

**Національний технічний університет України**

**„Київський політехнічний інститут”**

**Інститут прикладного системного аналізу**

***Бідюк П.І., Коршевнюк Л.О.***

**ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ  
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ  
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

**(навчальний посібник)**

Київ 2010

УДК [519.7/.8:(004+007)](100)(06)

ББК 22.18я43+72я43

Б 60

Рецензенти:

*Азарсков В.М.* – доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет;

*Положаєнко С. А.* – доктор технічних наук, професор, Одеський національний політехнічний університет;

*Жежнич П. І.* – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка».

Науковий редактор:

*Данилов В.Я.* – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”

Бідюк П.І., Коршевніук Л.О. Проектування комп’ютерних систем підтримки прийняття рішень: Навчальний посібник. — Київ: ННК „ІПСА” НТУУ „КПІ”, 2010. — 340 с.

У навчальному посібнику представлена методика проектування інформаційних систем підтримки прийняття рішень (СППР), яка ґрунтується на сучасних принципах системного аналізу. Розглянуто функціональну структуру та альтернативні підходи до реалізації СППР із використанням моделей проектування різних типів, а також на основі створення прототипу. Докладно наведена вся процедура проектування інформаційної системи, яка охоплює написання технічного завдання, створення повного проекту системи, програмування та тестування модулів, а також супроводження системи на етапі її експлуатації замовником. Розглянуто основні типи архітектур СППР в залежності від обмежень, які накладаються методами обробки даних, типом інформації, необхідної для прийняття рішень, та альтернативними процедурами оцінювання варіантів. Описано типи інтерфейсів інформаційних систем та процедуру їх проектування, яка ґрунтується на принципах науки про людський фактор. Значна увага присвячена практичним прикладам побудови СППР, зокрема: СППР для прогнозування часових рядів, системі на основі мереж Байєса і системі, яка ґрунтується на використанні експертних оцінок.

Навчальний посібник рекомендується для студентів, аспірантів та викладачів, а також інженерів, що спеціалізуються в галузі проектування та розробки систем підтримки прийняття рішень в різних галузях виробництва, бізнесу, науки і техніки.

УДК [519.7/.8:(004+007)](100)(06)

ББК 22.18я43+72я43

© П.І. Бідюк, Л.О. Коршевніук, 2010

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ</b> .....	13
1.1 Прийняття рішень і СППР .....	13
1.2 Історія виникнення та розвиток СППР .....	25
Контрольні задачі і запитання .....	30
<b>РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ЕТАПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ</b> .....	31
2.1 Аналіз процесу прийняття рішення .....	31
2.2 Стратегії прийняття рішення .....	34
2.3 Приклад прийняття особистого рішення.....	36
2.4 Етапи проектування СППР .....	39
Контрольні задачі і запитання .....	54
<b>РОЗДІЛ 3 ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ І ДАННИХ В СППР</b> .....	55
3.1 Вибір моделей і критеріїв для СППР .....	55
3.2 Вибір моделі для оцінювання наслідків прийняття рішень з використанням СППР .....	57
3.3 Вибір інструментарію для інформаційного менеджменту .....	60
Контрольні задачі і запитання .....	62
<b>РОЗДІЛ 4 ПРОЕКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ СППР</b> .....	63
4.1 Основні підходи до проектування СППР .....	63
4.2 Типи архітектур спеціалізованих СППР .....	67
4.3 Функції системи обробки даних та генерування результатів .....	75
4.4 Вибір та описання алгоритмів, на яких базується СОДГР .....	76
4.5 Дані і знання, які можуть використовуватись в СППР .....	78
4.6 Функції системи представлення результатів, форми представлення.....	83
Контрольні задачі і запитання .....	84
<b>РОЗДІЛ 5 ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕРФЕЙСУ КОРИСТУВАЧА</b> .....	85
5.1 Вимоги до інтерфейсів інформаційних систем .....	85
5.2 Характеристики інтерфейсу користувача та принципи його формування.....	86
5.3 Проектування інтерфейсу на принципах людського фактору .....	93
5.4 Тональність діалогу та термінологія.....	98
5.5 Використання кольорів, мигання і клавіатури .....	99
Контрольні задачі і запитання .....	100
<b>РОЗДІЛ 6 РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ СППР</b> .....	101
6.1 Умови успішної реалізації СППР.....	101
6.2 Фактори ризиків, які зустрічаються при проектуванні та реалізації СППР.....	103

6.3 Менеджмент ризиків проектів з розробки СППР.....	105
6.4 Послідовність розробки та реалізації СППР.....	107
6.5 Створення прототипу СППР.....	113
6.6 Короткий огляд СППР, що пропонуються на ринку інформаційних послуг.....	114
6.7 Приклад побудови СППР у банку.....	120
Контрольні задачі і запитання.....	129
<b>РОЗДІЛ 7 ПОБУДОВА СППР ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ДИНАМІКИ ЧАСОВИХ РЯДІВ РІЗНОЇ ПРИРОДИ.....</b>	<b>130</b>
7.1 Прогнозування на основі часових рядів.....	130
7.2 Побудова функцій прогнозування.....	136
7.3 Створення СППР для прогнозування часових рядів.....	157
7.4 Приклад реалізації СППР на основі часових рядів.....	176
Контрольні задачі і запитання.....	195
<b>РОЗДІЛ 8 ПОБУДОВА СППР НА ОСНОВІ МЕРЕЖ БАЙЄСА.....</b>	<b>196</b>
8.1 Вступ до мереж Байєса.....	196
8.2 Евристичний метод побудови мережі Байєса.....	207
8.3 Практичне застосування мереж Байєса.....	215
8.4 Інформаційні СППР на основі мереж Байєса.....	220
8.5 Розробка експертної СППР для підприємства на основі мереж Байєса.....	229
Контрольні задачі і запитання.....	237
<b>РОЗДІЛ 9 ПОБУДОВА СППР НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ.....</b>	<b>238</b>
9.1 Методи експертних оцінок для розв'язання задач прийняття рішень.....	238
9.2 Застосування апарату нечіткої логіки та теорії нечітких множин в СППР.....	249
9.3 Експертне оцінювання варіантів.....	260
9.4 Процедури агрегування та аналізу погодженості експертних оцінок.....	276
9.5 Процедури вибору варіантів.....	288
9.6 Приклад побудови СППР для розподілу обмежених ресурсів.....	292
Контрольні задачі і запитання.....	298
<b>РОЗДІЛ 10 ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ З ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СППР.....</b>	<b>299</b>
Практичне заняття № 1.....	299
Практичне заняття № 2.....	305
Практичне заняття № 3.....	306
Практичне заняття № 4.....	310

<b>ДОДАТКИ ПЕРЕЛІК ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА РОЗРОБКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ .....</b>	<b>311</b>
Технічна пропозиція .....	312
Технічне завдання .....	313
Технічний проект .....	318
Експлуатаційна документація .....	324
Організаційно-розпорядницька документація .....	330
<b>ЛІТЕРАТУРА .....</b>	<b>335</b>

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

AI	–	адаптивний інтерфейс
АКФ	–	автокореляційна функція
АМАВ	–	аспектний мультиатрибутний вибір
АПК	–	аналітичний програмний комплекс
АР	–	авторегресія
АРІКС	–	авторегресія з інтегрованим ковзним середнім
АРКС	–	авторегресія з ковзним середнім
АРУГ	–	авторегресійна умовно гетероскедастична (модель)
АСУ	–	автоматизована система управління
БД	–	база даних
БЗ	–	база знань
БЗД	–	база знань і даних
БМ	–	Байєсова мережа
ДЕС	–	дорадча економічна система
ЕС	–	експертна система
ЕТ	–	електронна таблиця
ІС	–	інформаційна система
ІТ	–	інформаційні технології
КІС	–	комп'ютерна інформаційна система
КС	–	ковзне середнє
МАП	–	максимальна абсолютна похибка
МГВА	–	метод групового врахування аргументів
МіАП	–	мінімальна абсолютна похибка
ММП	–	метод максимальної правдоподібності
МНК	–	метод найменших квадратів
МС	–	мовна система
НЛ	–	нечітка логіка
НМНК	–	нелінійний метод найменших квадратів
ОМД	–	опис мінімальної довжини
ОПР	–	особа, яка приймає рішення
ПЗ	–	програмне забезпечення
ПМ	–	природно-мовний (інтерфейс)
ПС	–	програмна система
РМНК	–	рекурсивний метод найменших квадратів
РП	–	робоча пам'ять
СКП	–	сума квадратів похибок
СОДГР	–	система обробки даних та генерування результатів
СП	–	середня похибка
СППР	–	система підтримки прийняття рішень

СПР	–	система представлення результатів
СУБД	–	система управління базою даних
СУБЗ	–	система управління базою знань
СУБМ	–	система управління базою моделей
ТБ	–	техніка безпеки
ТЗ	–	технічне завдання
ТНМ	–	теорія нечітких множин
ТПР	–	теорія прийняття рішень
ТУІ	–	таблиця умовних ймовірностей
УАРУГ	–	узагальнена авторегресійна умовно гетероскедастична (модель)
УМАВ	–	утилітарний мультиатрибутний вибір
УММ	–	узагальнений метод моментів
ФН	–	функція належності
ЧАКФ	–	частково автокореляційна функція

## ВСТУП

Сучасні теорії інформаційних технологій та менеджменту у бізнесі, концепції отримання знань, принципи побудови інтелектуальних систем, а в рамках останніх створення систем підтримки прийняття рішень (СППР), методи застосування генетичних алгоритмів у процесі відтворення штучних систем, що адаптуються до навколишнього середовища, потребують того, щоб мета створення системи ґрунтувалась на усвідомленій цілеспрямованій діяльності людини. При створенні СППР використовують експертні оцінки, нейронні мережі, алгоритми м'яких обчислень, методи оптимізації, регресійний аналіз, байєсівські моделі та методи, а також багато інших сучасних підходів та методів.

Досягнення усвідомлених, а потім сформульованих цілей потребує створення інструментальних засобів, які дозволяють скоротити неминуче виникаючі (і зростаючі) витрати, що обмежуються наявними ресурсами. Попит на такого роду засоби породив науковий напрям, головним завданням якого стало поширення і використання знань спеціалістів, що мають найвищу кваліфікацію. Потреба в такого роду засобах викликала до життя в рамках методів та систем штучного інтелекту спектр інформаційних технологій, покликаних допомогти в справі управління суспільством, виробництвом, торгівлею, кредитною і фінансовою сферами. Найбільш популярними назвами цих технологій є: експертні системи, дорадчі системи, інтелектуальні системи, інформаційні системи підтримки прийняття рішень. Спільною рисою перерахованих технологій можна назвати те, що усі вони в тій чи іншій формі використовують знання людини-експерта. Об'єднавши їх під загальною назвою, можна виділити ті, що стосуються економічної сфери: дорадчі економічні системи (ДЕС).

Докладний розгляд функцій управління дозволяє визначити блоки систем, що радять, які ці системи повинна відображати. Всі ДЕС умовно розділені на два класи:

1. Системи, що відтворюють усвідомлені розумові зусилля людини (статичні детерміновані або стохастичні системи).

2. Системи, що відтворюють підсвідомі розумові дії людини (еволюційні системи на основі нейротехнологій і генетичних алгоритмів).

Перший клас ДЕС у свою чергу містить три підкласи:

- розрахунково-діагностичні системи;
- системи підтримки прийняття рішень;
- експертні системи на основі наближених міркувань, які також можна розглядати як один із типів СППР.



Другий підклас складається з таких систем:

- системи нейромережових обчислень;
- системи, орієнтовані на природно-мовні запити.

Дорадчі системи призначені для допомоги у прийнятті рішень у тих випадках, коли виникає проблема пошуку альтернатив і вибору одного правильного рішення. Існуючі методики, як правило, виходять із того, що вже відомі варіанти рішень і наслідки їх прийняття, які фіксуються в матриці рішень. Проте, як показує практика, пошук альтернативних варіантів і побудови функцій, спроможних розрахувати наслідки прийняття того або іншого варіанту, справа далеко не проста, особливо у фінансово-економічній сфері діяльності. Мета створення ДЕС полягає:

- у наданні управлінському персоналу знань, яких їм бракує у процесі виконання своїх фахових обов'язків;
- у навчанні управлінського персоналу конкретним діям, необхідним для виконання рекомендацій, наданих системою підтримки прийняття рішень із подальшим контролем виконання.

Як основний підхід до організації ДЕС у світі використовується технологія створення систем підтримки прийняття рішень. При такому підході в центрі розробки знаходиться особа, яка приймає рішення (ОПР), тому структура і склад системи визначаються її потребами: інформаційними та інструментальними.

Ці потреби виникають у ОПР в процесі реалізації поставлених ним цілей, а також при виконанні його службових обов'язків. Інформаційне поле прийняття рішень може включати зовнішню інформацію (інформацію зовнішнього середовища) і внутрішню (вона виникає у процесі використання ДЕС).

Інструментарій ОПР зазвичай включає також функції, що забезпечують реалізацію функціональних інформаційних технологій (ІТ), які можна розділити на такі типи [14]:

- ІТ, що констатують, тобто забезпечують користувача необхідною інформацією для розпізнавання існуючої економічної ситуації;
- ІТ моделюючого типу, побудовані на основі застосування математичної моделі, яка дозволяє користувачу оцінити можливі результати прийнятого рішення, відповідаючи на запитання *“що робити, якщо?”*;
- ІТ, реалізовані у виді експертних систем різного рівня і класу, що дозволяють відповісти на запитання *“як зробити, щоб?”*

Навчальний посібник присвячено проблематиці проектування, розробки та реалізації інформаційних систем підтримки прийняття рішень. Структура запропонованої методології проектування комп'ютерних

інформаційних СППР ґрунтується на системному підході, який передбачає врахування ієрархічності структури процесів та об'єктів, стосовно яких приймається рішення, а також врахування у моделях можливих невизначеностей описання процесів, зокрема це невизначеності структурного, параметричного і статистичного характеру.

У першому розділі розглядаються основні поняття СППР, досліджуються поняття рішення, етапи процесу прийняття рішень, аналізуються види рішень, умови та середовище прийняття рішень, визначається доцільність та можливість підтримки різних стадій процесу прийняття рішень. Наводяться історичні передумови виникнення і важливі етапи розвитку систем підтримки, розглядаються основні класифікації сучасних СППР.

Другий розділ висвітлює методику побудови систем підтримки прийняття рішень. Аналіз процесу прийняття рішень в розділі включає вивчення ключових атрибутів та обмежень процесу ухвалення рішення, що виконується індивідуумом без допоміжних засобів. Досліджуються стратегії прийняття рішень, їх переваги та недоліки. Наводиться докладний приклад процесу прийняття особистого рішення. Розглядається поетапна методика проектування СППР, яка складається з вивчення і декомпозиції задачі прийняття рішень, аналізу ситуації з прийняття рішення, визначення функцій системи та вибору технології для реалізації СППР.

Третій розділ присвячено проблемі застосування моделей і даних в СППР. Досліджуються вибір моделі процесу при проектуванні СППР, вибір моделі для оцінювання результатів роботи СППР, вибір методу керування даними. Для кожного етапу обробки даних запропоновано використовувати окрему множину критеріїв якості, які забезпечують належну якість остаточного результату використання системи.

У четвертому розділі наведена методика проектування архітектури СППР, розглядаються інформаційний, підхід заснований на знаннях та інструментальний підходи до проектування. Досліджено основні типи архітектур інформаційних СППР в залежності від обмежень, які накладаються методами обробки даних, типом інформації, необхідної для прийняття рішень, та альтернативними процедурами оцінювання альтернатив. Описані основні структурні підсистеми, що входять до складу СППР, зокрема, мовна система, база знань та даних, система обробки даних та генерації результатів і система представлення результатів.

П'ятий розділ присвячено проектуванню інтерфейсу користувача. Описані типи інтерфейсів інформаційних систем, досліджені вимоги до інтерфейсу та сформовані принципи його формування. Зазначено, що інтерфейс – це один із основних елементів системи з точки зору її презентації потенційним користувачам та експлуатації замовником.

Проектування інтерфейсу ґрунтується на принципах людського фактору, які забезпечують високу якість програмного продукту, зручність його експлуатації, можливості адаптації до користувача будь-якого рівня.

В шостому розділі розглядаються питання розробки і реалізації СППР. Визначені умови успішної реалізації СППР з урахуванням факторів ризиків, що притаманні процесу проектування і реалізації інформаційних систем. Докладно наведена вся процедура розробки та реалізації СППР, яка охоплює написання технічного завдання, створення повного проекту системи, програмування та тестування модулів, а також супроводження СППР на етапі її експлуатації замовником. Розглянуто альтернативні підходи до реалізації інформаційної системи із використанням моделей різних типів, а також на основі створення прототипу. Виконано аналіз переваг та недоліків кожного підходу, наведено приклади створення систем за такими підходами.

В сьомому розділі наведено теоретичні та прикладні аспекти побудови СППР при прогнозуванні динаміки часових рядів різної природи. Розглядаються можливості застосування різницевих рівнянь до описання динаміки процесів, представлених за допомогою часових рядів, а також задача побудови функцій їх прогнозування. На відміну від багатьох існуючих підходів до прогнозування, запропоновано методику оцінювання багатокрокових прогнозів без використання проміжних оцінок. Отримані функції прогнозування для багатьох моделей, розглянуто аналіз точності прогнозів за допомогою множини статистичних характеристик. Наведено приклад створення та застосування СППР при прогнозуванні часових рядів.

У восьмому розділі висвітлено побудову СППР на основі мереж Байєса – потужного високоресурсного ймовірнісного інструменту моделювання процесів різної природи та прийняття рішень, який дає можливість враховувати структурні і статистичні невизначеності досліджуваних процесів. Запропонована в розділі послідовність побудови байєсівських мереж довіри може бути використана, наприклад, при моделюванні соціально-економічних процесів та для описання динаміки і статистики технічних систем. Розглянуто процес створення різновиду СППР – експертної системи для оцінювання і прогнозування стану підприємства на основі мереж Байєса. Наведено приклад застосування розробленої СППР.

Дев'ятий розділ присвячено побудові СППР на основі методів обробки та використання експертних оцінок. Застосування в СППР методів даного класу надає можливість розв'язання проблеми домінування якісних, погано визначених факторів, які виявляються у нечітких, неточних, розпливчастих властивостях процесів та явищ, а також дозволяє

врахувати у математичних моделях можливі невизначеності реальних процесів. Запропонована методологія розв'язання задач за участю людини на основі нечіткої логіки, яка включає формування множини критеріїв, експертне оцінювання альтернатив, аналіз погодженості думок експертів, агрегування оцінок та вибір кращих варіантів. В розділі розглядається створення, реалізація та приклад застосування СППР для розв'язання задач розподілу ресурсів і вибору варіантів.

Десятий розділ містить завдання для самостійної роботи. Наведенні завдання охоплюють всі теми і можуть бути використані при проектуванні інформаційних систем різного призначення.

В додатках наведена технічна документація на розробку інформаційних систем: технічні пропозиції, технічне завдання, технічний проект, експлуатаційна документація та організаційно-розпорядницька документація.

В кінці кожного розділу наведено контрольні задачі та запитання, які необхідні для закріплення знань студентами.

В навчальному посібнику прийнята подвійна нумерація формул, таблиць, прикладів, рисунків тощо: перше число вказує на номер розділу, а друге є порядковим номером у цьому розділі.

# РОЗДІЛ 1

## ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

### СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

#### 1.1 Прийняття рішень і СППР

*Система підтримки прийняття рішень* (СППР) (англ. Decision Support System – DSS) – інтерактивна комп'ютерна автоматизована система (програмний комплекс), що призначена для допомоги та підтримки різних видів діяльності людини при прийнятті рішень стосовно розв'язання слабоструктурованих або неструктурованих проблем. Застосування СППР забезпечує виконання ґрунтовного та об'єктивного аналізу предметної області при прийнятті рішень в складних умовах.

Задачі прийняття рішень постійно виникають і розв'язуються в природі, у світі що нас оточує – в біологічних, екологічних, соціальних і економічних системах, різноманітних процесах та явищах, наприклад, у процесах функціонування живих організмів та їх колоній, проявах споживчих уподобань, природних катаклізмах тощо.

*Рішенням* вважається обґрунтований набір дій з боку особи, що приймає рішення (ОПР), спрямованих на об'єкт чи систему управління, який надає можливість привести даний об'єкт чи систему до бажаного стану або досягнути поставленої мети [34, 65]. Рішення є одним із видів розумової діяльності і проявом волі людини. Характерними ознаками рішення є:

- можливість вибору з набору альтернативних варіантів: за відсутності альтернатив, відсутній і вибір, отже, відсутнє й рішення;
- наявність мети: безцільний вибір не розглядається як рішення;
- необхідність вольового акту ОПР при виборі рішення, тому що вона формує рішення при боротьбі мотивів і думок.

Необхідно зазначити, що важливою постає класифікація самих рішень. За існуючими розробками можна виконати класифікацію рішень, яка наведена у табл. 1.1 [25].

*Прийняття рішення* – це процес вибору найбільш преференційного рішення з множини допустимих рішень або упорядкування множини рішень [34]. Прийняття рішень можливе на підставі знань про об'єкт управління, процеси, що в ньому відбуваються і можуть відбутися з перебігом часу, а також за наявності множини показників, що характеризують ефективність та якість прийнятого рішення. Тобто необхідні адекватна модель об'єкту і модель прийняття та оцінювання

прийнятого рішення. Під моделлю прийняття рішень мається на увазі формальне подання поставленої задачі та процесу прийняття рішень.

Питання про формальну основу вибору, зокрема, про походження критерію оптимальності складає одну з фундаментальних проблем теорії прийняття рішень (ТПР), що зародилася ще у XVIII ст. [34]. В ТПР були поставлені та досліджені задачі опису і аналізу типів вибору та таких теоретичних конструкцій, як „корисність”, „перевага” та ін. Наукові засади ТПР були закладені в період другої світової війни. Її родоначальниками вважаються Дж. фон Нейман і О.Моргенштерн, які у 1944р. опублікували книгу з теорії ігор [34]. К середині XX ст. оптимізаційний вибір за одним чи декількома критеріями був представлений за бінарними відношеннями переваг [34, 65]. В основі сучасних моделей покладені припущення стосовно того, яким чином здійснює вибір варіантів індивідуум, і яким чином здійснюється вибір колективом [19, 34].

Таблиця 1.1

**Класифікація видів рішень**

Ознака	Вид рішення		
	Гарно структуроване	Погано структуроване	Не структуроване
Ступінь структуризації проблеми			
Кількість етапів реалізації рішення	Статичне (один етап)		Динамічне
Рівень інформованості про стан проблеми	Умови визначеності	Умови ризику	Умови невизначеності
Кількість ОПР	Одна особа		Багато осіб
Зміст рішення	Стратегічне		Тактичне

Будь-який процес прийняття рішення здійснюється в декілька основних етапів [34, 25].

