійних динамічних процесів. Результати розрахунків показали неминучість кризи, пов'язаної з виснаженням ресурсів та зростанням забруднення, якщо будуть збережені сучасні тенденції та не буде вжито ніяких заходів для забезпечення безкризового розвитку. Найбільш оптимістичні гіпотези розвитку світу в цій моделі пов'язані зі стабілізацією рівня використання природних ресурсів та рівня забруднення	надмірно високий ступінь узагальнення змінних, що характеризують процеси; не враховується багато важливих факторів; утруднена ідентифікація моделі; рекомендації Форрестера щодо запобігання кризи нереалістичні.
«World-3»	Д. Медоуз і його співробітники (продовження моделі Форрестера)	враховувались такі фактори: подвоєння початкових запасів або навіть необмеженість природних ресурсів, контроль народжуваності, забруднення середовища, інтенсифікація сільського господарства та ін.		незважаючи на такі досить оптимістичні передумови, висновком своєї роботи Медоуз, так само як і Форрестер, називає необхідність нульового зростання

<p>Модель «органічного зростання»</p>	<p>Друга доповідь Римського клубу, 1974 р.</p>	<p>робиться спроба подолання розуміння світу як гомогенної системи шляхом розподілу його на десять регіонів і обліку в кожному регіоні фізичних, економічних, соціальних та інших особливостей.</p>	<p>Основною причиною екологічної кризи автори вважають економічний розрив між розвиненими та слабозвиненими країнами. Розглядаються чотири варіанти розвитку світу в найближчі п'ятдесят років. Перший варіант, збереження існуючих тенденцій, у перспективі веде до зростання розриву. Інші варіанти спрямовані на негайну допомогу слабозвиненим країнам з боку розвинених країн і відрізняються між собою розмірами коштів, що спрямовуються на скорочення розриву.</p>
<p>Модель Д.Пірса й К. Тернера</p>	<p>Д. Пірс, К. Тернер</p>	<p>показує зворотні зв'язки в еколого-економічній системі.</p>	<p>Навколишнє середовище є джерелом природних ресурсів та екологічних благ, а також слугує для поглинання й розміщення відходів виробництва та споживання. Якщо асиміляційний потенціал навколишнього середовища перевищує обсяг залишкових відходів (з урахуванням рециркуляції), то якість навколишнього середовища не погіршується. У протилежній ситуації якість навколишнього середовища погіршується й зменшується її здатність постачати ресурсами виробництво й споживання</p>
<p>Перша міжгалузєва модель</p>	<p>В.В. Леонтьєв і Д. Форд.</p>	<p>охоплювала взаємозв'язки економіки та навколишнього середовища</p>	<p>Леонтьєв представляє міжгалузєвий баланс як сукупність потоків товарів і послуг, які відображені у таблиці «input-output», та характеризують основні структурні зміни окремих секторів економіки. Балансовий метод дозволяє встановлювати й узгоджувати в господарській діяльності натурально-речовинні та вартісні пропорції. При цьому повинні виконуватися закони збереження в балансовій формі, включаючи потоки природної сировини, матеріалів та забруднюючих речовин і т.п. Із часу появи цієї моделі накопичений широкий досвід її практичного використання, зокрема на регіональному рівні, та розроблено багато її модифікацій</p>

ДЛЯ ПОДАТКІВ

Навчальне видання
(українською мовою)

Макшишко Наталія Костянтинівна

АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

Конспект лекцій
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності «Економіка»
освітньо-професійної програми «Економічна кібернетика»

Рецензент *В.М. Порохня*
Відповідальний за випуск *Н.К. Максшишко*
Коректор *В.В. Рянічева*