*Етап постановки задачі.* Складається з фаз аналізу та діагностики проблеми і визначення цілей рішення. На цьому етапі відбувається виявлення та опис проблемної ситуації, збір релевантної інформації і даних; визначаються цілі рішення, яке має бути прийняте, що дозволяє задати напрям пошуку рішень і видалити ті, котрі не відповідають цілям.

*Етап формування рішень.* Складається з фаз формулювання обмежень і критеріїв прийняття рішень та визначення альтернатив рішення. На даному етапі відбувається визначення обмежень, що дозволяють відокремити прийнятні варіанти від неприйнятних, та критеріїв, які сприяють вибору кращих з придатних варіантів рішення. Потім здійснюється формування множини допустимих альтернатив, яке

полягає у пошуку та розробці альтернативних варіантів рішення.

*Етап вибору рішення.* Складається з фаз оцінки альтернатив та остаточного вибору рішення. На даному заключному етапі відбувається оцінка варіантів з множини допустимих альтернатив за обраними критеріями та подальший остаточний вибір рішення. Цінність альтернативних варіантів звичайно не однакова, але за умов неявної переваги одного варіанту перед іншим можуть виникати певні складності.

Процес прийняття рішення складається з таких кроків:

- визначення цілей, критеріїв оптимальності, критеріїв добору „кандидатів” на отримання ресурсів;
- формування множини допустимих альтернатив;
- вибір методів розв’язання задачі;
- порівняння та упорядкування множини альтернатив за обраними критеріями;
- добір кращих варіантів за критерієм оптимальності та вибір рішення.

Часто в процесі прийняття рішень ОПР припускаються помилок. До найбільш поширених належать такі [19, 40, 47]:

- прийняте так зване одностороннє рішення;
- відсутній системний підхід при прийнятті рішення;
- під час вибору варіантів перевага надана «звичній» альтернативі;
- розглядалися лише позитивні варіанти, можливий ризик не було враховано;
- прийняте рішення було зумовлене емоціями;
- рішення прийнято імпульсивно;
- при прийнятті рішення припустилися поспішності;
- при прийнятті рішення керувалися припущеннями, прихованими бажаннями і хибними передумовами, а не достовірною суб’єктивною інформацією;
- невірно витлумачені наявні факти;
- неактуальність рішення: рішення було невірно або невчасно реалізоване (на жаль, нерідка ситуація в українській економіці) [47].

### **Ефективність рішення**

Необхідно зазначити, що будь-яке рішення, має сенс лише тоді, коли воно ефективне. Виділяють два основних фактори, що впливають на ефективність рішень: фактор якості рішення  $Q$  та фактор прийняття рішення людиною  $A$ . Ефективність рішення  $E$  може бути виражена формулою:  $E = Q \cdot A$ .

За умов, що один із зазначених факторів прямує до мінімуму, ефективність рішення падає. Фактор якості рішення  $Q$  пов’язаний із

вибором кращої альтернативи з тих, що зумовлює проблемна ситуація з урахуванням умов прийняття рішень та можливостей виконавців рішення.

Підвищення ефективності рішення головним чином слід спрямовувати на покращення фактору якості, а саме на вірний добір обмежень і критеріїв рішення, правильне формування множини допустимих альтернатив та на коректний вибір найкращого для умов задачі варіанту.

Так, ефективність розв'язання задачі розподілу ресурсів характеризує ступінь співвимірності досягнутих цілей із витратами ресурсів на їх досягнення та визначається фактором якості рішення  $Q$ , який обумовлюється доброякісністю і глибиною виконання етапу постановки задачі та вибором методів і моделей для розв'язання задачі.

### **Умови прийняття рішень**

Суттєвий вплив на розв'язок задач прийняття рішень спричиняють умови та середовище, в яких відбувається прийняття рішень. В сучасній ТПР класифікують такі умови прийняття рішень [34, 44, 45]:

- *Визначеність*

Рішення приймається в умовах визначеності, коли точно відомий результат кожного з альтернативних варіантів вибору. Відносно небагато рішень при управлінні бізнес-процесами приймаються в умовах визначеності. Такі ситуації зустрічаються у випадку прийняття рішень, подібних тим, що зустрічались у минулому.

- *Ризик*

До рішень, що приймаються в умовах ризику, відносяться такі, при формуванні яких результати альтернативних варіантів не є визначеними, але відомі їх імовірності. Сума імовірностей всіх результатів певної альтернативи повинна бути рівною одиниці. Зазначимо, що в умовах визначеності існує лише один результат кожного варіанту. Найбільш бажаний спосіб визначення імовірності – об'єктивність. Імовірність є об'єктивною, коли її можна визначити математичними методами або шляхом статистичного аналізу накопиченого досвіду. Також імовірність буде визначена об'єктивно, якщо надійде достатньо інформації для того, щоб прогноз виявився статистично достовірним.

- *Невизначеність*

Рішення приймається в умовах невизначеності, коли неможливо оцінити імовірність потенційних результатів. Така ситуація зазвичай має місце, коли фактори, що необхідно врахувати, є складними, і стосовно їх неможливо отримати достатньо інформації. Тому імовірність певного наслідку неможливо прогнозувати з достатнім ступенем достовірності. Невизначеність є характерною для багатьох рішень, які приймаються у



швидко мінливих обставинах.

*Середовище*, в якому відбувається прийняття рішення, також є важливим фактором, що впливає на процес прийняття і результат прийняття рішення. Хід часу зумовлює ситуаційні зміни. Якщо зміни значні, то ситуація може змінитися настільки, що обмеження і критерії прийняття рішення стануть недійсними. Тому рішення належить розробляти, приймати і втілювати в умовах, коли інформація та припущення, на яких ґрунтується рішення, залишаються дійсними і актуальними.

Більшість рішень в сучасних складних задачах приймаються людиною одноособово або колегіально в умовах наявності невизначеностей різної природи та типів.

*Невизначеність* припускає наявність факторів, при яких результати дій не є детермінованими, а ступінь можливого впливу цих факторів на результати невідома.

Аналіз умов наявності невизначеностей може виконуватись на абстрактному теоретичному рівні або з точки зору конкретної ситуації, наприклад, з точки зору виявлення можливості побудови математичної моделі чи з точки зору теорії інформації, де невизначеність виступає як характеристика ситуації вибору. Категорія невизначеності характеризується деякими змінними параметрами, які описують різні види невизначеностей: глобальну невизначеність, ситуативну, політичну, соціальну і т.д. При розв'язанні задач прийняття рішень в умовах наявності невизначеностей необхідно встановити рівень аналізу і типи невизначеностей, що розглядаються.

Необхідно зазначити, що часто невизначеність ототожнюють лише з відсутністю повної інформації про той чи інший об'єкт. Насправді недостатні знання станів об'єкту – це не єдина невизначеність. Поряд з цим іноді можна розглядати невизначеність цілей та невизначеність критеріїв вибору рішень. У багатьох реальних задачах складність прийняття рішення визначається насамперед кількістю альтернативних варіантів та кількістю і різноманітністю критеріїв оцінювання цих варіантів.

При розв'язанні задач системного аналізу, прийняття рішень та дослідження операцій виділяють такі основні типи невизначеностей [22].

*Невизначеність цілей* – невизначеність вибору цілей в багатокритеріальних задачах.

*Ситуаційна невизначеність* – невизначеність впливу неконтрольованих факторів, що позначаються на процесах практичної діяльності;

– *невизначеність природи* – відсутність достатніх знань про

оточення та зовнішні фактори;

– *ненадійність очікувань* – невизначеність розвитку певних подій у майбутньому;

*Стратегічна невизначеність* – невизначеність цілей і дій активного або пасивного партнера чи противника, так звана невизначеність конфліктів;

*Інформаційна невизначеність* – нечіткість та розпливчастість процесів і явищ та інформації про досліджувану систему, відсутність відомостей про достовірність інформації.

Додатково виділяють такі види невизначеностей:

*Структурна невизначеність* – невизначеність структури моделі досліджуваної системи.

*Параметрична невизначеність* – це апріорна невизначеність параметрів моделі системи, складність оцінювання і аналізу якості параметрів моделі.

*Статистична невизначеність* – невизначеність статистичних даних, що переважно впливає з об'єму даних, наявності пропусків, імпульсних викидів і т. ін. Сюди можна віднести, також, невизначеності, зумовлені наявністю збурюючих впливів та похибок (шуму) вимірів.

*Методична невизначеність* – невизначеність (неоднозначність), притаманна методу обробки даних чи методу розв'язання задачі.

*Комбінаторна невизначеність* – неможливість знання всіх можливих варіантів. Комбінаторна невизначеність пов'язана із усіма іншими типами невизначеностей і найчастіше впливає з них.

Необхідно зазначити, що в реальних практичних задачах прийняття рішень і системного аналізу часто наявні різноманітні види невизначеностей, які разом складають деякий комплекс невизначеностей, так звану *системну невизначеність* [22].

Проте необхідно зазначити, що процес прийняття рішень людиною має певні обмеження стосовно можливості аналізу, обробки даних, одержання рішень прогнозованої якості та швидкості прийняття обґрунтованих рішень. Робота ОПР обмежена як відносинами між окремими особами, так і внутрішніми психологічними і фізіологічними причинами [22, 41]. Людина має можливість одночасно оперувати лише обмеженим числом операндів і понять, щонайбільше  $7 \pm 2$  [22, 41]. Крім того, при аналізі і розв'язанні багатокритеріальних задач ОПР досить часто проявляють мінливість, невпевненість, нелогічність, намагання суттєво спростити задачу. У таких випадках можливості обчислювальних машин значно перевищують можливості людини, що призвело до розробки напряму розробки систем та методологій, які мають можливість об'єднати переваги людини і комп'ютера та компенсувати їх недоліки – це людино-

машинні системи [17, 44].

### **Системи підтримки прийняття рішень**

Серед сучасних напрямів розробки людино-машинних систем – системи автоматичного керування, експертні системи та системи підтримки прийняття рішень. Найбільш придатними для розв’язання багатьох задач, зокрема задачі розподілу ресурсів, виявляються СППР [3, 15, 35]. Саме за допомогою СППР ОПР має можливість безпосередньо за допомогою обчислювальних засобі проектувати, порівнювати та обирати альтернативні варіанти рішень у самі різноманітні способи.

Так, в сучасних умовах застосування нових альтернативних підходів до формування і прийняття високоякісних рішень немислиме без використання електронних інформаційних систем [3, 24, 43]. Причинами повсюдного впровадження інформаційних технологій є зростаюча роль цих технологій практично в кожній галузі діяльності суспільства та зростаюча міць цих технологій. Застосування сучасних підходів на основі інформаційних технологій надає можливість використовувати обчислювальні потужності комп’ютерів для виконання розрахунків, обробки, аналізу і прогнозування даних в режимі реального часу, для допомоги у прийнятті рішень. При цьому відбувається автоматизація не стільки ручної праці, скільки інтелектуальної, більше того, в ряді задач вони виявляються ефективнішими. Зрозуміло, що в таких випадках доцільно використовувати системи підтримки прийняття рішень, які дозволяють приймати важливі рішення, керуючись подіями, які ще не здійснилися, надають можливість розробляти декілька можливих сценаріїв типу «що було б, якби», визначати оптимальні дії тощо.

СППР інтегрують в собі такі якості, які роблять їх не тільки дуже корисними для системних задач управління і прийняття рішень, але й по суті незамінними інструментами аналізу даних в сучасних умовах економічного розвитку [35, 40, 43].

Системи підтримки прийняття рішень створюються для підтримки прийняття рішень ОПР в складних та слабоструктурованих ситуаціях. Оскільки історично виник ряд різних напрямків діяльності стосовно прийняття рішень, то розрізняють декілька видів СППР, що відображають основні аспекти процесу прийняття рішень: аналіз рішень (Decision Analysis); обчислення (визначення) рішень (Decision Calculus); дослідження рішень (Decision Research) та процес впровадження (Implementation Process). Кожний із зазначених напрямів постає самостійною перспективою розвитку СППР, проте в „чистому вигляді” вони практично не зустрічаються [35].

Необхідно зазначити, що для процесу прийняття рішень, який здійснює ОПР без допоміжних засобів, суттєве значення мають такі важливі чинники, які повинні бути досліджені і враховані при розробці структури СППР і реалізації системи [35, 54].

**Робоча пам'ять.** ОПР здійснює обробку інформації в робочій пам'яті – проміжна між короткостроковими і довгостроковими зона запам'ятовування. Робоча пам'ять може одночасно містити до восьми понять, які без відновлення утримуються 7-13 секунд.

**Джерела інформації.** ОПР має можливість отримувати інформацію від органів чуття та із довгострокової пам'яті. Проте інформація з довгострокової пам'яті вважається менш надійною. По-перше, з часом вона може стиратись, а по-друге, людина схильна застосовувати ту інформацію, яка повторюється, та яка є семантично ближчою до інформації, що міститься в робочій пам'яті.

**Обробка числових даних.** Прийняття рішень часто вимагає виконання обробки великих масивів числових даних та здійснення різноманітних обчислень. ОПР намагається уникати методологій із значними числовими обчисленнями, а за основу алгоритмів прийняття рішень вибирає операції, що ґрунтуються на якісних та евристичних механізмах мислення.

**Виконання операцій.** Реалізація складних процесів мислення і обробки інформаційних елементів може вимагати значного часу ОПР, що відіграє важливу роль для систем, які функціонують у масштабі реального часу. ОПР не завжди здатна сформулювати прийнятне рішення за короткий проміжок часу.

Зазначені аспекти прийняття рішень постають певними загальними обмеженнями при прийнятті рішень ОПР без допоміжних засобів таких, як СППР. Саме такі обмеження сприяли появі і розвитку напряму створення людино-машинних систем.

За сучасним станом розвитку систем ідеальна СППР має такі характеристики [32, 54]:

- використовує слабоструктуровані та нечіткі дані;
- оперує зі слабоструктурованими рішеннями;
- підтримує як взаємозалежні, так і послідовні рішення;
- може застосовувати знання;
- підтримує моделювання та прогнозування;
- може бути легко побудована, якщо може бути сформульована логіка конструкції СППР;
- проста у застосуванні та модифікації;
- підтримує три фази процесу прийняття рішень: інтелектуальну частину, проектування та вибір;

- призначена для ОПР різного рівня;
- може бути адаптована до індивідуального та групового застосування;
- підтримує різні стилі та методи рішень, що можуть бути корисними при застосуванні групою ОПР;
- проявляє гнучкість і адаптується до змін в організації та в її оточенні;
- дозволяє людині керувати процесом прийняття рішення за допомогою комп'ютера, а не навпаки;
- підтримує еволюційне застосування та легко адаптується до мінливих вимог;
- підвищує ефективність процесу прийняття рішень.

Інтерес до СППР, як перспективної галузі використання обчислювальної техніки та інструментарію підвищення ефективності праці у сфері управління економікою, постійно зростає. У багатьох країнах розробка та реалізація СППР перетворилася на дільницю бізнесу, що швидко розвивається. СППР набуває широкого застосування в економіках передових країн світу, при цьому їхня кількість постійно збільшується. На рівні стратегічного керування використовується ряд СППР, окремо для довго-, середньо- і короткострокового, а також для фінансового планування, включаючи систему для розподілу капіталовкладень та ресурсів. Орієнтовані на операційне керування СППР застосовуються в галузях маркетингу (прогнозування й аналіз збуту, дослідження ринку і цін), науково-дослідних і конструкторських робіт, у керуванні кадрами. Операційно-інформаційне застосування пов'язане з виробництвом, придбанням і обліком товарно-матеріальних запасів, їхнім фізичним розподілом і бухгалтерським обліком.

Крім того, у країнах з розвиненою ринковою економікою велику увагу приділяють розвитку систем підтримки інвестиційної діяльності [35, 43], а також розподілу інвестиційних і фінансових ресурсів. Прикладом такої СППР може бути розроблена у США ще на початку 1980х років система ISDS (Investment Strategy Decision System – система для підтримки рішень з інвестиційних стратегій) [35], яка призначена для формування портфеля замовлень. Ця система забезпечує виконання таких операцій:

- попередній добір пропозицій;
- порівняльна оцінка нових пропозицій між собою, а також із вже розпочатими роботами;
- об'єднання відібраних пропозицій і виконуваних робіт в інвестиційні групи, кожна з яких формується згідно з програмними цілями, політикою й бюджетними обмеженнями;

- порівняльний аналіз розподілу довгострокових капіталовкладень;
- подання підсумкових даних з різних трендів зміни капіталовкладень;
- видача статистичної інформації, необхідної для звітності.

Крім цього, у зазначеній СППР передбачено накопичення досвіду практичного використання системи, що допомагає враховувати колишні результати при формуванні варіантів планів довгострокових капітальних вкладень. Це дозволяє перевіряти правильність рішень в історичній перспективі, порівнюючи їх з аналогічними ситуаціями у минулому.

Застосування СППР в інвестиційних процесах для розв'язання задач розподілу інвестиційних ресурсів надає можливість враховувати вплив значної кількості різноманітних факторів, достатньо швидко отримувати результат та дозволяє виконувати імітаційне моделювання інвестиційних рішень при різних значеннях параметрів та для різних умов задачі. Всі ці операції дуже складно та найчастіше неможливо виконувати без застосування спеціальних засобів, таких як СППР. Роль СППР в інвестиційній діяльності не в тому, щоб замінити ОПР, а в тому щоб значно підвищити їх ефективність.

Аналіз практичних аспектів реалізації СППР свідчить, що останнім часом актуальною постає розробка інтелектуальних засобів підтримки прийняття рішень, що полягає у створенні СППР на базі методів математичного моделювання і сучасних методів штучного інтелекту спільно із апаратом експертних систем.

СППР, дружні людині, надають можливість вести рівноправний діалог із ЕОМ за допомогою звичайних мов спілкування. Системи можна будувати під стиль мислення користувача, його знань і фахової підготовки, а також під засоби роботи.

Для сучасних СППР характерною є наявність таких характеристик.

1. СППР дає керівнику допомогу у процесі прийняття рішень і забезпечує підтримку у всьому діапазоні контекстів задач. Думка людини та інформація, що генерується ЕОМ, представляють собою єдине ціле для прийняття рішень

2. СППР підтримує і посилює (але не змінює і не відмінює) міркування та оцінку керівника. Контроль залишається за людиною. Користувач «почуває себе комфортно» і «як удома» у системі.

3. СППР підвищує ефективність прийняття рішень. На відміну від адміністративних систем, де робиться акцент на аналітичному процесі, у випадку СППР самою важливою характеристикою є ефективність процесу прийняття рішень.

4. СППР виконує інтеграцію моделей і аналітичних методів із стандартним доступом до даних і вибіркою з них. Для надання допомоги при прийнятті рішень активується одна або декілька моделей. Вміст БД

охоплює історію поточних і попередніх операцій, а також інформацію зовнішнього характеру та інформацію про середовище.

5. СППР проста в роботі для осіб, що мають досвід роботи з ЕОМ. Системи дружні для користувачів і не потребують глибоких знань про обчислювальну техніку, вони забезпечують просте пересування по системі.

6. СППР побудовані за принципом інтерактивного розв'язання задач. Користувач має можливість підтримувати діалог із СППР у безперервному режимі.

7. СППР орієнтована на гнучкість і адаптивність для пристосування їх до змін середовища або модифікації підходів до розв'язання задач, які обирає користувач. Керівник повинен пристосовуватися до змінюваних умов сам і відповідно підготувати систему.

8. СППР не повинна нав'язувати користувачу визначеного процесу прийняття рішень.

### **Класифікація СППР**

На сьогодні не існує єдиної загальної класифікації СППР. Відзначимо, що чудова для свого часу класифікація Альтера [48], яка розбивала всі СППР на 7 класів, на даний час дещо застаріла. Розглянемо деякі основні поділи СППР на види за різними характеристиками.

На рівні користувача виділяють такі види СППР:

- активна – може зробити пропозицію, яке рішення варто вибрати;
- пасивна – допомагає у процесі ухвалення рішення, але не може внести пропозицію, яке рішення прийняти;
- кооперативні – дозволяє ЛПР змінювати, поповнювати або поліпшувати рішення, пропоновані системою, посилаючи потім ці зміни в систему для перевірки.

На технічному рівні розрізняють такі СППР [35, 63]:

- СППР рівня підприємства – підключена до великих сховищ даних і обслуговує багатьох менеджерів підприємства;
- персональна настільна СППР – мала система, що обслуговує лише один комп'ютер користувача.

На концептуальному рівні відрізняють такі типи СППР [63]:

- керована повідомленнями (Communication-Driven DSS) – підтримує групу користувачів, що працюють над виконанням загальної задачі;
- керована даними (Data-Driven DSS, Data-oriented DSS) – в основному орієнтується на доступ і маніпуляції з даними;

- керована документами (Document-Driven DSS) – здійснює пошук і маніпулювання неструктурованою інформацією, заданої в різних форматах;
- керована знаннями (Knowledge-Driven DSS) – забезпечує рішення задач у виді фактів, правил, процедур;
- керована моделями (Model-Driven DSS) – забезпечує доступ і маніпуляції з математичними моделями (статистичними, фінансовими, оптимізаційними, імітаційними).

Відзначимо, що деякі OLAP-системи, які дозволяють здійснювати складний аналіз даних, можуть бути віднесені до так званих гібридних СППР, що забезпечують моделювання, пошук і обробку даних та відповідають властивостям декількох видів СППР.

В залежності від типів даних, з якими ці системи працюють, СППР умовно можна розділити на:

- оперативні;
- стратегічні.

*Оперативні* СППР призначені для негайного реагування на зміни поточної ситуації в керуванні фінансово-господарськими процесами компанії, об'єднання, галузі чи держави.

Такі СППР називають Виконавчі Інформаційні Системи (Executive Information Systems). За суттю, вони представляють собою кінцеві множини звітів, побудовані на підставі даних із транзакційної інформаційної системи оперативного обліку підприємства. Вони забезпечують адекватне відображення в режимі реального часу основних аспектів виробничої і фінансової діяльності підприємства. Для таких СППР характерні такі риси:

- звіти ґрунтуються на стандартних для організації запитах, кількість яких відносно невелика;
- СППР представляє звіти в максимально зручному виді, що включає поряд з таблицями, ділову графіку, мультимедійні можливості і т.п.;
- СППР зазвичай орієнтовані на конкретну сферу, наприклад, фінанси, маркетинг, керування ресурсами.

*Стратегічні* СППР орієнтовані на аналіз значних обсягів різномірної інформації, що збираються з різних джерел. Найважливішою метою цих СППР є пошук найбільш раціональних варіантів розвитку бізнесу компанії із урахуванням впливу різних факторів, таких як кон'юнктура цільових для компанії ринків, зміни фінансових ринків і ринків капіталів, зміни у законодавстві і т. ін.



Такі СППР припускають достатньо глибоке перетворення даних, спеціально перетворених таким чином, щоб їх було зручно використовувати у процесі прийняття рішень. Невід'ємним компонентом СППР цього виду є правила прийняття рішень, які на основі агрегованих даних дають можливість менеджерам компанії обґрунтовувати свої рішення, використовувати фактори стійкого росту бізнесу компанії і знижувати ризики. Стратегічні СППР будуються на принципах багатовимірного представлення та аналізу даних (OLAP).

## **1.2 Історія виникнення та розвиток СППР**

З самого початку розвитку обчислювальної техніки утворилися два основні напрями її використання. Перший напрям – застосування обчислювальної техніки для виконання чисельних розрахунків, що занадто довго або взагалі неможливо робити вручну. Становлення цього напрямку сприяло інтенсифікації методів чисельного розв'язання складних математичних задач, розвиткові класу мов програмування, орієнтованих на зручний запис чисельних алгоритмів, становленню зворотного зв'язку із розробниками нових архітектур ЕОМ.

Другий напрям – це використання засобів обчислювальної техніки в автоматичній або автоматизованій інформаційній системах (ІС). У самому широкому змісті інформаційна система представляє собою програмний комплекс, функції якого полягають у підтримці надійного збереження інформації в пам'яті комп'ютера, виконанні специфічних для даного додатка перетворень інформації та/або обчислень, наданні користувачам зручного і легкого інтерфейсу. Зазвичай обсяги інформації в таких системах досить великі, а сама інформація має досить складну структуру. Класичними прикладами інформаційних систем є банківські системи, системи резервування авіаційних або залізничних квитків, місць у готелях і т. ін.

Необхідно зазначити, що другий напрям виник пізніше, ніж перший. Це зв'язано з тим, що у початковому періоді розвитку обчислювальної техніки комп'ютери мали обмежені можливості стосовно пам'яті. Зрозуміло, що можна говорити про надійне і довгострокове збереження даних тільки при наявності запам'ятовуючих пристроїв, що зберігають дані після вимикання електричного живлення. Оперативна пам'ять цією властивістю зазвичай не володіє. На початку використовувалися два види пристроїв зовнішньої пам'яті: магнітні стрічки і барабани. При цьому ємність магнітних стрічок була досить великою, але за своєю фізичною природою вони забезпечували послідовний доступ до даних. Магнітні ж барабани (вони більше всього схожі на сучасні магнітні диски з

фіксованими голівками) давали можливість довільного доступу до даних, але були обмеженого розміру.

Очевидно, що зазначені обмеження не дуже істотні для чисто чисельних розрахунків. Навіть якщо програма повинна обробити (або створити) великий обсяг даних, під час програмування можна продумати розташування цієї інформації в зовнішній пам'яті таким чином, щоб програма працювала якнайшвидше.

З іншого боку, для інформаційних систем, у яких необхідність в оперативних даних визначається користувачем, наявність тільки магнітних стрічок і барабанів незадовільна. Однією із природних вимог до таких систем є середня швидкість виконання операцій.

Як здається, саме вимоги до обчислювальної техніки з боку прикладних задач викликали появу з'ємних магнітних дисків з рухливими голівками, що виявилось революцією в історії обчислювальної техніки. Ці пристрої зовнішньої пам'яті мали істотно більшу ємність ніж магнітні барабани, забезпечували задовільну швидкість доступу до даних у режимі довільної вибірки, а можливість зміни дискового пакета на пристрої дозволяла мати практично необмежений архів даних.

З появою магнітних дисків розпочалася історія систем керування даними в зовнішній пам'яті. До цього кожна прикладна програма, якій було потрібно зберігати дані в зовнішній пам'яті, сама визначала розташування кожної порції даних на магнітній стрічці або барабані і виконувала обміни між оперативною і зовнішньою пам'яттю за допомогою програмно-апаратних засобів низького рівня (машинних команд або викликів відповідних програм операційної системи). Такий режим роботи не дозволяє або дуже утрудняє підтримку на одному зовнішньому носії декількох архівів довгочасно збереженої інформації. Крім того, кожній прикладній програмі приходилося вирішувати проблеми іменування частин даних і структуризації даних у зовнішній пам'яті.

Історичним кроком з'явився перехід до використання централізованих систем керування файлами. З погляду прикладної програми файл – це іменована область зовнішньої пам'яті, у яку можна записувати і з якої можна зчитувати дані. Система керування файлами бере на себе розподіл зовнішньої пам'яті, відображення імен файлів у відповідні адреси в зовнішній пам'яті і забезпечення доступу до даних. Перша розвинена файлова система OS/360 була розроблена фірмою IBM для її серії 360.

Варто відзначити, що інформаційні системи головним чином орієнтовані на збереження, вибір і модифікацію постійно існуючої інформації. Структура інформації найчастіше дуже складна і хоча структури даних різні в різних інформаційних системах, між ними часто

буває багато загального. На початковому етапі використання обчислювальної техніки для керування інформацією проблеми структуризації даних вирішувалися індивідуально в кожній інформаційній системі. Вироблялися необхідні надбудови над файловими системами (бібліотеки програм) подібно тому, як це робиться в компіляторах, редакторах і т. ін.

Але оскільки інформаційні системи вимагають складних структур даних, ці додаткові індивідуальні засоби керування даними були істотною частиною інформаційних систем і практично повторювалися від однієї системи до іншої. Прагнення виділити й узагальнити загальну частину інформаційних систем, відповідальну за керування складно структурованими даними, з'явилося першою спонукаючою причиною для створення *систем управління базами даних* СУБД. Дуже скоро стало зрозуміло, що неможливо обійтися загальною бібліотекою програм, що реалізує над стандартною базовою файловою системою більш складні методи збереження даних.

Поява СУБД привела до виникнення і розвитку великих інформаційних систем. А поява великих інформаційних систем та стрімкий розвиток обчислювальних можливостей комп'ютерів, значний розвиток теорії прийняття рішень після Другої світової війни та нові практичні задачі щодо прийняття рішень в складних умовах спричинили появу нових систем – систем підтримки прийняття рішень

До середини 60-х років ХХ століття створення інформаційних систем було надзвичайно дорогим, тому перші ІС менеджменту (так звані Management Information Systems — MIS) були створені в ці роки лише в досить великих компаніях. MIS призначалися для підготовки періодичних структурованих звітів для менеджерів.

Наприкінці 60-х років з'являється новий тип ІС — модельно-орієнтовані СППР (Model-oriented Decision Support Systems — DSS) або системи управлінських рішень (Management Decision Systems — MDS).

На думку першовідкривачів СППР Кіна та Скота Мортонна [63] (1978), концепція підтримки рішень була розвинена на основі «теоретичних досліджень в області прийняття рішень...і технічних робіт із створення інтерактивних комп'ютерних систем».

У 1971 р. опублікована книга Скота Мортонна [64], у якій були уперше описані результати впровадження СППР, основаної на використанні математичних моделей.

1974 р. — дано означення ІС менеджменту — MIS (Management Information System): «MIS – це інтегрована людино-машинна система забезпечення інформацією, що підтримує функції операцій, менеджменту і прийняття рішень в організації. Системи використовують комп'ютерну

техніку і програмне забезпечення, моделі керування і прийняття рішень, а також базу даних» [63].

1975 р. — Літл у роботі [59] запропонував критерії проектування СППР у менеджменті.

1978 р. — опубліковано підручник з СППР [55], у якому вичерпно описано аспекти створення СППР: аналіз, проектування, впровадження, оцінювання характеристик і розробка.

1980 р. — опублікована дисертація Альтера (S. Alter) [48], у якій він дав основи класифікації СППР.

1981 р. — Бонзек, Холсепл та Уінстон у книзі [50] створили теоретичні основи проектування СППР. Вони виділили 4 необхідних компоненти, властивих усім СППР:

1. Мовна система (Language System — LS) — СППР може приймати всі повідомлення.
2. Система представлення (Presentation System (PS)) (СППР може видавати свої повідомлення).
3. Система знань (Knowledge System — KS) — усі знання СППР зберігає.
4. Система розв'язання задач (Problem-Processing System (PPS)) — програмний «механізм», що намагається розпізнати і розв'язати задачу під час функціонування СППР.

1981 р. — У книзі [66] Спраг та Карлсон описали, яким чином на практиці можна побудувати СППР. Тоді ж була розроблена інформаційна система керівника (Executive Information System (EIS)) — комп'ютерна система, призначена для забезпечення поточною адекватною інформацією менеджера з метою підтримки прийняття управлінських рішень.

Починаючи з 1990-х, розробляються так називані Data Warehouses — сховища даних.

У 1993 р. Е. Кодд запропонував термін – OLAP (On-Line Analytical Processing) – оперативний аналіз даних, аналітична обробка даних в реальному часі для систем підтримки прийняття важливих рішень. Вихідні дані для аналізу представлені у виді багатомірного куба, за яким можна одержувати потрібні розрізи — звіти. Виконання операцій над даними здійснюється OLAP-машиною. За способом збереження даних розрізняють MOLAP, ROLAP і HOLAP. За місцем розміщення OLAP-машини розрізняються OLAP-клієнти і OLAP-сервери. OLAP-клієнт робить побудову багатомірного куба й обчислення на клієнтському ПК, а OLAP-сервер одержує запит, обчислює і зберігає агрегатні дані на сервері, видаючи тільки результати.

На початку XXI сторіччя була створена СППР на основі Web-технологій.

Аналіз еволюції систем СППР дає можливість виділити 2 покоління СППР:

- перше покоління розроблялося в період із 1970 до 1980 р.;
- друге покоління – з початку 1980 р. і дотепер.

**СППР першого покоління** майже цілком повторювало функції звичайних управлінських систем у відношенні комп'ютеризованої допомоги у прийнятті рішень. Основні компоненти СППР мали такі ознаки:

- керування даними – велика кількість інформації, внутрішні і зовнішні банки даних, обробка та оцінювання даних;
- керування обчисленням і моделюванням – моделі, розроблені спеціалістами в галузі інформатики для спеціальних проблем;
- інтерфейси користувача (мова спілкування) – мови програмування, розроблені для великих ЕОМ, що використовуються винятково програмістами.

**СППР другого покоління** вже мають принципово нові ознаки:

- керування даними – необхідна і достатня кількість інформації про факти згідно з прийняттям рішень, що охоплюють приховані припущення, інтереси і якісні оцінки;
- керування обчисленням і моделюванням – гнучкі моделі, що відображають засіб мислення особи, приймаючої рішення, у процесі прийняття рішень;
- інтерфейс користувача – програмні засоби, дружні користувачу; звична мова, безпосередня робота кінцевого користувача із системою.

Цілі та призначення СППР другого покоління можна визначити таким чином:

- допомога у розумінні розв'язуваної проблеми: структуризація проблеми, генерування постановок задач, визначення переваг, формування критеріїв;
- допомога у розв'язанні задач: генерування і вибір моделей і методів, збір і підготовка даних, виконання обчислень, оформлення і видача результатів;
- допомога у проведенні аналізу типу «що, якщо» і т. ін., пояснення ходу рішення; пошук і видача аналогічних рішень у минулому і їхні результати.

### Контрольні задачі і запитання

1. Дайте означення поняттю: *система підтримки прийняття рішень (СППР)*.
2. Опишіть процес прийняття рішень та розкрийте поетапну процедуру його здійснення.
3. Наведіть основні класифікації видів рішень.
4. Поясніть особливості прийняття рішень в умовах невизначеностей.
5. Які існують причини виникнення невизначеностей?
6. Охарактеризуйте важливі аспекти прийняття рішень людиною без допоміжних засобів.
7. Сформулюйте основні цілі створення та застосування СППР.
8. Охарактеризуйте ідеальну СППР за сучасним станом розвитку.
9. Наведіть основні актуальні класифікації СППР.
10. Сформулюйте та поясніть основні причини зародження та виникнення СППР.
11. Які види підтримки може надавати СППР користувачу?
12. Опишіть, які покоління стосовно створення та використання СППР виділяють та розглядають на практиці.

## РОЗДІЛ 2

### ОСНОВНІ ЕТАПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

#### 2.1 Аналіз процесу прийняття рішення

Для розуміння процесу прийняття рішень необхідно знати три ключових атрибути, розглянутих нижче [3, 32].

1. *Використання внутрішнього (розумового) представлення проблеми (задачі).* Коли людина приймає рішення, вона у дійсності не покладається на той досвід, який був накопичений раніше, або ж мало покладається на нього. У більшій мірі використовується підхід, заснований на представленні або розумінні поточних даних. Особа (експерт), що приймає рішення, досить глибоко розуміє ситуацію, має ширше і повніше представлення про проблему, ніж інші люди. Експерт намагається створити з наявних даних загальну картину конкретної ситуації, а тому знає, що йому необхідно одержати і як інтерпретувати нові дані. Внутрішнє представлення рішень може діяти в деяких ситуаціях як своєрідний захист проти даних, що не входять у створений образ проблеми. В результаті виникнення такої ситуації можна втратити або неправильно інтерпретувати важливі дані.

2. *Досягнення мети.* Ухвалення рішення людиною починається, як правило, з аналізу бажаного результату. Процес ухвалення рішення структурується таким чином, що зв'язується з бажаним результатом, тобто створюється опис або розумове представлення бажаних ситуацій або умов, які повинні мати місце в результаті ухвалення рішення. Оскільки головним елементом ухвалення рішення є поставлена кінцева мета, то процес ухвалення рішення рідко узгоджується з детермінованим комп'ютерним алгоритмом. Процес ухвалення рішення може оперативнo модифікуватися у відповідності до надходження нової інформації або з появою альтернативних шляхів досягнення мети. Таким чином, процес ухвалення рішення людиною можна описати досить чітко і строго з погляду поставленої мети, але не з погляду процедури, яка використовується для її досягнення.

3. *Сприйняття інформації.* Інформація надходить до індивідуума через візуальну й аудіосистеми, але для цих каналів не існує фіксованих смуг пропускання. Швидше за все, здатність людини сприймати інформацію залежить від того, що він «уже знає». Індивідуум інтерпретує світ з погляду осмислених понять, а не з погляду інформаційних одиниць,

визначених теорією інформації. Однак, смислове значення може бути різним для різних людей, тому що в кожного свій рівень освіти, досвіду, підготовки до розв'язання конкретної проблеми. Наприклад, для неосвіченої людини результати хімічного спектрального аналізу можуть представляти абстрактний малюнок із прямих ліній, а для фахівця – це чітка вказівка до визначення типу речовини, що аналізується. Принцип розпізнавання (сприйняття) взаємодіє з принципом внутрішнього представлення інформації. ОПР швидше і легше сприймає інформацію, що збігається із звичним для неї внутрішнім представленням.

На процес ухвалення рішення, що виконується індивідуумом без допоміжних засобів, у загальному випадку накладаються п'ять наведених нижче обмежень, що мають істотне значення при проектуванні системи підтримки прийняття рішень.

1. *Використання робочої пам'яті.* Людина виконує обробку інформації в пам'яті, що знаходиться між короткостроковою і довгостроковою зонами запам'ятовування. Цю проміжну пам'ять називають робочою пам'яттю (РП). Тобто, можна вести обробку тільки тієї інформації і використовувати її для прийняття рішень, що знаходиться в РП. Однак, РП має досить обмежені характеристики. Дослідження показали, що РП може містити тільки від трьох до восьми інформаційних елементів. При цьому ОПР не може оперувати всіма елементами інформації одночасно без використання допоміжних засобів. Інформація, що утримується в робочій пам'яті, також досить швидко «стирається» якщо вона не використовується або не «відновлюється». У відповідності з результатами виконаних досліджень вона утримується в РП від 7 до 13 секунд.

2. *Швидкість виконання осмислених операцій.* Обробка інформаційних елементів виконується в пам'яті із скінченою швидкістю, тобто цей процес характеризується своєю конкретною швидкодією. Кожна елементарна операція мислення, тобто порівняння даних, створення асоціацій з минулими діями (подіями), генерування висновку на основі отриманих даних і перехід до робочої гіпотези, вимагає для реалізації деякого фіксованого відрізка часу, який можна оцінити приблизно в 0,1 секунди. Для реалізації складних процесів мислення необхідно набагато більше часу, оскільки вони складаються з багатьох згаданих елементарних операцій. Значення часу, необхідне для ухвалення рішення, відіграє важливу роль для систем, що функціонують у масштабі реального часу. Очевидно, що ОПР далеко не завжди здатна прийняти правильне рішення за короткий проміжок часу, або не може прийняти його взагалі, якщо цей проміжок занадто короткий.



3. *Одержання інформації.* ОПР має можливість одержувати інформацію з двох джерел – від органів почуттів і з довгострокової пам'яті. Необхідно відзначити, що інформація, що «читається» з довгострокової пам'яті, не завжди надійна внаслідок того, що згодом вона почасти або цілком «стирається». Люди схильні до використання тієї інформації, що частіше необхідна в повсякденному житті або повторюється з різних причин, а також інформацією, яка семантично ближча до тієї, що знаходиться в робочій пам'яті.

4. *Обробка числових даних.* Однією з операцій мислення, що людина часто виконує в процесі прийняття рішень, є обробка числових даних. Але навіть «арифметично» добре тренувана ОПР здатна робити помилки в обчисленнях і забувати проміжні результати. У даному випадку кожна елементарна операція займає набагато більше часу ніж 0,1 с. Крім того, забування числових даних вимагає повторних обчислень. Звичайно, ОПР знає про ці обмеження, а тому намагається уникнути операцій, зв'язаних із складними арифметичними обчисленнями. За основу алгоритму прийняття рішень беруть операції, що ґрунтуються на якісних і евристичних операціях мислення. Подібні обмеження можуть створювати досить серйозні перешкоди для створення систем підтримки прийняття рішень, що ґрунтуються на складних комп'ютерних обчисленнях. Причина полягає у тому, що в ОПР часто виникає бажання не чекати завершення виконання складних обчислювальних операцій від комп'ютера, а більше покладатися на звичне для себе якісне та евристичне мислення.

7. *Зв'язок виконання операцій з часом і простором.* ОПР і люди взагалі звикли до візуального представлення результатів своєї роботи, у тому числі і до результатів прийняття рішень. Але це не означає, що візуальне спостереження завжди дає можливість домогтися гарних результатів. Наприклад, ми можемо спостерігати траєкторії польоту двох літаків у вигляді кривих на площині, але не можемо точно спрогнозувати точку перехоплення. Таке ж обмеження справедливе і стосовно прогнозування розвитку в часі різноманітних фізичних процесів. Ми можемо спостерігати рух світлової крапки на екрані, але не можемо точно вказати координати її перебування через 7 с. Тобто як і у випадку обробки числової інформації, прийняття рішень у реальному часі має потребу у збільшенні в багато разів швидкості виконання операцій у часі і просторі.

Зазначені обмеження носять загальний характер і відносяться до усіх випадків, коли прийняття рішень виконується без допоміжних засобів (наприклад, комп'ютера). Вони призводять до виникнення декількох специфічних проблем, що зв'язані з прийняттям рішень у реальному часі і впливають з декомпозиції й аналізу систем підтримки прийняття рішень (СППР).

## 2.2 Стратегії прийняття рішення

Загальні стратегії, які використовують ОПР для прийняття рішень такі [3]:

- 1) оптимізаційна;
- 2) перша прийнятна;
- 3) стратегія аспектного виключення;
- 4) інкрементна;
- 5) змішане сканування (перегляд);
- 6) аналітико-ієрархічний підхід.

**Оптимізаційна стратегія** передбачає використання математичних моделей і критерію оптимізації в явному вигляді.

Особа, що приймає рішення, обирає ту альтернативу, яка є неминучою (найкращою) з точки зору деякого критерію.

Прикладами можуть бути такі:

а) оптимізація функції вигідності при різних варіантах розподілу ресурсів на споживання та розвиток виробництва;

б) оптимальне управління інфляцією шляхом регулювання грошової маси в обігу (оптимум грошової маси);

в) оптимальний вибір місця для розміщення складів постачання мережі магазинів (мінімізація витрат на перевезення);

г) оптимальне управління процесом трансформування власності.

Оптимізаційний підхід дає можливість підвищити якість рішення за рахунок таких факторів:

– він дозволяє знаходити варіанти розв'язку задачі при різних значеннях реальних обмежень на змінні та різних початкових умовах;

– дозволяє спростити процедуру вибору кращого рішення завдяки використанню аналітичних критеріїв; при цьому можна одночасно використати декілька критеріїв;

– наявність множини методів розв'язання задач динамічної оптимізації дає можливість вибрати кращу альтернативу.

Недоліками оптимізаційного підходу є такі:

– критерій може мати якісний, а не кількісний характер (наприклад якість життя), що ускладнює застосування аналітичних процедур;

– існують складності з оцінюванням вартості реалізації оптимальних стратегій (оскільки неможливо оптимізувати все);

– об'єм необхідної інформації для побудови моделі може виявитись надзвичайно великим;

– існує принципова неможливість знаходження розв'язку деяких багатокритеріальних задач оптимізації;

– складності обчислень за побудованою моделлю можуть звести задачу до неоптимального рішення.

**Вибір першої прийнятної стратегії.** В даному випадку приймають першу стратегію, яка дає суттєве покращення у порівнянні з існуючою ситуацією або покращення за деяким нескладним критерієм (“ідея полягає в тому, щоб знайти будь-яку голку в копиці сіна, а не в тому щоб знайти саму гостру голку”).

Альтернативи порівнюють (та відхиляють) у відповідності із визначеним правилом. Наприклад, якщо приймається рішення стосовно зміни місця роботи, то можуть бути такі прості критерії:

- неприйнятна відстань до місця роботи;
- неприйнятний час, необхідний для того щоб дістатися до місця.

**Стратегія аспектного виключення.** За цією стратегією кількість альтернативних варіантів рішень скорочують за рахунок їх виключення за деяким одним аспектом, потім виключають за другим аспектом і т. д.

Наприклад, при розміщенні нових підприємств на території України необхідно враховувати:

- наявність трудових ресурсів (кваліфікованих та некваліфікованих);
- потреби в сировині та водопостачанні;
- вплив підприємства на навколишнє середовище;
- розв’язання проблеми транспортування і збуту готової продукції.

Так, в США питання № 1, яке розглядається при реєстрації нового підприємства, рівень податку в конкретному штаті. Ці рівні різні для різних територій, а тому вигідніше реєструватись у штаті з нижчим рівнем оподаткування.

**Інкрементна стратегія.** Ця стратегія полягає у тому, що ОПР послідовно порівнює альтернативні шляхи розв’язання задачі по відношенню до поточної ситуації.

Задача прийняття рішення полягає у тому, щоб виключити знайдені поточні недоліки функціонування підприємства, установи і т. ін. При цьому кожне нове рішення в більшій мірі є реакцією на попереднє.

Наприклад, якщо приймається рішення стосовно розширення об’ємів виробництва, то наступне рішення може бути спрямоване на збільшення площ складських приміщень. Після цього виникає задача автоматизації перевезення продукції із цеху на склад та автоматизації транспортно-складської системи підприємства в цілому.

**Стратегія змішаного сканування (перегляду).** Перегляд відноситься до збору, обробки, оцінювання та порівняльного аналізу інформації, яка відноситься до поставленої задачі.

Спочатку збирають список можливих альтернатив і в результаті їх прискореного аналізу виключають ті, що явно не підходять. Ті, що залишились, розглядають докладно та знову виключають неприйнятні за простими зрозумілими критеріями. І так до тих пір, поки не залишиться одна альтернатива.

**Аналітико-ієрархічна стратегія** полягає у декомпозиції загальної цілі рішення, що приймається, в ієрархічну структуру критеріїв, підкритеріїв та альтернатив. Потім ОПР порівнює критерії попарно з метою знаходження відповіді на питання: який критерій краще задовольняє глобальній меті? Кожному судженню такого типу присвоюється ваговий коефіцієнт в діапазоні  $1 \div 9$ . В результаті отримують матрицю результатів порівняння підкритеріїв. Для кожної матриці попарних порівнянь математичними методами отримують шкалу відносних значень, що виражені через пріоритетні одиниці. Аналітико-ієрархічна стратегія надає можливість включити в критерії, що розглядаються, якісні критерії.

Недоліком стратегії є те, що не завжди можна побудувати матрицю попарних порівнянь і громіздкість із збільшенням кількості рівнянь, критеріїв та альтернатив.

### **2.3 Приклад прийняття особистого рішення**

Вибір (планування) власної кар'єри складається з таких етапів або фаз:

#### **А. Фаза аналізу**

Після закінчення середнього навчального закладу необхідно обрати подальший шлях. Очевидно, що прийняття рішення стосовно напрямку подальшого руху залежить від:

- рівня і спрямованості нахилів особи (здібностей);
- скільки грошей можна витратити (знайти) на освіту;
- яким результатом очікується після вибору того чи іншого шляху.

Основна мета прийняття рішень – обрати такий шлях, щоб забезпечити собі (щонайменше) середній рівень матеріального забезпечення і щоб робота не викликала відрази.

Допоміжні цілі:

- вища освіта;

- власна квартира (дім);
- пристойна зарплата;
- зберегти здоров'я;
- дружна сім'я (створити таку сім'ю, щоб завжди хотілось повертатись до дому).

### **Б. Фаза проектування (побудови) альтернатив**

В цій фазі необхідно виконати такі дії:

- вибрати (спроєктувати) альтернативи;
- дослідити можливості їх реалізації.

Які є основні можливості вибору (альтернативи) в даному випадку:

- досягти всього самому;
- частково самому, частково нехай допоможуть батьки;
- вдало одружитись або вийти заміж.

*Зупинимось на першій альтернативі і виконаємо аналіз можливих шляхів досягнення основної мети (тобто, всього досягаю сам).*

Які є напрями в межах першої альтернативи:

- а) технічний або гуманітарний вищий навчальний заклад (ВНЗ);
- б) військовий навчальний заклад;
- в) міліцейська академія;
- г) навчання за кордоном;
- д) служба в армії з перспективою залишитись прапорщиком, або продовжити навчання у військовому училищі;
- е) професійно-технічне училище з перспективою стати робітником на заводі.

### ***Розглянемо 1-й варіант***

Після закінчення технічного вузу можливі такі варіанти працевлаштування:

**а´)** Знайти фірму де хороша зарплата і намагатися зробити кар'єру (якщо є такі здібності) менеджера. Припустимо, що в 35 років ви стаєте одним із директорів із заробітною платою 2500\$ – 3000\$ на місяць. Це дозволить купити в кредит квартиру і поселитися там із своєю сім'єю.

**б´)** Аспірантура: захистити кандидатську дисертацію через 3 роки (якщо умови сприятливі) і отримувати в 25 років зарплату  $\approx$  200-300\$.

Через 5 – 6 років захистити докторську дисертацію і в 33 –34 роки отримувати зарплату  $\approx$  500-600 \$. Немає можливості купити квартиру в кредит, але ще є час, щоб знайти до 40 років кваліфіковану та високооплачувану роботу за кордоном.

**в´)** Після закінчення вузу можна знайти роботу, або продовжити навчання за кордоном:

– знайти роботу програмістом і відразу отримувати пристойну зарплату; це дозволить купити квартиру в кредит і мати загалом нормальний рівень життя;

– поступити в аспірантуру і отримати ступінь доктора філософії за обраним напрямом (*PhD*) за 3 – 4 роки. Далі робота викладачем і в 40 років можна стати повним професором. Зарплата дозволяє купити квартиру в кредит і жити відносно пристойно.

**г´)** Якщо після закінчення ВНЗ є досить грошей на життя, то можна отримати другу освіту, яка, можливо, приведе до успіху.

**д´)** Влаштуватись програмістом у великому місті. Можливо, що через декілька років можна буде купити квартиру в кредит.

Більше альтернатив поки не будемо розглядати, хоча очевидно, що вони існують.

## **В. Фаза вибору кращої (прийнятної) альтернативи**

Які критерії (аспекти) використаємо для вибору кращої альтернативи:

- чи є здібності до керування (до організаційної роботи);
- скільки часу необхідно для того, щоб отримати пристойну зарплату;
- рівень зарплати;
- скільки зусиль необхідно витратити;
- чи влаштовує життя в умовах відірваності від родичів, друзів, батьківщини у випадку виїзду за кордон.

Для вибору альтернативи можна застосувати стратегію аспектного виключення. Всього п'ять альтернатив:

**а´´)** якщо не влаштовує відірваність від родичів і друзів, то **в´)** відпадає;

**б´´)** якщо не влаштовує аспірантура в Києві чи іншому місті, то **б´)** відпадає;

- в") якщо немає здібностей до керування, то а') відпадає;
- г") якщо не хочеться бути програмістом, то д') відпадає.

Залишається одна альтернатива г'), тобто отримати другу освіту і сподіватись, що вона допоможе знайти те, чого хочеться досягти в житті.

## 2.4 Етапи проектування СППР

З формулювань, наведених вище, очевидно, що основною проблемою при проектуванні СППР є аналіз і з'ясування процесу ухвалення рішення ОПР, визначення обмежень, що накладаються на процес ухвалення рішення, а також вибір методів і обчислювальних процедур, що дозволять зняти подібні обмеження. У загальному випадку проектування СППР складається з трьох етапів.

1. Декомпозиція процесу ухвалення рішення на елементарні операції і опис виконання цього процесу особою, що приймає рішення.
2. Аналіз конкретної задачі стосовно ухвалення рішення і проектування СППР на функціональному рівні.
3. Докладна специфікація функцій системи, її реалізація, верифікація (тестування) і супроводження.

Процес проектування представлено графічно на рис. 2.1. Центральний ряд прямокутників показує які конкретно етапи або дії необхідно виконати для того щоб спроекувати систему. Для виконання конкретних етапів необхідно мати в розпорядженні спеціальний інструментарій, а також опис результату виконання кожного етапу. Види інструментарію і специфікації результатів наведені відповідно ліворуч і праворуч від центрального ряду.

Процес проектування починається з того, що обирається задача, для розв'язання якої необхідно створити систему підтримки прийняття рішень або ця задача ставиться ОПР, яка уже знайома з проблемою прийняття конкретних рішень на підставі власного досвіду. У відповідності з рис. 2.1, на першому етапі виконується декомпозиція задачі на елементарні операції і описується виконання цього процесу особою, що приймає рішення. Основна мета цього етапу полягає в наступному:

- визначити перешкоди («вузькі місця»), які необхідно перебороти при прийнятті рішень за допомогою СППР, що проектується;
- визначити набір комп'ютерних алгоритмів, які необхідно використати для подолання вузьких місць, зв'язаних з оперативним прийняттям правильних рішень.

Для того щоб правильно розв'язати задачу проектування СППР, необхідно максимально структурувати (зробити прозорим) опис процесу ухвалення рішення. Така структура представляється докладним, але чітко

визначеним протоколом, у якому вказується, які дані необхідно зібрати, і описати всі часткові (окремі) рішення, які повинні бути прийняті при проектуванні СППР. Результатом виконання цього етапу є структурована таблиця, у яку зводяться всі результати, що відносяться до декомпозиції проблеми проектування СППР.

Три наступних етапи, представлених на рис. 2.1, представляють собою фазу аналізу і функціонального проектування СППР. Спочатку необхідно проаналізувати саму задачу, стосовно якої необхідно приймати рішення, і підхід ОПР до її розв'язання. У процесі цього аналізу визначають фактори, які створюють перешкоди до розв'язання задачі, якщо це робиться без комп'ютера. Простим інструментом для виконання цієї задачі є написання чіткого переліку загальної інформації, що необхідна для підтримки ухвалення рішення. Цей перелік можна порівняти з таблицею вимог, що була створена на першому етапі. Табулювання ситуацій, зв'язаних із прийняттям рішень, дозволяє конкретизувати зв'язані з ними конкретні обмеження. Таким чином, результатом виконання цього етапу проектування СППР є перелік конкретних труднощів, що виникають при прийнятті рішень щодо конкретної проблеми.

*Наступним кроком* процесу проектування є ідентифікація (визначення) тих труднощів (перешкод) при прийнятті рішень, що можуть бути цілком або частково усунуті завдяки застосуванню обчислювальних процедур. На цьому етапі необхідно скласти перелік функцій стосовно прийняття рішень, які можна перенести на комп'ютер. Цей перелік у деякій мірі буде схожий на список перешкод, складений на попередньому етапі. Тобто тут необхідно вказати конкретно, які з перешкод можуть бути усунуті при прийнятті рішень і за рахунок використання яких методів.

На останньому етапі фази функціонального проектування встановлюється відповідність між бажаними функціями СППР і одним або більше методами, що підтримують реалізацію цих функцій і є сумісними з процесом прийняття рішень користувачем системи. Це досить складне завдання, що вимагає визначення сумісності між спеціальними функціями системи із загальними принципами побудови СППР. Необхідна сумісність забезпечується функціонально організованою класифікацією методів створення СППР, а також множиною правил узгодження індивідуальних методів СППР конкретними задачами на основі характеристик задач і ОПР.





Рис. 2.1 Когнітивний процес проектування СППР

Подібні правила застосовують до переліку бажаних функцій з метою визначення конкретних обчислювальних процедур, що будуть реалізовані в рамках проектованої системи.

*Сполучення функцій системи з обчислювальними процедурами дає можливість створити так звану функціональну архітектуру СППР.*

Інші етапи проектування і створення СППР деталізують процес реалізації створеної на попередніх етапах функціональної архітектури. Конкретні обчислювальні процедури зв'язують з відповідними задачами системи за допомогою аналізу даних, інженерії знань та інших методів. Після сполучення функцій і процедур реалізується етап програмування окремих модулів системи. На цьому етапі також розробляється і програмується інтерфейс між користувачем і машиною.

Розглянемо докладніше основні етапи проектування.

**Перший етап. Визначення і декомпозиція задачі прийняття рішень.** Створення опису й аналіз задачі прийняття рішень – це, фактично, основний етап при проектуванні системи. Якщо не встановити із самого початку обмеження на функції і дані системи, то всі подальші зусилля можуть виявитися даремними, оскільки вони можуть виходити за рамки можливостей створюваної СППР. Експерти, що приймають рішення і звикли бачити весь процес «у цілому», можуть мати істотні труднощі з використанням системи, що змусить «звузити» їхнє бачення до досить вузької перспективи. Досвід проектування СППР свідчить про те, що коли СППР «бачить» рішення у вузькому ракурсі, то користувач, що приймає рішення, не може скористатися нею в тім обсязі як планувалося, або ж приймає гірші рішення ніж без системи.

Наведений вище аналіз процесу прийняття рішень людиною створює основу для опису й аналізу задачі прийняття рішень при проектуванні СППР. У процесі виконання своєї задачі проектувальник змушений постійно рухатися у двох напрямках: аналізувати те, що в дійсності має місце в поточній ситуації, і як ОПР сприймає і представляє для себе цю ситуацію. Відповідно до принципу руху до поставленої мети, проектувальник повинен описати ієрархію процесу ухвалення рішення особою, що його приймає. Створювана ієрархія включає перелік подій і проміжних цілей.

*Необхідно також об'єднати два напрями мислення – шлях зовнішнього розуміння проблеми і внутрішній когнітивний шлях, по якому йде ОПР.* Це дасть можливість уточнити ті сторони процесу прийняття рішень, де необхідно застосувати комп'ютерні засоби для його підтримки.

Декомпозиція задачі виконується в два етапи. На першому етапі встановлюються границі між окремими ситуаціями, що є важливими з погляду ОПР. Ця задача вирішується шляхом декомпозиції головної мети.

Потім кожна ситуація докладно описується за допомогою структурованого формату.

**Декомпозиція мети.** Вище було сказано, що поводження людини має цілеспрямований характер і процес прийняття рішень – це не виключення. Коли приймається рішення, воно має визначену мету. Першим кроком виконання аналізу проблеми, у відношенні якої приймається рішення, є встановлення й опис цілей, що ставить перед собою ЛПР. Декомпозиція цілей виконується у відповідності до двох таких принципів:

- процес прийняття рішень розглядається як прагматичний процес, перед яким поставлена конкретна мета;

- процес прийняття рішень має ієрархічний характер; при цьому спочатку визначаються більш загальні цілі, а потім конкретні проміжні цілі.

Ключовим моментом процесу прийняття рішень, як прагматичного процесу, є висвітлення тих подій, що знаходяться в центрі уваги ОПР. Що відбудеться, якщо було прийняте правильне рішення і досягнута поставлена мета? У більшості випадків ОПР має чітке представлення про процес і шляхом опитування легко встановити, яку конкретну мету вона поставила перед собою. Кожну дію, що повинна мати місце у процесі ухвалення рішення, називають цільовою подією. Як правило, це фізичні події, такі як підвищення доходу до заданого рівня, досягнення бажаних характеристик системи і т.п.

Після того як визначено мету верхнього рівня, необхідно докладно заповнити щонайменше один рівень під кожною метою верхнього рівня. ОПР встановлює які кроки (етапи), дії, функції необхідно виконати щоб домогтися поставленої мети. Їх можна визначити як цілі нижнього рівня, що спрямовані на досягнення мети верхнього рівня. Кожна мета верхнього рівня, що впливає з декомпозиції задачі, має свій конкретний контекст для ухвалення рішення. Для досягнення головної мети верхнього рівня ОПР встановлює компроміс між усіма цілями нижнього рівня і функціями, що необхідні для досягнення головної мети. Діяльність, зв'язана з досягненням деякої мети верхнього рівня, визначається як *ситуація ухвалення рішення* для цієї мети.

Філософія проектування СППР ґрунтується на тому, що підтримка прийняття рішень повинна зосереджуватися на ситуативному рівні, навколо головної мети, для досягнення якої створюється СППР. Навіть якщо СППР використовується для підтримки прийняття рішень на нижньому рівні ієрархії управління, все рівно вона повинна бути орієнтованою на ту ситуацію ухвалення рішення, частиною якої є мета нижнього рівня. Це необхідно для того, щоб інтегрувати подальше

рішення, прийняте стосовно нижнього рівня, в процес ухвалення рішення щодо головної мети. Таким чином, проектувальник системи повинен побудувати щонайменше один інструмент підтримки прийняття рішень для досягнення кожної мети верхнього рівня.

Якщо між цілями самого верхнього рівня існують взаємозв'язки і досягнення цілей повинне виконуватися паралельно, то необхідно проектувати систему із урахуванням цих можливостей і потреб. Необхідно вказати, що СППР не повинна проектуватися для досягнення мети проміжного рівня, навіть якщо це найпростіший шлях з обчислювальної точки зору. Із сказаного випливає, що після виконання декомпозиції головної мети подальший аналіз і опис повинні будуватися таким чином, щоб процес проектування був зосереджений на індивідуальних ситуаціях прийняття рішень.

**Опис ситуації з прийняття рішення.** Пропонується підхід до підтримки рішень, що ґрунтується на когнітивному описі цього процесу. З іншого боку, прагматична сторона проектування СППР на основі ЕОМ вимагає глибокого розуміння фізичної, інформаційної і контекстної поведінки, у якій повинна працювати система. Таким чином, існує дві сторони опису ситуації з ухвалення рішення – більш традиційними є біхевіористично-фізичний опис, а сучасним – когнітивний опис. Використовуючи такий подвійний опис процесу, можна знайти ті «вузькі місця» архітектури прийняття рішень ОПР, що потребують допомоги з боку ЕОМ. Для того щоб застосувати цей підхід на практиці, необхідно докладно структурувати і описати весь процес прийняття рішень. Структура опису створюється за допомогою двох інструментів. Першим інструментом є формат опису, що ґрунтується на широких категоріях аналізу, загальних для більшості рішень. Іншим інструментом є протокол збору даних і опитування (збір інтерв'ю), складені таким чином, щоб зібрати конкретну докладну інформацію з кожної широкої категорії, необхідної для аналізу труднощів прийняття рішень і визначення необхідності підтримки їхнього прийняття.

Формат опису ситуації з ухвалення рішення складається з таких восьми категорій:

1. Ситуативні цілі. У цій частині документуються результати декомпозиції головної мети. Описується головна мета верхнього рівня, на якій зосереджується процес прийняття рішень і когнітивна обробка даних у конкретній ситуації з прийняття рішень.

2. Динаміка виконання задачі. В іншій частині ситуативного опису визначається динамічний контекст, до якого відноситься конкретна ситуація. При цьому можливі такі альтернативи:

- ітеративний аналіз і створення опису – ситуація, що була проаналізована, розглядається знову;
- послідовний аналіз ситуативних даних, коли наступний крок розглядається як наслідок виконання попереднього;
- простий опис, що не має потреби у повторному розгляді або аналізі зв'язків з попередніми кроками.

Документування характеристик стосовно динаміки задачі корисне з погляду проектування архітектури управління СППР, оскільки структура СППР повинна відображати основну динаміку задачі (наприклад, СППР, що проектується для ітеративних ситуацій із прийняття рішень, повинна мати замкнуту циклічну структуру). Крім того, деякі конкретні прийоми проектування СППР можуть бути застосовані тільки до ситуацій із прийняття рішень для конкретної динаміки задачі.

3. Критерії вибору рішення. Більшість рішень розглядаються по-своєму різними ОПР. Це пояснюється тим, що вони користуються різними критеріями для оцінювання конкретного вибору. Однією із складних задач, з якими змушені зустрічатися ОПР, є об'єднання різних критеріїв вибору на множині альтернатив (або навіть для однієї альтернативи). У багатьох випадках це проблема знань, у якій найкращі (або просто прийнятні) стратегії і правила вибору альтернативного критерію не зовсім чіткі або ж невідомі взагалі. Додаткові труднощі виникають у випадках, коли ці критерії носять числовий характер, у зв'язку з чим виникає необхідність виконання складних числових маніпуляцій у процесі їхнього об'єднання.

Багато систем підтримки прийняття рішень накладають кількісні критерії на самих ОПР, наприклад, у грошових, виробничих або часових одиницях. Визначення цих критеріїв вибору, що повинне об'єднати ОПР, а також визначення змісту такого об'єднання відіграють важливу роль з погляду забезпечення підтримки для цієї частини процедури прийняття рішень.

4. Первинний (вихідний) процес. Задачі прийняття рішень завжди мають відношення до реальних конкретних процесів, що мають детерміновані і стохастичні характеристики (або елементи). Оцінка потенційних дій у напрямку досягнення головної мети залежить, таким чином, від впливу обраної стратегії дій на конкретний процес. При цьому виникає два види проблем. Часто буває так, що наявної інформації про процес недостатньо для ефективного прогнозування його розвитку. Але навіть якщо обсяг інформації достатній, то завжди виникають труднощі з прогнозуванням розвитку процесу у часі і просторі. Опис цього аспекту процесу прийняття рішень повинен виходити з двох перспектив:

- зовнішньої або біхевіористичної перспективи, тобто, опису фізичних процесів, з якими буде взаємодіяти ОПР;

– внутрішньої або когнітивної перспективи, тобто, опису розуміння і сприйняття процесу і динаміки його розвитку з погляду ОНР.

5. Інформаційна підтримка. Сама істотна різниця між сучасною ОНР і ОНР попереднього покоління, полягає в об'ємі наявної інформації, що розглядається. Раніше багато рішень приймалися за наявності невеликих обсягів інформації. На сьогодні рішення приймаються за наявності таких обсягів інформації, що досить часто перевищують необхідний. Оскільки час, що надається для ухвалення рішення, завжди обмежений, то така ситуація може призводити до витоку важливої інформації. Можна виділити такі три види інформації, з яким має справу ОНР:

– вихідна інформація, що має безпосереднє відношення до ухвалення рішення і динамічно змінюється на кожній ітерації ухвалення рішення;

– інформація про параметри процесу, що має безпосереднє відношення до ухвалення рішення, але не змінюється динамічно на кожній ітерації ухвалення рішення; значення параметрів можуть змінюватися в різних циклах процесу ухвалення рішення;

– вихідна інформація, яку одержує ОНР на основі перших двох видів інформації і яка спрямована на підтримку процесу ухвалення рішення в цілому, є безпосередньо частиною загального рішення.

Розглянутий опис необхідний для можливої розробки і створення бази даних та/або знань для СППР.

6. Проміжний аналіз. Очевидно, що досвідчені ОНР (експерти) завжди привносять свої власні накопичені знання і досвід у процес прийняття рішень. Вони розкривають специфічні властивості ситуації з прийняття рішень, що можуть надати допомогу у виборі стратегії дій і вибрати, таким чином, оптимальне рішення. Досвідчений експерт знає, як виконати проміжний аналіз ситуації з ухвалення рішення і, завдяки цьому, використовує дуже специфічні проблемно-орієнтовані стратегії прийняття рішень. Такий проблемно-орієнтований проміжний аналіз може бути ефективно виконаний за допомогою допоміжних засобів, наприклад ЕОМ. Однак, це можливо тільки у тому випадку, коли проєктувальник СППР знає, що представляє собою і з чого складається процес мислення експерта. Ідентифікація й опис цього процесу складають предмет проміжного аналізу.

7. Представлення рішення. Досвідчений експерт з прийняття рішень має свій «алгоритм» мислення і представлення задачі, а тому вирішує її швидко і ефективно. Фактично для всіх експертів характерна тенденція обмірковування тактичних ситуацій у досить абстрактній формі. Наприклад, досвідчений шахіст розмежовує шахівницю на «зони», що знаходяться під контролем чорних, білих або ж вони займають нейтральне положення. Таке представлення допомагає правильно планувати і робити

ходи і зв'язувати їх з головною метою – поставити мат королю. Тому важливо спроектувати СППР (а особливо інтерфейс користувача) так, щоб вона відображала проблему у такому ж вигляді, як це робить експерт. Подібні абстрактні методи представлення проблеми виявляють своє втілення у візуальних образах і картинах. Визначення цього розумового представлення проблеми експертом дає можливість знайти основу для створення комп'ютерної графіки в межах інтерфейсу користувача.

8. Необхідність використання суджень. Незалежно від того наскільки глибоко проаналізована проблема, може залишитися частина суджень (розумових висновків), які неможливо точно описати. Експерт виконує подібну розумову роботу, але не може дати точний опис того, як він це робить. Таку погано обумовлену і погано структуровану частину задачі прийняття рішень називають «судженням». Незважаючи на те, що більшість процесів, пов'язаних із формуванням суджень експерта, поки що перебувають за межами можливостей комп'ютера, існують методи, що допомагають реалізувати кількісні судження.

Розглянутий формат опису проблеми, що ґрунтується на протоколі декомпозиції задачі, корисний з погляду визначення вербальних характеристик ситуацій, що мають місце при прийнятті рішень. Нарешті, корисно створити скорочений опис, який займав би одну сторінку у вигляді таблиці. Формат такої таблиці представлений на рис. 2.2.

**Другий етап. Аналіз ситуації з прийняття рішення.** Наведена вище методика опису процесу проектування СППР поєднує проблемно-орієнтований аналіз зовнішнього оточення, зв'язаного з прийняттям рішення, з когнітивним аналізом цілей і процесом мислення досвідченої ОПР. На наступному етапі проектування СППР аналізується опис ситуації з метою ідентифікації тих «вузьких (слабких) місць» процесу прийняття рішень, де необхідна допомога комп'ютера. Надалі необхідно визначити конкретні обчислювальні процедури для включення в комп'ютерну систему.

**Визначення обмежень (труднощів) процесу прийняття рішень.** В літературі визначено, що існує шість загальних моментів, зв'язаних з необхідністю використання способів підтримки прийняття рішень. Вони є загальними для більшості ситуацій із прийняття рішень і мають відомі форми обчислювальної підтримки. Ці шість моментів можна розглядати як «вузькі місця» у процесі прийняття рішень ОПР (які працюють без засобів підтримки прийняття рішень). Такий підхід збігається з вищеописаною ідеологією. Як тільки вдається визначити слабкі місця процесу прийняття рішень, стає можливим вибрати необхідну технологію для посилення цих

місце за допомогою відповідних логічних і обчислювальних процедур. Розглянемо коротко шість зазначених моментів.

<b>Ситуація з ухвалення рішення:</b> (назва ситуації або проблеми).					
<b>Динаміка задачі:</b> (тип динаміки: ітерації в замкнутому циклі, послідовність дій або одноразова дія).					
<b>Ситуативні цілі:</b> (ціль найвищого рівня, що визначає ситуацію і яка виражена через події – фізичні або інші, котрі можна спостерігати).					
<b>Критерії оцінки:</b> (перелік індивідуальних критеріїв, за допомогою яких буде оцінюватися можливе рішення).					
<b>Фізичний процес:</b> (тут дається короткий опис (одна пропозиція) основного процесу, стосовно якого приймається рішення).					
<b>Інформаційна підтримка:</b>					
<b>Входи</b>		<b>Виходи</b>		<b>Параметри</b>	
Перелік видів інформації, яка може бути використана при прийнятті рішення і яка може змінити своє значення в процесі роботи.	яка	Перелік видів інформації, яка створюється в процесі прийняття рішення; наприклад, відносно різних аспектів рішення.	в	Перелік видів інформації, яка може бути використана при прийнятті рішення і не змінюється на протязі однієї ситуації, але може змінюватися у подальшому.	бути
<b>Проміжний аналіз:</b> (перелік етапів процесу ухвалення рішення, що виконує ОПР, приймаючи рішення без комп'ютера).					
<b>Представлення ситуації:</b> (короткий опис ухвалення рішення ОПР і які засоби (лінгвістичні, візуальні і т. ін.) використовуються).					
<b>Необхідні судження:</b> (перелік евристичних суджень, що повинна виконати ОПР при ухваленні рішення).					

Рис. 2.2 Формат таблиці для опису процесу прийняття рішень

1. *Неможливість прогнозувати процес.* Численні дослідження показують, що більшість людей мають труднощі з прогнозуванням подій у майбутньому. Це особливо відноситься до тих випадків, коли у протіканні



реальних процесів спостерігається *невизначеність*. Труднощі пов'язані з такими основними обмеженнями когнітивної архітектури людини: *інформаційні потреби при розв'язанні задач перевищують можливості робочої пам'яті; існує велика потреба у вивченні і запам'ятовуванні дуже багатьох подробиць; крім того, дуже часто виникає необхідність у виконанні досить складних об'ємних обчислень*. Багато ОПР мають труднощі з прогнозуванням подій, а тому покладаються на свій досвід і загальну евристику. З іншого боку, комп'ютер цілком розв'язує задачу прогнозування за допомогою ряду процедур, якщо є відповідна інформація стосовно спостережень. Тому цю задачу необхідно перекладати на ЕОМ.

2. *Труднощі з об'єднанням атрибутів і цілей*. У більшості ситуацій із прийняття рішень ОПР має у своєму розпорядженні декілька атрибутів або критеріїв, що використовуються для опису очікуваного результату після ухвалення рішення. Такі критерії і їхні комбінації часто бувають нечітко визначеними або субоптимальними. У таких випадках ОПР може скористатися знаннями більш досвідчених експертів із прийняття рішень. Доступ до їхніх знань можна організувати за допомогою бази знань. Навіть якщо ОПР має у своєму розпорядженні чіткі правила для порівняння альтернатив, знайти найкращу буває досить складно, що зумовлено необхідністю обробки числових атрибутів. Такі обчислення легко і швидко може виконати комп'ютер.

3. *Труднощі з обробкою даних, що необхідні для прийняття рішень*. Як правило, у ОПР виникають труднощі з використанням усієї наявної інформації при ухваленні рішення. Мається на увазі, що вся інформація повинна пройти через обмежену робочу пам'ять ОПР, а також те, що процес «пошуку і читання» інформації з довгострокової пам'яті не характеризується високою надійністю. У зв'язку з цим ОПР може просто застосувати правило «вгадування» замість того щоб скористатися істинною інформацією. Таким чином, і у цьому випадку необхідно скористатися допомогою комп'ютера, що забезпечує швидкий і надійний пошук інформації у великих обсягах пам'яті.

4. *Проблеми з аналізом і формуванням логічного висновку (прийняття рішення)*. ОПР знають як необхідно обмірковувати задачу, але часто не можуть виконати цю задачу внаслідок обмежених ресурсів пам'яті і часу. ОПР може знати, наприклад, що можна знайти оптимальне рішення шляхом порівняння багатьох альтернатив, але знає і те, що це неможливо зробити за відведений для цього проміжок часу. Подібні труднощі виникають внаслідок загальних обмежень людини з погляду можливості обробки великих обсягів інформації, таких як обмеження робочої пам'яті, труднощі обробки великих масивів чисел і складних обчислень і прогнозування значень параметрів. Необхідно також відзначити, що тип

аналізу і необхідність формування логічного висновку істотно відрізняються для різних практичних задач. Але в більшості випадків існує можливість створення комп'ютерної підтримки у виді алгоритму, що буде виконувати функції формування логічного висновку.

5. *Труднощі з візуалізацією результатів.* Для людини природно використовувати звичне для неї візуальне представлення процесу розв'язку тієї або іншої задачі. Але це досить складний процес, особливо якщо в процесі рішення присутні масиви числових даних. Це ще один приклад того, що людина не може розумово виконувати складні обчислення. Задача полегшується, якщо для візуалізації застосувати комп'ютер. Візуалізація не тільки дає загальне представлення про хід процесу мислення, але і допомагає його виконувати. Наприклад, вона набагато полегшує прогнозування наслідків прийняття того або іншого рішення (психологи стверджують, що хороший інформативний рисунок може замінити до двох тисяч слів).

6. *Неточність процесу евристичних суджень.* Можна привести багато прикладів, коли ОПР змушена робити логічні висновки, які можна пояснити тільки з погляду *суджень*, тобто без застосування числових критеріїв. Досвідчені ОПР можуть робити такі судження з високою якістю і точністю, але коли зустрічаються кількісні моделі й аспекти, то спостерігається систематичний зсув оцінок або «шум». Це зумовлено загальною обмеженістю людини виконувати складні кількісні операції і труднощами «читання» даних з довгострокової пам'яті. У даному випадку комп'ютер не може конкурувати із людиною з погляду реалізації суджень, але його можна використовувати для усунення «зсуву» або фільтрації шуму. Комп'ютер можна також використати для порівняння поточного рішення з минулими варіантами розв'язків і результатами.

Розглянуті шість загальних проблем із прийняттям рішень досить тісно пов'язані з категоріями, що були використані вище для опису ситуацій із прийняття рішень, тобто:

- конкретний фізичний процес – проблема прогнозування;
- критерії вибору – труднощі з об'єднанням атрибутів (якщо необхідно об'єднати декілька критеріїв, або порівняти кілька альтернатив, то ОПР не може це зробити з необхідною якістю без допомоги ЕОМ);
- інформаційні вимоги – труднощі з «пошуком і читанням» інформації;
- проміжний аналіз – проблеми з аналізом або логічним висновком;
- представлення рішення – труднощі з візуалізацією або постановкою у відповідність даних і розумової моделі;
- необхідність у судженнях – кількісні неточності евристичних суджень.

Наведене представлення допомагає структурувати (уточнити) процес підтримки прийняття рішень. Наведена вище таблиця (рис. 2.2) і декомпозиція ситуації з ухвалення рішення розглядаються етап за етапом з метою виявлення труднощів ОПР при прийнятті рішень без допоміжних засобів. В результаті одержують перелік проблемно-орієнтованих труднощів, які є прикладами шести розглянутих вище загальних моментів.

Очевидно, що інформаційне забезпечення і процес ухвалення рішення можуть відрізнятися для конкретних задач, тому потреби в допомозі при ухваленні рішення можуть носити різний характер. У більшості випадків необхідно забезпечити декілька видів комп'ютерної підтримки, але дуже рідко буває, що підтримка необхідна за всіма шістьма пунктами.

**Третій етап. Визначення функцій системи підтримки прийняття рішень.** Сучасні технології проектування СППР дають можливість використовувати відповідно шість функцій для підтримки прийняття рішень з боку ОПР:

1. *Моделювання процесу.* Використовуючи існуючі моделі реальних процесів (або створюючи нові), можна створювати підсистеми прогнозування їхнього подальшого протікання і підсистеми синтезу оптимальних рішень на основі поточних даних (спостережень).

2. *Моделювання критеріїв.* За допомогою математичних методів можна знайти математичний опис або правила для автоматичного об'єднання атрибутів, що характеризують різні варіанти рішень, що знімає когнітивні обмеження ОПР.

3. *Інформаційний менеджмент.* Для збереження, читання та обробки інформації, даних, знань використовують сучасні комп'ютерні технології. Завдяки цьому значно розширюються можливості ОПР із прийняття рішень і обробки даних.

4. *Автоматизований і напіваавтоматизований аналіз і логічний висновок.* Для часткової або повної автоматизації процесу формування логічного висновку необхідно використовувати методи штучного інтелекту і чисельні методи. Це дасть можливість підвищити якість результату і зменшити час на розв'язок подібної задачі.

5. *Способи підтримки представлення результатів.* Для того щоб реалізувати функції доступу до інших СППР, баз даних і знань, необхідно застосовувати засоби комп'ютерної графіки й інструментарій для обробки мов.

6. *Підвищення якості суджень.* З метою усунення систематичних помилок, що впливають з деяких кількісних евристичних суджень

людини, необхідно впроваджувати статистичні та інші методи корегування результатів.

Наступним і останнім етапом функціонального проектування є *вибір конкретних обчислювальних процедур* для реалізації кожної функції СППР у рамках зовнішніх і когнітивних обмежень, що впливають на прийняття рішень, а також наявної групи експертів для проектування СППР.

**Четвертий етап. Вибір технології (методів) для реалізації СППР у межах біхевіористичних і когнітивних обмежень.** Функціональне проектування СППР представляє собою когнітивний інженерний процес, що містить у собі двоетапне узгодження даних, що надходять від конкретного опису ситуації з прийняття рішень, з технологічною базою системи підтримки прийняття рішень. Перший етап уже розглянуто вище.

Конкретні потреби у підтримці прийняття рішень вже виявлені на етапі визначення функціональних вимог. Потреби у підтримці прийняття рішень визначають функції, що повинна виконувати СППР. На наступному етапі конкретні потреби у підтримці рішень узгоджуються з індивідуальними методами СППР на основі фізичних атрибутів конкретної ситуації і процесу прийняття рішень ОПР без допоміжних засобів. У такий спосіб відбувається перетворення потреб у підтримці прийняття рішень в функціональний проект.

Основним інструментом, який необхідно мати на цьому етапі, є чітке визначення і категоризація технологічної бази СППР, що, у свою чергу, ґрунтується на функціях і потребах, розглянутих вище. Шість видів математичного інструментарію, що використовується при проектуванні і реалізації СППР, наведено на рис. 2.3, тобто це такі види [23]:

- математичні моделі реальних процесів, для управління або контролю яких створюється СППР;
- моделі вибору можливих альтернатив при пошуку рішення;
- інструментарій для інформаційного менеджменту;
- методи автоматизованого аналізу/логічного висновку;
- методи й інструментарій для представлення результатів;
- методи реалізації і підвищення якості суджень.

Кожна категорія складається з ряду конкретних методів, що можуть бути використані у конкретних випадках створення системи з метою реалізації функцій підтримки. Організація методів у межах кожної категорії ґрунтується на специфічних рисах або вимірах, що визначають ступінь їхньої продуктивності у конкретному випадку. Таким чином, класифікація, що представлена на рис. 2.3, не тільки дає перелік можливих методів, але й підкреслює ті конкретні риси проблеми з прийняття рішень,

які необхідно розглядати при виборі конкретного методу для його реалізації в рамках СППР.

Очевидно, що сам по собі рис. 2.3 ще не дає достатньої підтримки для інформаційного проектування. Він визначає перелік наявних технологій для реалізації кожної бажаної функції СППР, але не визначає методики вибору конкретного методу або засобу порівняння з іншими. Для цього необхідно мати ще один інструмент – набір правил, що дозволяють реалізувати конкретні функції СППР. Ці правила повинні ґрунтуватися на даних, що характеризують ситуацію з ухвалення рішення і збираються шляхом декомпозиції/опису конкретної ситуації.

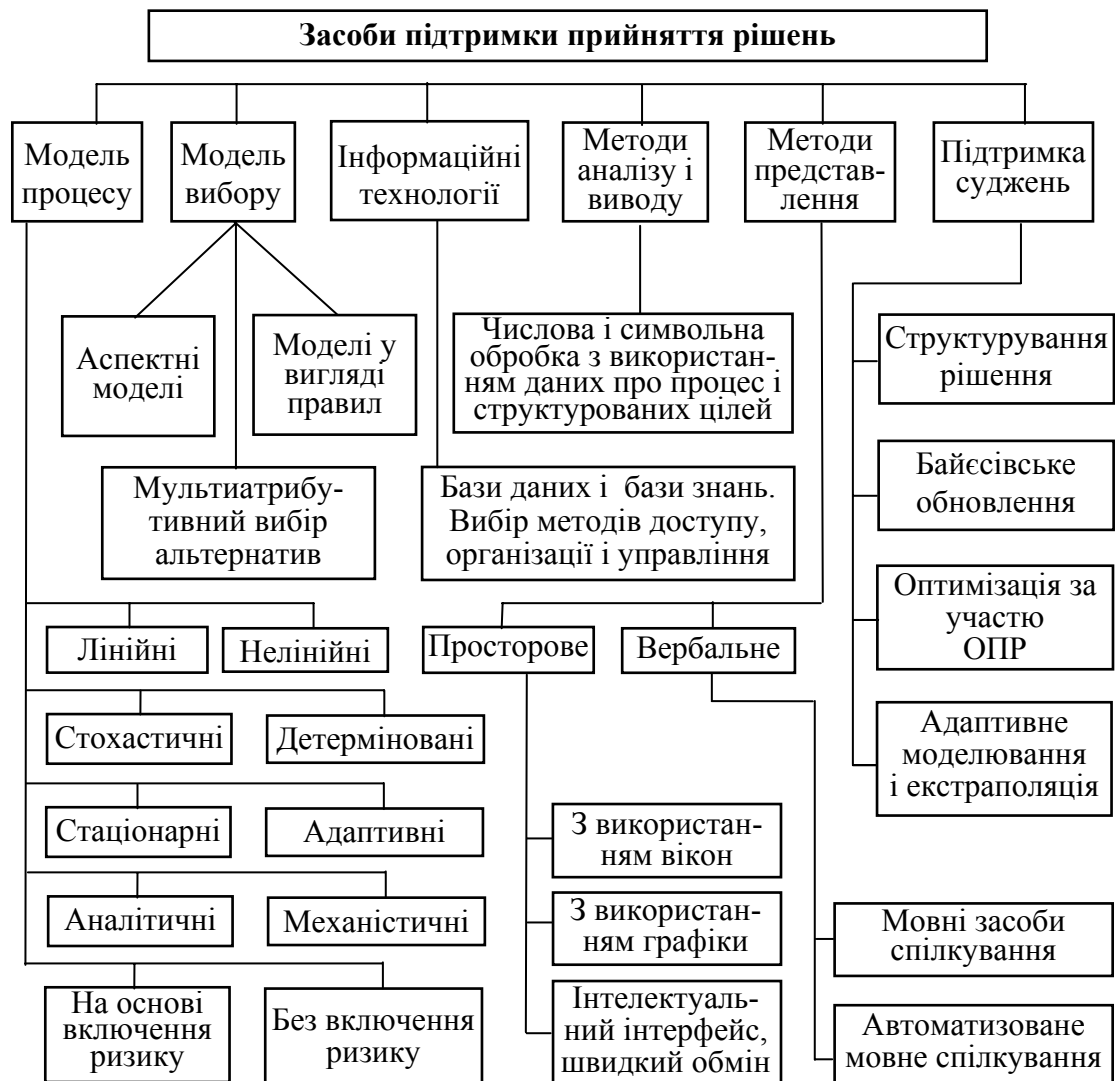


Рис. 2.3 Класифікація засобів підтримки прийняття рішень

На етапі вибору методів кожна потреба у підтримці ухвалення рішення узгоджується з конкретним методом, наведеним на рис. 2.3. Іноді

буває неможливо підібрати необхідний метод внаслідок високих вимог до результату або обмежень наявних технологій. Але, як свідчить практика, у більшості випадків можна підібрати щонайменше один метод.

Процес узгодження підбору методів необхідно виконувати для кожної конкретної задачі. Оскільки категорії, що використовуються для визначення конкретних потреб підтримки, пов'язані з характеристиками методів для підтримки рішень, то досить скористатися однією характеристикою для кожної з потреб підтримки. Хоча можливі такі випадки, коли необхідно розглядати також перехресні зв'язки. Деякі загальні правила узгодження конкретних методів, представлених на рис. 2.3, з конкретними потребами підтримки прийняття рішень будуть розглянуті нижче.

### **Контрольні задачі і запитання**

1. Охарактеризуйте атрибути та обмеження процесу прийняття рішення ОПР.
2. Наведіть стратегії, які використовують ОПР для прийняття рішень.
3. Які недоліки і переваги має оптимізаційна стратегія?
4. Наведіть перелік елементів постановки оптимізаційної задачі?
5. Які ви знаєте методи статичної та динамічної оптимізації?
6. Наведіть приклад процесу прийняття рішення ОПР.
7. Сформулюйте етапи процесу проектування інформаційних СППР.
8. Розкрийте процедуру визначення і декомпозиції задачі прийняття рішень.
9. Наведіть категорії, з яких складається формат опису ситуації з ухвалення рішення; наведіть приклад опису ситуації.
10. Опишіть існуючі обмеження процесу прийняття рішень, що вимагають застосування допоміжних засобів.
11. Сформулюйте функції, які використовуються ОПР у процесі прийняття рішень?
12. Наведіть класифікацію засобів підтримки прийняття рішень.
13. Поясніть зміст етапу вибору технології для реалізації СППР.

## РОЗДІЛ 3

### ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ І ДАНИХ В СППР

#### 3.1 Вибір моделей і критеріїв для СППР

Існує декілька умов, що визначають необхідність використання моделі процесу. Очевидною умовою є те, що рішення повинне безпосередньо ґрунтуватися на первинному процесі, що аналізується. По-друге, поводження процесу необхідно прогнозувати в сильному або слабкому змісті. Процес розглядається як прогнозований у сильному змісті, якщо його внутрішня динаміка відома й описана математично. При цьому модель процесу може бути використана для його прогнозування поза межами встановлених «нормальних» умов функціонування. Поводження процесів, для яких неможливо створити точний математичний опис, також можна прогнозувати (екстраполювати) на основі спостережень, якщо вони є у достатньому обсязі. Такі процеси називають прогнозованими в «слабкому» змісті, тому що прогнозоване значення достовірне тільки для тих умов, що відповідають конкретному наборові даних. Як приклад «слабко прогнозованого» процесу можна навести процеси на товарному ринку. Економетричний аналіз свідчить, що агреговане поводження великого числа товарних транзакцій можна прогнозувати (екстраполювати) статистичними методами на основі минулих і поточних даних, не створюючи при цьому складних моделей динаміки.

Наступною передумовою використання моделі процесу є те, що необхідно мати дані, що характеризують його поводження в минулому. Відсутність цих даних можна замінити, в деякій мірі, експертними оцінками. Тобто при розробці моделі необхідно скористатися як знаннями експерта, так і числовими даними, якщо вони є в наявності. Правила вибору конкретної моделі процесу представлені на рис. 3.1.

Вибір конкретної моделі процесу ґрунтується на деяких додаткових характеристиках. Ці характеристики можна отримати за допомогою даних, зібраних на етапі декомпозиції задачі. Першою такою характеристикою є присутність невизначеностей (невизначеностей у вихідних даних, в динаміці або в даних на виході). Якщо невизначеності мають місце, то необхідно вибрати стохастичну модель. Якщо ж невизначеності не грають істотної ролі, то процес можна розглядати як детермінований. Прикладами стохастичних процесів можуть бути процеси, зв'язані з навколишнім середовищем (забруднення, погода), і економікою. Наступною характеристикою є бачення реального процесу з погляду ОПР.

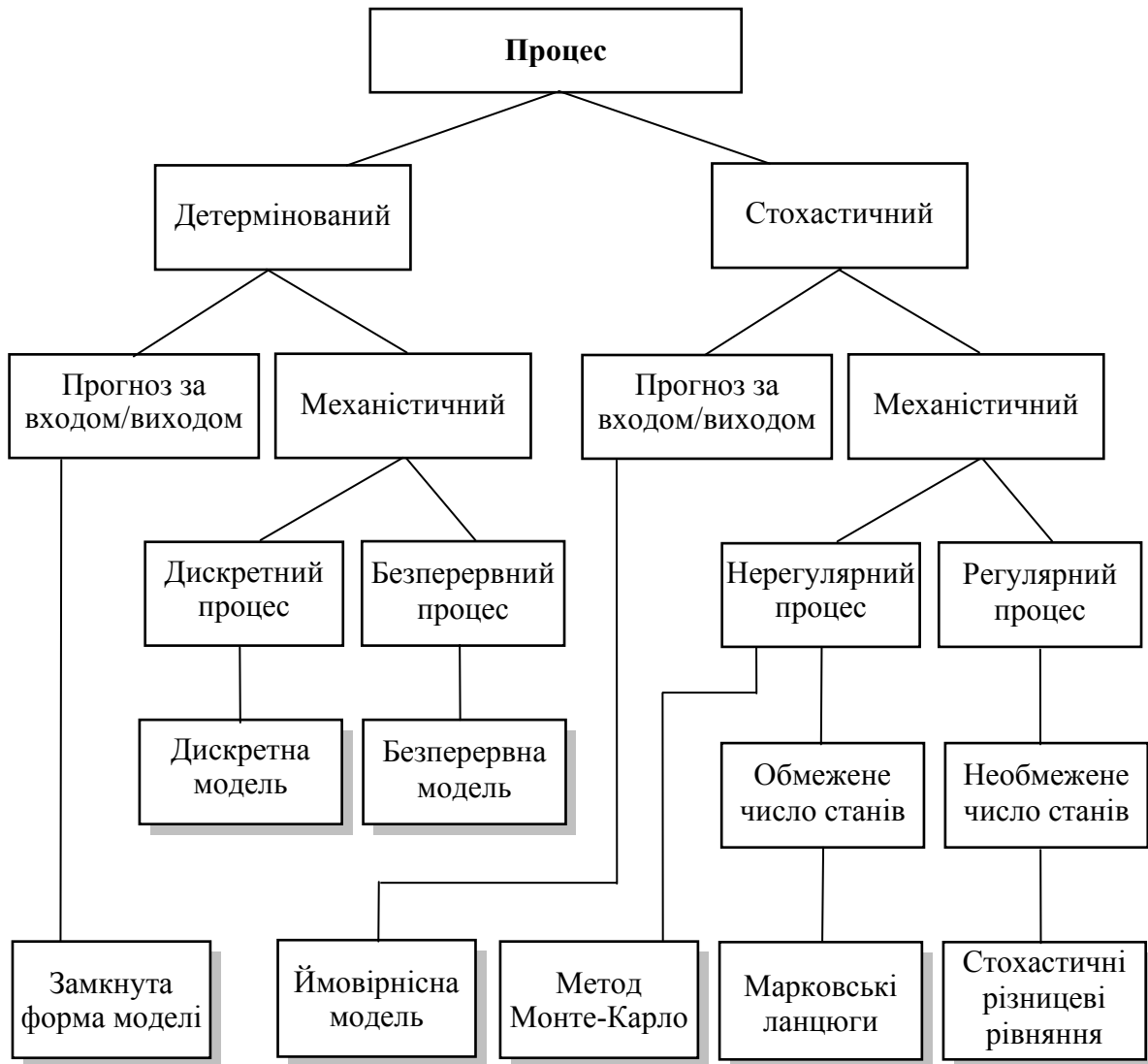


Рис. 3.1 Вибір моделі процесу при проектуванні СППР

ОПР має своє представлення про те, як необхідно прогнозувати процес. Якщо ОПР зацікавлена тільки в початковому положенні і кінцевому результаті, то таке прогнозування називають прогнозуванням на основі відношення вхід/вихід. Якщо ж ОПР бачить необхідність контролювати цілком протікання процесу (включаючи початкові умови і кінцеве положення), то таке прогнозування називають *механістичним*. Для детермінованого процесу і прогнозу на основі відношення вихід/вхід необхідно використовувати так звані *замкнуті форми аналітичних моделей*. Якщо ж процес стохастичний і використовується прогноз на основі відношення вихід/вхід, то при проектуванні СППР необхідно скористатися *ймовірнісною* моделлю процесу. У цьому випадку зв'язок між



вхідними і вихідними змінними процесу встановлюється на основі результатів теорії ймовірностей і статистики.

Крім розглянутих характеристик необхідно визначити яку модель використовувати з погляду врахування протікання часу, тобто *дискретну* або *неперервну*. Очевидно, що більше труднощів пов'язано з аналізом стохастичних процесів. Якщо процес адекватно описується за допомогою 20-и або менше станів, то його вважають процесом з обмеженою кількістю станів. Ще однією характеристикою є *регулярність* процесу. Процес вважається регулярним, якщо він переходить з одного стану в інший через однакові інтервали часу. Інакше його класифікують як нерегулярний.

Якщо процес класифікується як стохастичний з обмеженим числом станів і регулярний, а форма прогнозування механістична, то при проектуванні необхідно вибрати модель на основі *марковських* ланцюгів і т. ін. Підхід до моделювання на основі методу Монте-Карло розглядають як «останню» можливість. У даному випадку вважається, що зовсім немає можливості вивчити процес або зібрати обсяг даних, необхідний для побудови адекватної математичної моделі, але вважається, що є достатній обсяг обчислювальних ресурсів і часу для побудови подібної моделі.

### **3.2 Вибір моделі для оцінювання наслідків прийняття рішень з використанням СППР**

У більшості випадків прийняття рішень ОПР зацікавлена у порівнянні наслідків прийняття альтернативних рішень. Порівняння альтернатив пов'язане, як правило, із складними кількісними розрахунками, необхідністю використання спеціальних знань і специфічних моделей для оцінювання альтернатив. Правила вибору конкретної моделі з числа наведених на рис. 3.1, для конкретної ситуації з прийняття рішень, представлені на рис. 3.2.

Якщо у процесі прийняття рішень без засобів підтримки аналізуються декілька альтернатив, кожна з яких описується більше ніж одним атрибутом, то такий процес називають мультиатрибутним процесом прийняття рішень. Якщо всі атрибути розглядаються при оцінюванні альтернативи одночасно, то такий вибір називають *утилітарним мультиатрибутним вибором* (УМАВ). Якщо ж при оцінюванні альтернативи атрибути розглядаються в деякій визначеній послідовності, то такий вибір називають *аспектним мультиатрибутним вибором* (АМАВ). Якщо атрибути мають якісний характер і розглядаються у визначеній послідовності, то вибір називають також *аспектним*.

Класичним прикладом УМАВ є прийняття рішення про прийом до вищого навчального закладу, коли одночасно розглядаються декілька атрибутів, що характеризують рівень знань і розвитку абітурієнта.

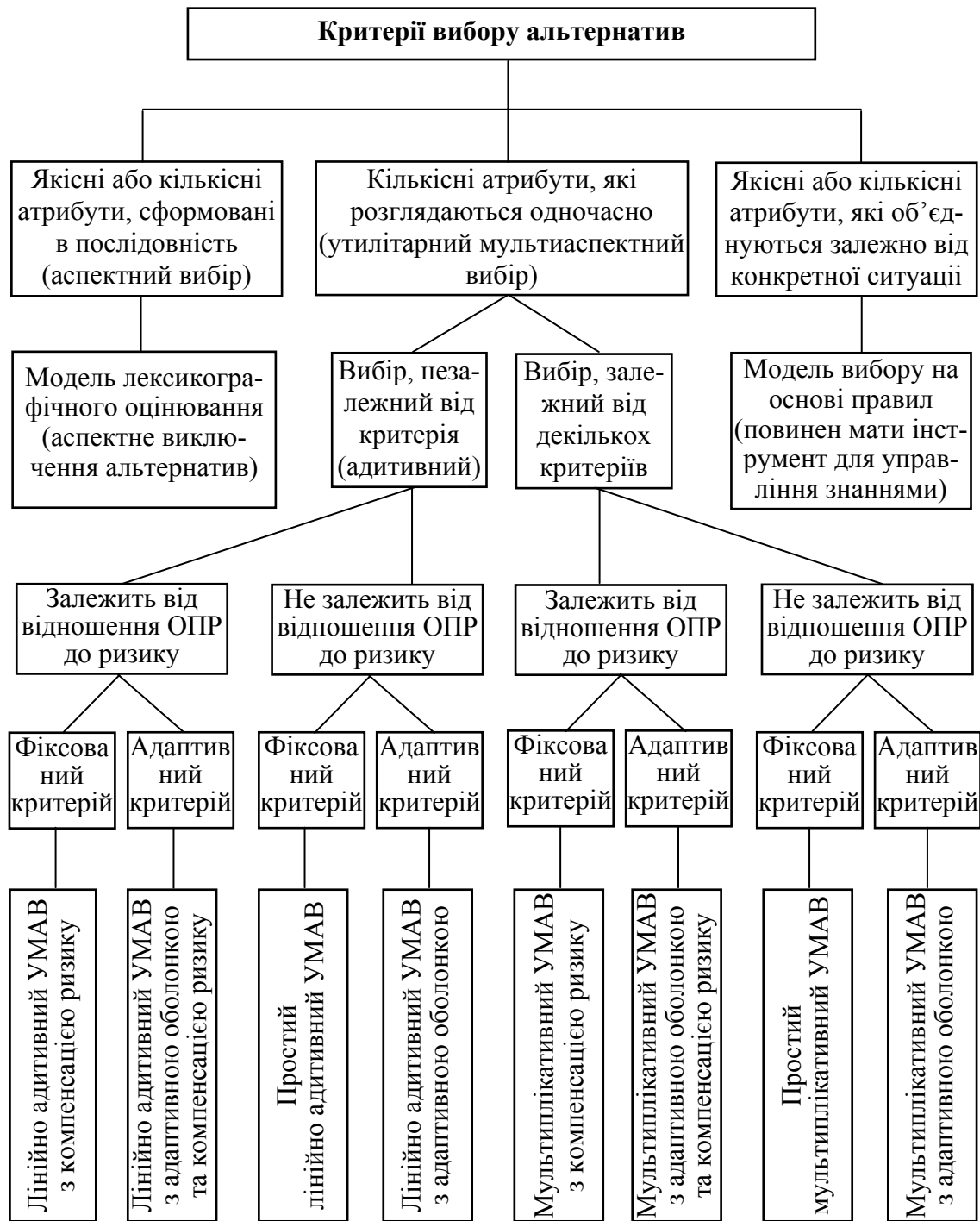


Рис. 3.2 Вибір моделі для оцінювання результату роботи СППР

Прикладом аспектного вибору рішення є покупка будинку для проживання. У цьому випадку спочатку, як правило, розглядається ціна, а потім інші атрибути, такі як район його розміщення, відстань до метро (якщо воно є в місті), відстань до дитячого саду і школи.

У деяких випадках прийняття рішень процес вибору альтернатив ґрунтується на комплексних кількісних та/або якісних критеріях і асоціаціях, що змінюються в залежності від характеру проблеми. Якщо вибір носить аспектний характер, то при проектуванні СППР необхідно розглянути можливість «виключення альтернативи за аспектом», тобто використовувати модель «лексикографічного» вибору. За допомогою цієї моделі атрибути оцінюються шляхом їхнього зваженого послідовного порівняння із граничними значеннями. Ця частина процесу проектування носить прямолінійний характер і може бути виконана шляхом спілкування з досвідченим експертом.

Якщо вибір ґрунтується на правилах, то при проектуванні необхідно передбачити створення моделі, що заснована на правилах, або експертній системі. Це модель, що генерує одну альтернативу або перелік можливих альтернатив в інтерактивному режимі роботи з ОПР. У процесі діалогу аналізуються значення атрибутів і додаткові дані, що задасть ОПР. Включення в систему моделі на основі продукційних правил вимагає використання інструментарію для керування базою знань.

Якщо вибір альтернатив ґрунтується на використанні УМАВ, то виконується додатковий аналіз. При цьому, якщо кожен атрибут вносить деякий постійний внесок у загальну якість альтернативи, то такі атрибути називають *лінійними*. Якщо внесок деякого атрибута не залежить від внеску інших атрибутів, то він називається незалежним. У випадку, коли всі атрибути лінійні і незалежні, то УМАВ-вибір називають *лінійно-адитивним*. Якщо в межах деякої комбінації атрибутів існує взаємодія, вони називаються взаємозалежними. Коли всі атрибути лінійні, але між деякими з них існує взаємодія, то вибір типу УМАВ називають *мультиплікативним-лінійно-мультиплікативним*.

При використанні у всіх ситуаціях всіма експертами (ОПР) тільки одного правила для об'єднання атрибутів базис УМАВ називають *фіксованим*. Якщо ж правило об'єднання атрибутів може змінюватися тим самим ОПР або змінюватися в залежності від ситуації, то базис УМАВ називають *адаптивним*.

Необхідно зазначити, що різні індивідууми (ОПР) мають різну схильність до ризику. Одні виявляють схильність до прийняття рішень з ризиком, інші намагаються уникати ситуацій з підвищеним ризиком, а треті не мають чутливості до ризику, тобто, нейтральні. Базис УМАВ називають *заснованим на ризику*, якщо ОПР ризикує стосовно себе або стосовно ресурсів, за які вона буде нести відповідальність в результаті ухвалення рішення, і цей ризик можна оцінити за допомогою деяких атрибутів оцінювання результатів. Навпаки, ризик вважається відсутнім,

якщо ОПР не вносить елементів ризику в прийняття рішень або в процес оцінювання результатів.

Тепер можна сформулювати правила вибору моделі оцінювання для ситуацій УМАВ. Якщо вибір характеризується як УМАВ і є лінійно-адитивним, то при проектуванні СППР необхідно синтезувати «адитивну утилітарну функцію корисності». Якщо ж ситуація характеризується як УМАВ і лінійно-мультиплікативна, то необхідно синтезувати «мультиплікативну мультиатрибутну функцію корисності» для аналізу альтернатив. У випадку коли вибір ґрунтується на УМАВ при відсутності ризику, але процес адаптивний, то необхідно створити оболонку для адаптивного оцінювання параметрів для мультиплікативної мультиатрибутної функції корисності. Така оболонка представляє собою, фактично, алгоритм для оцінювання параметрів моделі, що використовується для порівняльного аналізу альтернатив. Специфіка інших варіантів, наведених на рис. 3.2, очевидна з вищенаведеного аналізу попередніх випадків.

### **3.3 Вибір інструментарію для інформаційного менеджменту**

Інформація надходить до СППР не менше ніж в двох видах: дані, що характеризують значення конкретних атрибутів або факти стосовно реальної ситуації, і знання, що структурно і семантично описують попередній досвід і дають можливість екстраполювати нові ситуації. Якщо деякі дані характеризують ту частину проблеми, про яку ОПР має визначені знання, то говорять, що ці дані конкретизують знання.

Очевидно, що самі по собі дані без знання того, як їх інтерпретувати, змісту не мають. З іншого боку, знання саме по собі без конкретних даних можна характеризувати як «цікаве», але застосувати його неможливо. За допомогою цього визначення можна сформулювати дві різні проблеми інформаційного менеджменту, що зустрічаються при прийнятті рішень. Тобто ОПР може мати:

- потенційно корисні дані, але не мати досить знань для їхньої інтерпретації;
- потенційно корисні знання, але не мати конкретних даних, щоб застосувати ці знання.

Для багатьох ситуацій, зв'язаних із прийняттям рішень, характерна наявність однієї або обох цих проблем. Перша проблема є особливо характерною для систем реального часу, оскільки можливості ОПР щодо обробки даних обмежені. При обмеженому обсязі робочої пам'яті і порівняно довгому циклі роботи когнітивного процесора для ОПР може знадобитися досить довгий відрізок часу, щоб виконати аналіз даних і одержати корисну для подальшого розгляду інформацію. У таких випадках

розумову роботу ОПР необхідно підтримати *методикою (методом) менеджменту даних* [12].

Проблема іншого типу зв'язана з відсутністю необхідного навчання і досвіду ОПР. Тут відіграє також роль специфічна архітектура процесора обробки даних людського організму. Знання, отримані людиною, зберігаються в довгостроковій пам'яті і «читаються» (вибираються) за допомогою семантичних методів, тобто за змістом. Такий тип доступу до пам'яті характеризується високою швидкістю, але низькою надійністю. Люди часто не можуть згадати ту частину знання або даних, що терміново необхідна в конкретний момент часу. Ця проблема особливо гостра при роботі в режимі реального часу. Її вирішують за допомогою методів менеджменту знань. Правила вибору методу менеджменту даних наведені на рис. 3.3.

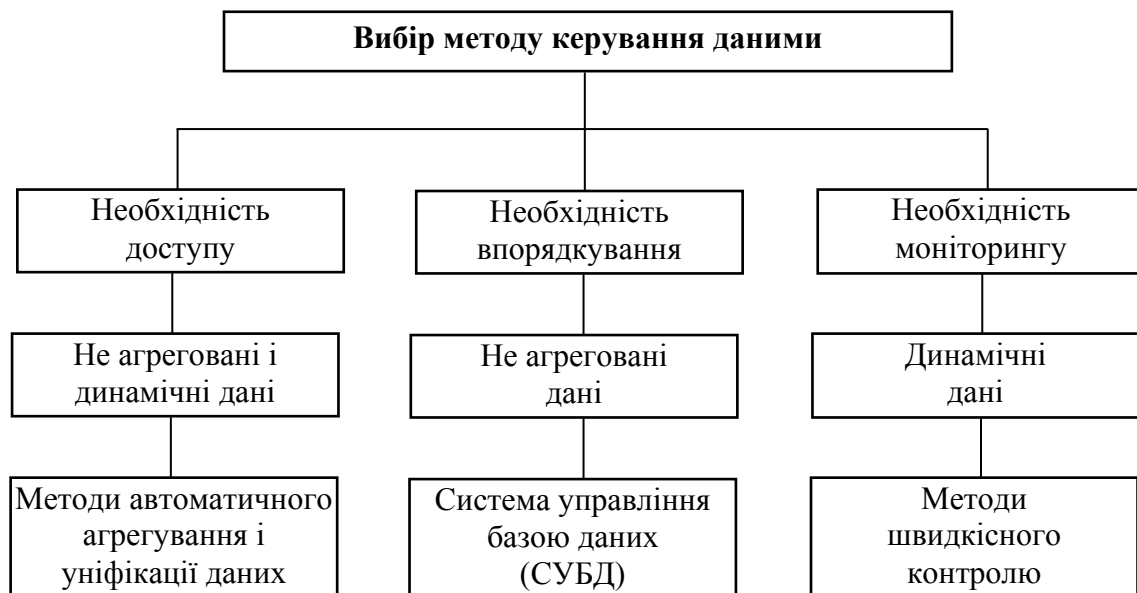


Рис. 3.3 Вибір методу керування даними

Оскільки необхідність керування структурами даних визначається зовнішніми умовами, то правила ґрунтуються на характеристиках інформаційного середовища ситуації з прийняття рішень. Якщо дані змінюються перед кожним сеансом прийняття рішень, то інформаційне середовище називають *динамічним* [49]. У протилежному випадку його називають *статичним*.

Окремий випадок менеджменту даних виникає у динамічному інформаційному середовищі, коли ОПР ставить вимогу висвітлити зміни значень множини даних, тобто ставиться вимога моніторингу. У таких випадках застосовують методи швидкісного контролю даних. Вони можуть

бути застосовані безпосередньо до агрегованих БД або просто до потоків (масивів) даних, що передаються по шинах або мережевих лініях зв'язку.

Інший тип моніторингу даних стосується інтеграції різнотипних масивів даних. Якщо дані надходять до ОПР у вигляді окремих незв'язаних фрагментів з різних масивів у різних формах, то такий формат називають не агрегованим, що призводить до значних труднощів з їх аналізом. Тому необхідно розробляти і впроваджувати в систему спеціальні форми агрегування (об'єднання) різнотипових даних. Як приклад, можна навести інтегрування даних у системах визначення координат рухомих об'єктів (або нерухомих об'єктів) за допомогою декількох джерел виміральної інформації. Такі системи складаються з висотоміра, локаційної станції для визначення азимута і кута місця і, можливо, додаткових супутникових способів визначення координат. Усі дані вимірів надходять у центральну станцію інтегрування й обробки даних, де приймається остаточне рішення стосовно визначення місця розташування об'єкта, що знаходиться під спостереженням.

Третя проблема моніторингу пов'язана із забезпеченням швидкого і гнучкого доступу до даних. Якщо дані знаходяться в неагрегованому форматі, а існує необхідність організації швидкого доступу до них, то необхідно скористатися системою управління базою даних (СУБД). Існує три загальних типи СУБД. Якщо дані необхідно організувати в ієрархічній формі, то СУБД повинна мати ієрархічну або реляційну форму. Коли виникає необхідність у створенні мережевої форми або асоціативної структури, то СУБД повинна ґрунтуватися на мережевому підході до її побудови. У загальному випадку мережеві структури можна реалізувати на основі реляційного підходу.

### **Контрольні задачі і запитання**

1. Опишіть процедуру вибору моделі процесу при проектуванні СППР.
2. Наведіть можливості вибору моделі для оцінювання результату роботи СППР.
3. Сформулюйте правила вибору моделі оцінювання для ситуацій утилітарного мультиатрибутного вибору.
4. Вкажіть варіанти методів керування даними та розкрийте особливості їх вибору.
5. Опишіть засоби моніторингу даних.

## РОЗДІЛ 4

### ПРОЕКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ СППР

#### 4.1 Основні підходи до проектування СППР

За категорією класифікації – концептуальна модель (схема) – існують такі підходи до проектування: інформаційний, підхід, що ґрунтується на знаннях, та інструментальний підхід.

#### Інформаційний підхід

З позицій інформаційного підходу СППР належать до класу інформаційних систем, основне призначення яких полягає в поліпшенні характеру діяльності управлінського персоналу підприємства (саме покращення характеру, а не у наданні потрібної інформації в певний час) за рахунок застосування засобів інформаційних технологій. У межах цього підходу запропоновано дві моделі СППР: „Спрага” та еволюціонуюча модель.

Основні компоненти СППР „Спрага”: інтерфейс “користувач – система”, база даних (БД) і база моделей. Інтерфейс “користувач – система” забезпечує зв’язок з кожною базою. Він включає програмні засоби для управління базою даних, управління базою моделей, управління і генеруванням діалогу і повинен забезпечити виконання таких функцій: керувати різними стилями ведення діалогу; змінювати стиль діалогу за бажанням користувача; представляти дані в різних формах і видах; надавати гнучку підтримку користувачеві.

Структурну схему СППР „Спрага” зображено на рис. 4.1.

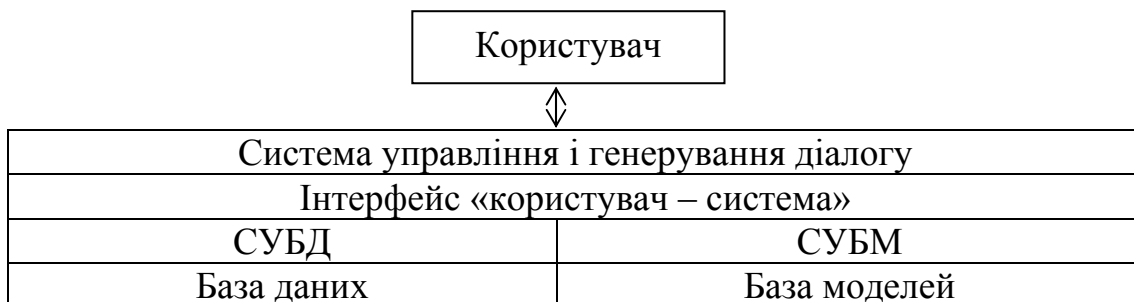


Рис. 4.1 Структурна схема СППР „Спрага”

Бази даних СППР включають як кількісну так і якісну інформацію, що надходить із різних джерел. Засоби створення і ведення БД повинні надавати такі можливості: об’єднувати різні джерела інформації,

використовуючи процедуру їх “добування” даних; представляти логічну структуру у термінах користувача; мати повний набір функцій управління даними.

База моделей повинна забезпечувати гнучкість моделювання, зокрема, за рахунок використання готових блоків моделей і підпрограм. Управління моделями дає такі можливості: каталогізувати та обслужити широкий спектр моделей, які підтримують всі рівні управління; легко і видно створювати нові моделі; пов’язувати моделі з відповідними базами даних.

Подальшим розвитком СППР „Спрага” є еволюціонуюча СППР. Крім інтерфейсу користувача, бази даних і бази моделей ця система включає базу текстів і базу правил, завдяки чому розширюються їх функціональні можливості. Інформаційна база СППР дає змогу використовувати як менш структуровані види інформації (тексти звичайною мовою), так і більш структуровану інформацію (правила представлення знань, евристичні процедури).

Структурна схема еволюціонуючої СППР зображена на рис. 4.2.



Рис. 4.2 Структурна схема еволюціонуючої СППР

### Підхід, заснований на знаннях

Одним із перспективних напрямів розвитку систем підтримки прийняття рішень є об’єднання технологій підтримки рішень і технології штучного інтелекту [12, 13, 39]. Проте у контексті класифікації СППР доцільно розглянути модель СППР, яка ґрунтується на знаннях.

Елементи штучного інтелекту, зокрема використання звичайної мови для спілкування з системою, методологія експертних систем, інженерія знань і комп’ютерних мов штучного інтелекту знайшла застосування у трьох базових компонентах СППР: БД і СУБД, база моделей і система управління базою моделей (СУБМ), інтерфейсі користувача. Але є концепції створення СППР, в яких система знань в СППР виступає як один з визначальних чинників. Відмінною особливістю СППР, що ґрунтуються на знаннях, є явне виділення нового аспекту підтримки рішень –



спроможність “розуміти” проблему, тобто здатність прийняти запит користувача, зібрати відповідну інформацію і підготувати звіт.

Структурну схему СППР, яка ґрунтується на знаннях, зображено на рис. 4.3. Ця система складається з трьох взаємодіючих частин: мовна система (МС); система знань (БД, СУБД, база знань (БЗ) і система управління базою знань (СУБЗ)), і системи обробки (розв’язання) проблеми (проблемний процесор).

Мовна система забезпечує зв’язок між користувачем і всіма компонентами комп’ютерної системи. За її допомогою користувач формулює проблему і керує процесом її рішення, використовуючи запропоновані мовною системою синтаксичні та семантичні засоби. Система знань вміщує інформацію стосовно предметної області. Типи цих систем відрізняються за характером представлення в них даних і використаними моделями формалізації знань (ієрархічні структури, графи, семантичні мережі, фрейми, обчислення предикатів тощо).

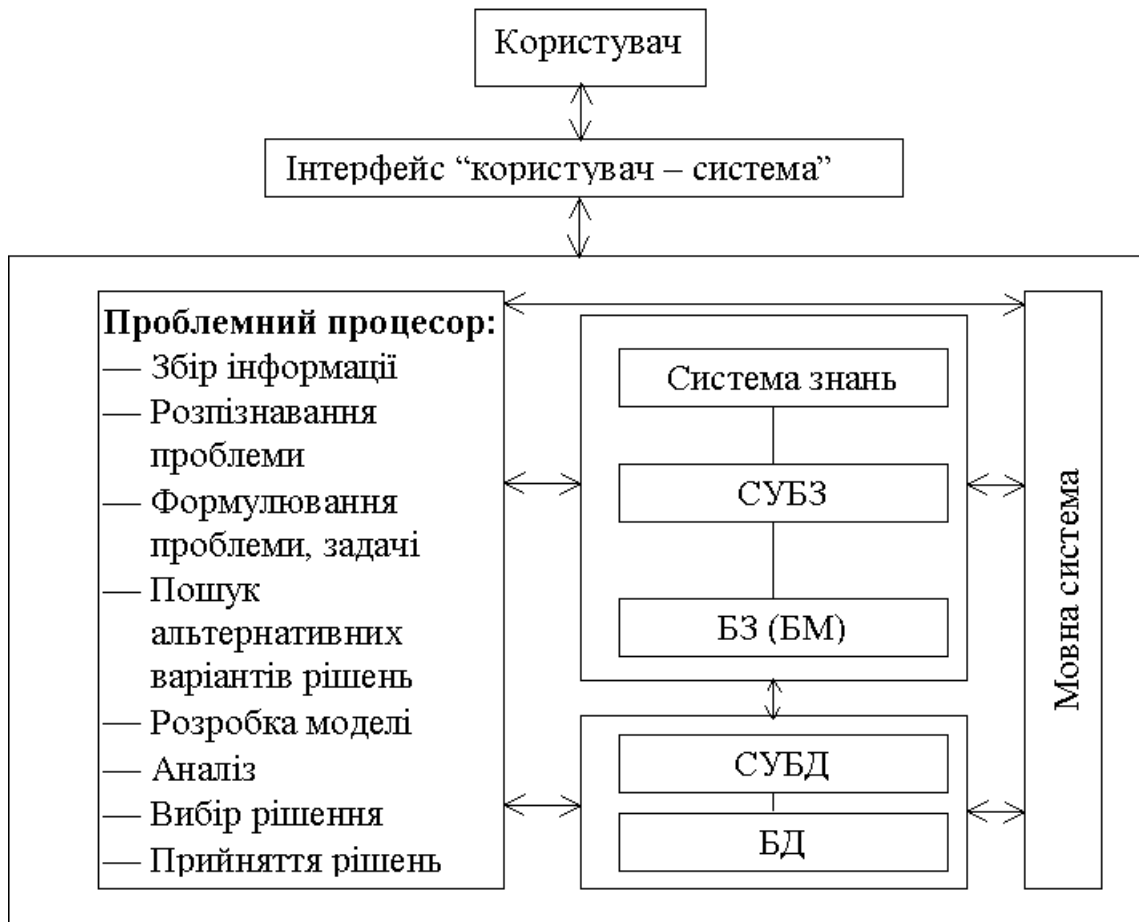


Рис. 4.3 Структурна схема СППР, яка ґрунтується на знаннях

Система обробки задач – це механізм, який пов’язує мовну систему і систему знань. Цей проблемний процесор забезпечує збір інформації, формулювання моделі, її аналіз, тощо. Він сприймає опис проблеми, виконаний відповідно до синтаксису мовної системи, і використовує знання згідно з прийнятими у системі знань правилами з метою створення інформації, необхідної для підтримки рішень. Проблемний процесор – це динамічна компонента СППР, що відображає (моделює) поведінку особи, яка вирішує проблему. Тому він повинен мати як мінімум, можливість інтегрувати інформацію, що надходить від користувача через мовну систему і систему знань, і, використовуючи математичні моделі, перетворювати формулювання проблеми у докладні процедури, виконання яких дає відповідь (розв’язок задачі). У складніших випадках проблемний процесор повинен вміти формулювати моделі, необхідні для вирішення поставленої проблеми.

### **Інструментальний підхід**

Підвищена увага представників інформатики та економічної практики до методів розробки і впровадження СППР зумовила необхідність розробки програмних інструментів для створення СППР, що, в свою чергу, вплинуло на появу нової концепції класифікації СППР – інструментального підходу, розробленої Спрагом. В залежності від специфіки розв’язуваних задач і використовуваних технологічних засобів процесу створення систем можна виділити три рівні СППР:

- спеціалізовані (прикладні) СППР;
- генератори СППР ( СППР-генератори);
- інструментарій СППР ( СППР-інструментарій).

Спеціалізовані СППР призначені для використання окремим користувачем або групами користувачів. Вони дають змогу індивідуальному ОПР чи колективу ОПР вирішувати специфічні проблеми у конкретних ситуаціях.

СППР-генератор – це пакет взаємопов’язаних програмних засобів (пошуку, переробки й видачі даних, моделювання тощо), який дає змогу легко і швидко створювати спеціалізовану СППР. Прикладом може бути інформаційна керуюча система, яка складається з різноманітних елементів: пошуку інформації, підготовки звітів, мови моделювання, а також множини засобів для виконання фінансових та статистичних аналізів. Оскільки генератори СППР можуть використовуватись і не програмістами, для створення систем підтримки прийняття рішень в області планування й управління розроблено чимало СППР-генераторів: CUFFS88, EXPRESS, FAME та ін.

Концептуальна структура СППР-генератора, яка відображає точку

зору користувача, включає п'ять компонент: управління інтерфейсом користувача, управління представленнями даних і результатів, управління аналізом, системне управління, управління даними.

Управління інтерфейсом користувача повинне забезпечувати реалізацію трьох основних типів інтерфейсу: меню, мова команд, звичайна мова запитань і відповідей.

Управління представленнями повинне підтримувати різноаспектні образи користувача стосовно своєї проблеми, яку потрібно вирішувати. Ці представлення можуть виражатися у вигляді таблиць, графіків або командних процедур.

Управління аналізом даних зводиться до ведення бази моделей. У разі маніпулювання даними при математичному моделюванні множини інструкцій можна подати як підпрограму аналізу. СУБД повинна забезпечувати доповнення бази моделей за рахунок додаткових засобів аналізу. Системний адміністратор забезпечує координацію дій користувачів, а також системного тренажера, що використовується для підготовки користувачів.

Управління даними реалізується за допомогою СУБД, яка повинна містити засоби ведення словника даних, що дасть змогу створити на цій основі інші словники, наприклад, графічний словник чи словник моделей.

До прототипу описаного генератора можна зарахувати систему REGIMES, орієнтовану на персональні комп'ютери. Цей генератор складається з таких компонент: командний процесор, діалоговий процесор, процесор представлення результатів, підсистема управління регресійним аналізом, а також – три словники.

СППР-інструментарій надає в розпорядження проєктантів СППР потужні засоби, в тому числі нові мови спеціалізованої спрямованості, удосконалені операційні системи, засоби обміну інформацією, проєкції кольорових графічних образів та ін. Тому вони можуть використовуватись для створення як спеціалізованих СППР, так і для генераторів СППР.

## **4.2 Типи архітектур спеціалізованих СППР**

### **Текстово-орієнтовані СППР**

Такі системи створювались на початку 70-х років і містять в собі:

- мовну систему (МС), що забезпечує функції взаємодії користувача з системою;
- базу знань та даних (БЗД), яка складається з текстових файлів, що представляють собою інформацію для особи, яка приймає рішення (ОПР); це так звана електронна документація;
- систему обробки даних та генерування результатів (СОДГР), яка виконує різноманітні маніпуляції над текстовою документацією і

включає програмне забезпечення (ПЗ), що полегшує користувачеві складання запитів;

- систему представлення результатів (СПР), яка складає всі можливі формати представлення текстової, табличної і графічної інформації та повідомлення, які полегшують користувачеві спілкування з СППР.

**Приклад.** Текстова СППР (рис. 4.4) для інженера технолога. Якщо необхідно розпочати виробництво технічно складної деталі або вузла, то при цьому виникає необхідність прийняти множину рішень стосовно таких факторів:

- які параметри повинен мати новий продукт?
- скільки буде коштувати його виробництво?
- які інструменти, станки і т.д. використовувати?
- яка площа необхідна для обладнання?
- яку, звідкіля і в якій кількості замовити сировину?
- які характеристики має подібний продукт конкурента?
- які проблеми необхідно врахувати стосовно охорони праці, набору додаткових робітників, обслуговування нової техніки?
- як організувати збут продукції?
- на який об'єм продажу і прибутку можна розраховувати.



Рис. 4.4 Структура текстової СППР

Ще одна властивість текстової СППР – можливість гіпертекстової підтримки. Гіпертекст встановлює зв'язок між знаннями, які містяться в різних файлах тексту. При цьому кожний фрагмент тексту пов'язується з іншими фрагментами, які концептуально з ними пов'язані.

Наприклад, є фрагмент, де йде мова про потенційного конкурента. Цей фрагмент зв'язується з подібними фрагментами, де йде мова про інших конкурентів.

### СППР, які орієнтовані на використання бази даних

Ще один окремий випадок СППР. Найбільш поширені – це реляційні бази даних, тобто в цьому випадку йде обробка строго структурованих знань у вигляді числових і описових даних (рис. 4.5).



Рис. 4.5 Структура СППР на основі БД

В такій системі СОДГР включає три типи програмного забезпечення (ПЗ):

- ПЗ для СУБД;
- інтерактивне ПЗ для обробки запитів;
- спеціальне ПЗ, яке створюється для задоволення потреб користувача (включає, як правило, деяку логіку стосовно аналізу даних і формування відповідей на запити, а також необхідні обчислення: статистичні розрахунки, оцінювання параметрів моделей і прогнозів, порівняння отриманих результатів).

## СППР, які орієнтовані на використання електронних таблиць (ЕТ типу Excel)

При використанні технології на основі електронних таблиць для управління знаннями користувач СППР не тільки може створити, проглянути і модифікувати процедурні знання в БЗД, але може дати запит СОДГР виконати команди, які там містяться.

Такі СППР мають такі характеристики:

- БЗД містить файли з таблицями, які наповнені описовими і процедурними знаннями.
- СОДГР може виконувати алгоритмічні процедури, тобто аналіз типу “що буде, якщо ...”.

Архітектура СППР на основі ЕТ зображена на рис. 4.6. Формули, які містяться в таблиці, представляють собою основу процедурних знань, які і є командами для СОДГР. Такі СППР, як правило, призначені для виконання аналізу “що буде, якщо ...” для того, щоб побачити і порівняти результати дій над вмістом таблиць. Це засіб для прискореного порівняння альтернатив.

Крім процедурних знань (формули у комірках) і описових знань (числа у комірках), таблиця може містити прості знання стосовно представлення результатів, а також лінгвістичні знання.

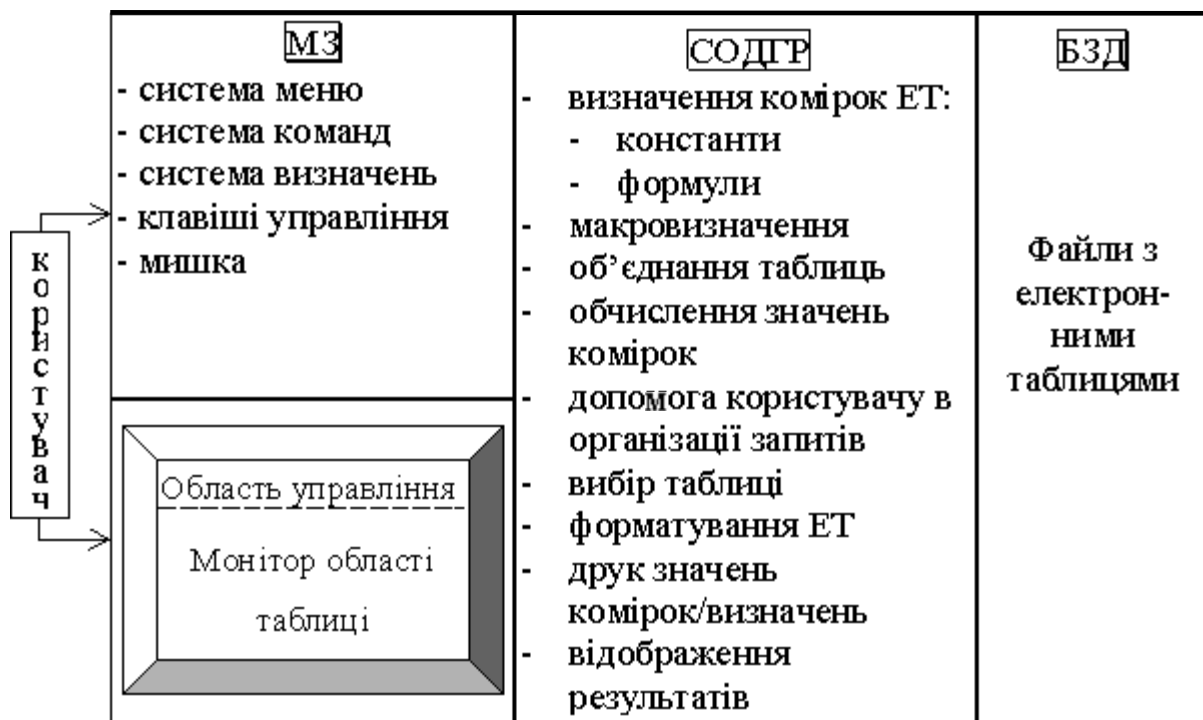


Рис. 4.6 Архітектура СППР на основі ЕТ

### СППР на основі алгоритмічних процедур для розв'язання задач

Це може бути, наприклад, СППР для розв'язання задачі оптимізації інвестицій, або максимізації прибутку для конкретного виду виробництва, оптимального розміщення централізованих складів для торгової мережі і т. ін. Як правило, СППР такого типу містить множину алгоритмів для розв'язання вибраного класу задач. Набори алгоритмів для розв'язання конкретних задач фокусуються на задачах таких класів:

- аналіз фінансово-економічних процесів;
- прогнозування процесів довільної природи;
- планування (оперативне, тактичне і стратегічне);
- статистичний аналіз даних в різних галузях;
- розв'язування статистичних і динамічних оптимізаційних задач.

Існує два основних підходи до використання обчислювальних алгоритмів в СППР: (1) фіксований; (2) гнучкий.



Рис. 4.7 Структура СППР з фіксованим використанням алгоритмів

При фіксованому підході алгоритми є частиною СОДГР, а це означає, що до СППР не можна легко додати (видалити) нові алгоритми або модифікувати її в цілому. При гнучкому підході можна легко додавати, видаляти, модифікувати і об'єднувати множину алгоритмів у процесі експлуатації СППР завдяки модульній структурі системи.

При цьому БЗ може містити дані, постановки задач, формати звітів, правила прийняття рішень з метою координації виконання алгоритмічних модулів. Розглянемо більш докладно систему з фіксованим використанням алгоритмів. Структура такої системи наведена вище на рис. 4.7.

Структура гнучкої СППР на основі алгоритмічних процедур наведена на рис. 4.8.



Рис. 4.8 Структура гнучкої СППР на основі алгоритмічних процедур

Відмінність гнучкої системи від жорсткої полягає у тому, що БЗ містить алгоритмічні модулі, які можна комбінувати в необхідній послідовності та запускати на виконання. Крім того, гнучка система передбачає можливість формування нових та модифікації існуючих критеріїв аналізу якості розв'язку задачі.



### СППР на основі правил

В СППР на основі правил (рис. 4.9) в БЗД зберігаються правила та описи станів процесу, а СОДГР містить правила формування висновку для формування логічного висновку на основі правил типу [13]:

If < описання ситуації >;  
 Then < які дії виконати >;  
 Because < вказівка причин дій >.

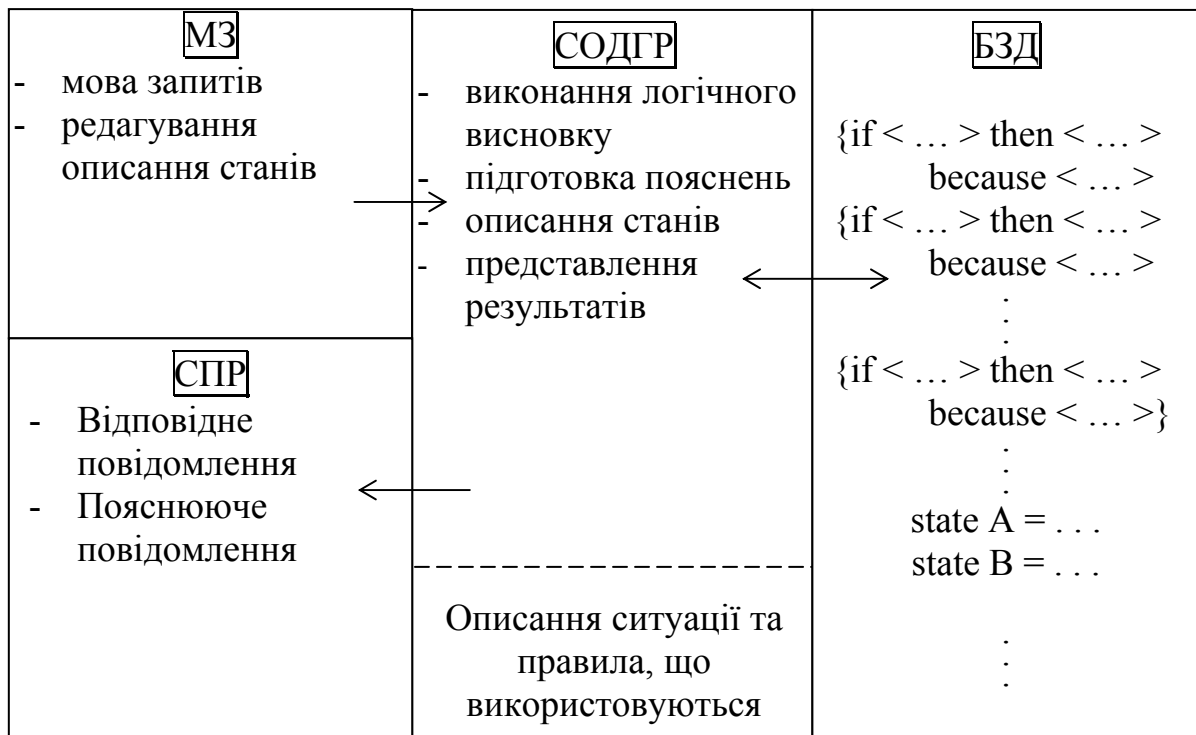


Рис. 4.9 Структура СППР на основі правил

Кожний набір правил в БЗ створюється для того, щоб отримати рекомендації стосовно розв'язання конкретної проблеми. Наприклад, один набір правил може стосуватися того, як уникнути випуску продукції з дефектами, а інший – надає пораду як краще організувати продаж готової продукції.

Описання поточного стану може стосуватися:

- поточного рівня технології на підприємстві;
- розміщення складів для розповсюдження товару на території України;
- кількості та кваліфікації спеціалістів на підприємстві.

Окрім запитів про допомогу (Help) та запитів щодо редагування опису станів, користувач СППР на основі правил може давати два типи запитів стосовно підтримки прийняття рішень:

- запити щодо рекомендацій (порад);
- запити щодо пояснення фактів.

Наприклад, користувач може дати запит відносно можливих причин відмови механічного вузла, а потім дати запит щодо докладного пояснення старіння або виробленості металевих деталей.

## Гібридні СППР

Вище ми розглянули окремо такі СППР: текстові, на основі БД, на основі електронних таблиць, на основі алгоритмічних процедур та на основі правил. Якщо об'єднати кілька типів СППР в одну, то отримаємо гібридну систему. Часто об'єднують системи на основі БД та алгоритмічних процедур. Структура такої СППР наведена на рис. 4.10.

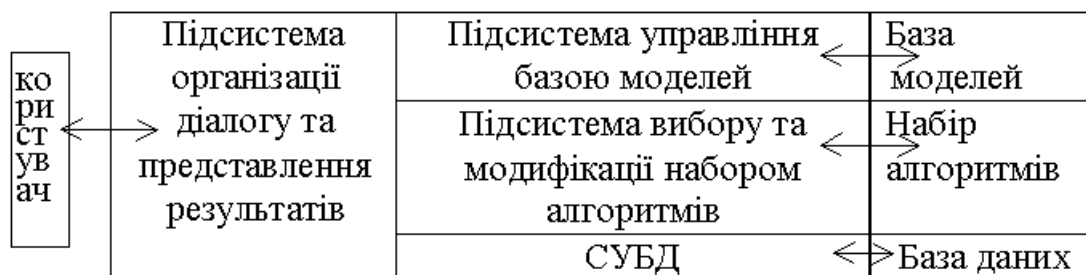


Рис. 4.10 Структура гібридної СППР

Очевидно, що такі системи є функціонально універсальнішими і дають більше можливостей з точки зору запитів і отримуваних результатів. При цьому СППР може сама приймати рішення про те, який метод обробки знань вибирати.

Можливий запит: *“Показати середній приріст промислового виробництва для південних районів України”*.

Розглянемо загальну архітектуру гібридної СППР (рис. 4.11).

За таким типом побудована СППР при управлінні повітряним рухом у великих аеропортах. Вона має такі функції:

- чисто довідкові;
- розрахунок оптимальної траєкторії польоту в аварійних ситуаціях;
- автоматизований гнучкий розклад посадок і зльотів;
- СППР як радник в нештатних ситуаціях;
- стан парку літаків, приписаних до аеропорту;
- довідки стосовно кадрів (персоналу);
- довідки щодо матеріально-енергетичних ресурсів;
- інформація про нештатні ситуації в минулому;
- інформація щодо прогнозу погоди.

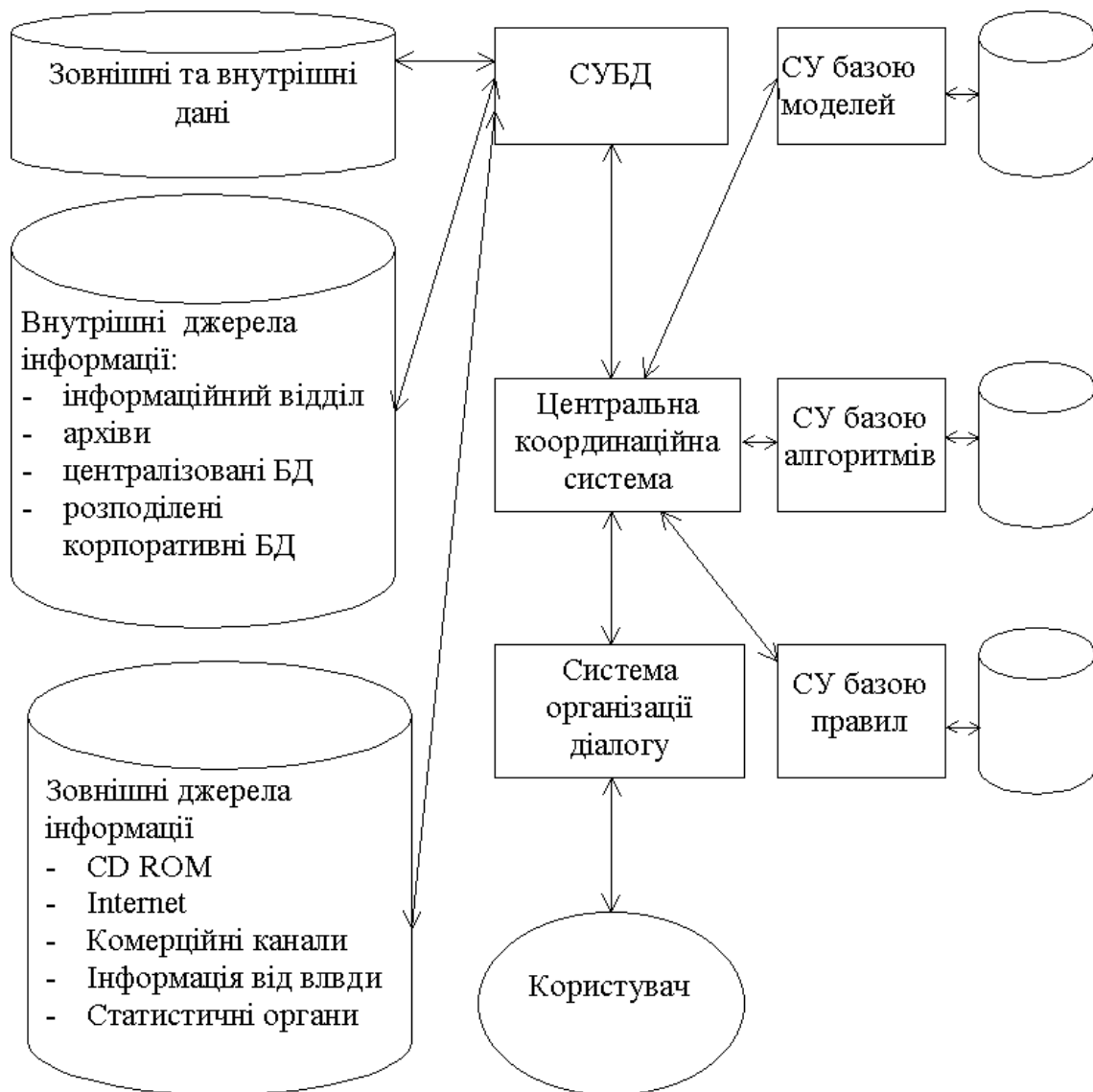


Рис. 4.11 Узагальнена архітектура гібридної СППР

### 4.3 Функції системи обробки даних та генерування результатів

Розробка системи обробки даних та генерування результатів (СОДГР) є головною системою (ядром) СППР з точки зору її основного призначення – підтримки прийняття рішень при розв’язанні задач в обраній прикладній області. Розглянемо функції СОДГР на прикладі СППР при прогнозуванні динаміки часових рядів.

СОДГР приймає коректні запити від мовної системи (МС) і виконує такі дії (які задаються запитом):

- поповнює (при необхідності) базу даних і знань;
- вибирає алгоритм (алгоритми) обробки даних з бази даних і знань;

- застосовує вибраний алгоритм до даних, що містяться в базі даних, з метою побудови математичної моделі, обчислення прогнозу чи керуючих дій або виконання інших функцій СППР;
- використовує критерії адекватності моделі з метою визначення ступеня адекватності побудованої моделі;
- застосовує критерії якості прогнозу (або критерії якості керування) для визначення кращого прогнозованого значення або кращої траєкторії оптимального керування вибраним процесом;
- при необхідності реалізує функцію ретроспективного аналізу результатів з метою порівняння останнього отриманого результату (прогнозування, керування, планування і т.ін.) з результатами, які були отримані раніше; таке порівняння дає змогу визначити існування подібних ситуацій в минулому і теперішньому часі;
- передає отримані результати обчислень в систему представлення результатів, яка представляє отриманий результат у формі, заданій користувачем;
- зберігає, при необхідності, частину отриманих результатів в короткостроковій пам'яті для подальшого використання в поточній сесії використання СППР.

СППР, яка проектується для підтримки прийняття рішень в іншій прикладній області, буде мати інші функції, хоча досить часто СППР мають ряд подібних функцій. Наприклад, попередня обробка даних, побудова математичних та статистичних моделей, визначення їх адекватності, перетворення до стандартизованих форм (простір станів), знаходження розв'язків відповідних рівнянь, отримання функцій прогнозування і т. ін.

#### **4.4 Вибір та описання алгоритмів, на яких базується СОДГР**

При проектуванні СОДГР необхідно вибрати та описати всі обчислювальні алгоритми та алгоритми прийому/передачі даних, які будуть використовуватись в процесі підтримки прийняття рішень.

Якщо СППР *призначена для прогнозування*, то це будуть такі алгоритми:

- алгоритми попередньої обробки даних (логарифмування, нормування, фільтрація, заповнення пропусків, обробка великих імпульсних значень);
- оцінювання параметрів (коефіцієнтів) математичних та/або статистичних моделей;
- алгоритми обчислення статистичних параметрів, які характеризують якість (адекватність) побудованої моделі;

- алгоритми обчислення оцінок прогнозованих значень (на основі рівнянь АР, АРКС, АРІКС, АРУГ, УАРУГ множинної регресії; за допомогою МГВА; за допомогою фільтра Калмана; за методом подібних траєкторій; методами експоненціального згладжування; нечітких множин; нейронних мереж і т.ін.);
- алгоритми обчислення статистичних показників якості прогнозів;
- алгоритм(и) (або правила) вибору кращої моделі та кращого прогнозу на основі розрахованих показників адекватності моделі та якості прогнозу;
- алгоритми формування бази результатів для проведення ретроспективного аналізу;
- алгоритми поповнення бази даних і знань.

Якщо СППР *призначена для обчислення (прогнозування) оптимальних траєкторій* розвитку того чи іншого процесу (тобто, оптимального керування процесом), то вона повинна містити такі алгоритми:

- алгоритми попередньої обробки даних (логарифмування, нормування, фільтрація, заповнення пропусків, обробка великих імпульсних значень);
- оцінювання параметрів (коефіцієнтів) математичних та/або статистичних моделей;
- алгоритми обчислення статистичних параметрів, які характеризують якість (адекватність) побудованої моделі;
- алгоритм перетворення побудованої моделі в стандартизовану форму простору станів;
- алгоритми обчислення оптимальних траєкторій розвитку процесу, тобто траєкторій керуючих дій (сигналів) і траєкторій для вихідних змінних (змінних стану) процесу; при цьому постановка задачі оптимального керування вимагає таких знань: *математичну модель процесу, початкові умови, обмеження на змінні та критерій оптимальності*;
- алгоритми обчислення показників якості процесу керування (прогнозування оптимальних траєкторій);
- алгоритм(и) (правила) вибору кращої траєкторії з множини знайдених.

Очевидно, що проектування СППР іншого типу потребує використання алгоритмів іншого функціонального призначення. Наприклад, якщо проектується СППР текстового типу, то СОДГР повинна містити алгоритми пошуку текстової інформації в базі знань, сортування у відповідності до запиту, забезпечення гіпертекстової підтримки, формування звітів і т.ін.

#### 4.5 Дані і знання, які можуть використовуватись в СППР

При вивченні інформаційних СППР традиційно виникає питання: *що таке дані і знання, в чому полягає різниця між ними?* У спеціальній літературі можна зустріти різні означення, які принципово не відрізняються між собою. Одним із означень даних є таке [12, 41]:

***Дані*** – це окремі факти, які характеризують об'єкти, процеси і явища предметної області та їх властивості.

В процесі комп'ютерної обробки дані трансформуються і умовно проходять наступні етапи:

D1 – дані як результат вимірів та спостережень;

D2 – дані на матеріальних носіях інформації (таблиці, протоколи, довідники);

D3 – моделі (структури) даних у вигляді діаграм, графіків, функцій;

D4 – дані у комп'ютері, представлені на мові опису даних;

D5 – бази даних на машинних носіях інформації.

Знання можна розділити на теоретичні і практичні (емпіричні). Емпіричні знання ґрунтуються на даних, отриманих емпіричним шляхом. Вони представляють собою результат розумової діяльності людини, спрямованої на узагальнення його досвіду, набутого в результаті практичної діяльності [12].

***Знання*** – це закономірності предметної області (принципи, зв'язки, закони, закономірності), отримані в результаті теоретичної і практичної діяльності, а також професійного досвіду, які дозволяють робити постановки задач і розв'язувати їх в даній конкретній області.

В процесі створення та обробки знання трансформуються аналогічно до даних:

Z1 – знання в пам'яті людини як результат осмислення фактів, явищ, процесів та їх взаємодії;

Z2 – зберігання знань на матеріальних носіях: підручники, посібники, монографії, довідники;

Z3 – *поле знань* – умовне описання основних об'єктів предметної області, їх атрибутів та закономірностей функціонування, що зв'язують їх;

Z4 – кодування і зберігання знань на мовах представлення знань (продукційні мови, семантичні мережі, фрейми);

Z5 – база знань на машинних носіях інформації.

Часто використовують ще таке означення знань:

**Знання** – це хорошо структуровані дані, або дані щодо даних, або метадані.

## Моделі представлення знань

Існують десятки моделей (або мов) представлення знань для різних предметних галузей. Однак більшість з них можна звести до таких класів:

- продукційні моделі;
- семантичні мережі;
- фрейми;
- формальні логічні моделі;
- процедурні моделі.

### Продукційні моделі.

*Продукційна модель* – це модель, що ґрунтується на правилах і дозволяє представити знання у вигляді правил типу:

**“Якщо < умова > то < дія > .**

“Умова” – це деяке речення-зразок, за допомогою якого виконується пошук в базі знань, а “дія” – це той наслідок або дія, яку необхідно виконати в результаті успішного результату пошуку (дії можуть бути проміжними і виступати надалі як умови), або ж дії можуть бути термінальними чи цільовими, що завершують роботу продукційної системи.

Висновок на основі такої бази знань може бути *прямим* (від даних до пошуку мети) або *зворотним* (від мети до її підтвердження – до даних).

Дані – це початкові факти, що зберігаються в базі фактів (даних), і використовуються машиною формування висновку в процесі перебору правил з продукційної бази знань.

Продукційна модель даних характеризується *наглядністю, високою модульністю, простотою внесення доповнень та змін, а також чіткістю механізму формування логічного висновку.*

### Семантичні мережі

Термін *семантичний* означає *смісловий*, а *семантика* – це наука, яка

встановлює відношення між символами і об'єктами, які вони позначають; тобто, це наука, яка визначає смисл знаків (символів).

**Семантична мережа** – це орієнтований граф, вершинами якого є поняття, а дуги – відношення між ними.

Поняття – це, як правило, абстрактні або конкретні об'єкти, а *відношення* – це зв'язки таких типів: “це” (“a kind of” = АКО, “is”), “складає частину” (“has a part”), “належить”, “любить”.

Характерною особливістю семантичних мереж є обов'язкова наявність таких трьох типів відношень:

- клас – *елемент класу* (дерево – береза);
- властивість – значення (колір – синій);
- приклад елемента класу (роза – чайна).

Можна назвати декілька напрямів класифікації семантичних мереж, зв'язаних з типами відношень між поняттями.

За числом типів відношень:

- однорідні (з єдиним типом відношень);
- неоднорідні (з різними типами відношень);

За типами відношень:

- бінарні (в яких відношення зв'язують два об'єкти);
- *N*-арні (в яких є спеціальні відношення, що зв'язують більше двох понять);

Найчастіше у семантичних мережах використовують такі відношення:

- зв'язок типу “*частина – ціле*” (“клас – підклас”, “елемент – множина” і т.ін.);
- *функціональні* зв'язки (визначаються, як правило, дієсловами “впливає”, “створює”, ...);
- *кількісні* зв'язки (більше, менше, дорівнює, ...);
- *просторові* зв'язки (далеко, близько, за, під, над, ...);
- *часові* зв'язки (раніше, пізніше, на протязі, ...);
- *атрибутивні* зв'язки (мати властивість, мати значення);
- *логічні* зв'язки (І, АБО, НІ);
- *лінгвістичні* зв'язки та інші.

Проблема пошуку розв'язку у базі знань типу семантичної мережі зводиться до задачі пошуку фрагмента мережі, який відповідає деякій підмережі, що відображає поставлений запит до бази. Приклад семантичної мережі показано на рис. 4.12.



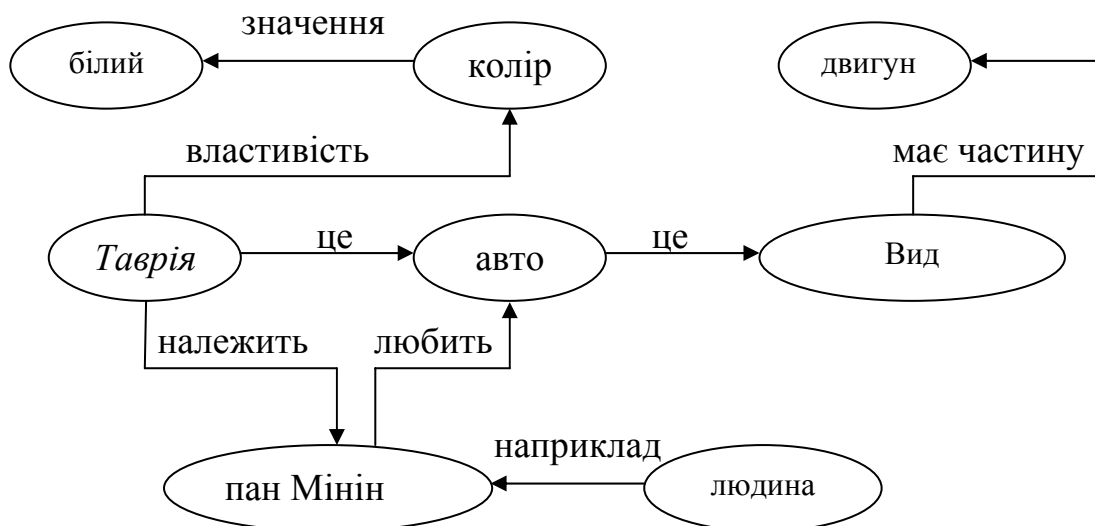


Рис. 4.12 Приклад семантичної мережі

Вершинами тут виступають поняття “людина”, “пан Мінін”, “Таврія”, “автомобіль”, “вид транспорту” і “двигун”. Така модель запропонована американським психологом Квінлліаном. Перевагою даної моделі є те, що вона краще інших відповідає сучасним уявленням про організацію довгострокової пам’яті людини. Недолік моделі полягає у складності організації процедури пошуку висновку на семантичній мережі. Для реалізації семантичних мереж створено спеціальні мови: NET, SIMER+MIR та інші.

Широко відомі експертні системи, які використовують семантичні мережі як мову представлення знань – PROSPECTOR, CASNET, TORUS.

### Фрейми

Термін *фрейм* (від англійського *frame* – каркас, рамка) запропонований в 70-х роках 20-го століття для позначення структури знань, пов’язаних із просторовими сценами. Так само як і семантична мережа, ця модель має психологічне обґрунтування.

**Фрейм** – це абстрактний образ для представлення деякого стереотипу мислення.

В психології і філософії відоме поняття абстрактного образу. Наприклад, коли промовляють вголос слово “кімната”, воно породжує образ кімнати – “приміщення з чотирьох стінами, підлогою, стелею, вікнами та дверями, площею 12-20 квадратних метрів”. З цього опису не можна нічого викинути. Так, якщо викинути вікна, то вже буде не кімната,

а комора. Однак, в цьому опису є “отвори” (або “слоти” – *slots*) – це незаповнені значення деяких атрибутів, наприклад, кількість вікон, колір стін, висота стелі, покриття підлоги та інші.

В теорії фреймів такий образ кімнати називають фреймом кімнати. Фреймом називають, також, формалізовану модель для відображення образу.

Розрізняють *фрейми-зразки* або *прототипи*, які зберігаються у базі знань, і *фрейми-екземпляри*, які створюють для відображення реальних ситуацій на основі фактичних даних. Модель фрейма є досить універсальною, оскільки вона дає можливість відобразити все розмаїття знань про світ через такі елементи:

- *фрейми-структури*, що використовуються для позначення об’єктів та понять (вексель, позика, застава);
- *фрейми-ролі* (менеджер, касир, клієнт);
- *фрейми-сценарії* (банкротство, збори акціонерів, святкування іменин);
- *фрейми-ситуації* (тривога, аварія, робочий режим машини) та інші.

Традиційно структура фрейма може бути представлена у вигляді переліку його властивостей таким чином:

(ІМ’Я ФРЕЙМА:

(ім’я 1-го слота: значення 1-го слота),

(ім’я 2-го слота: значення 2-го слота),

...

(ім’я *N*-го слота: значення *N*-го слота)).

Таку ж структуру можна представити у вигляді таблиці з двома додатковими стовпчиками:

Таблиця 4.1

### Структура фрейма

Ім’я фрейма			
Ім’я слота	Значення слота	Спосіб отримання значення	Приєднана процедура

Додаткові стовпчики таблиці призначені для опису способу отримання слотом його значення та можливого приєднання до слота спеціальних процедур, що допускається теорією фреймів. Значенням слота може бути ім’я іншого фрейма, так утворюються мережі фреймів.

Є декілька способів отримання слотом значень у *фреймі-екземплярі*:

- стандартизоване значення (default);
- через успадкування властивостей від фрейма, вказаного в слоті ЦЕ (a kind of = АКО = ЦЕ);
- за формулою, вказаною у слоті;
- через приєднану процедуру;
- явно через діалог з користувачем;
- з бази даних.

Важливою властивістю фреймів є переймання з теорії семантичних мереж так званого *успадкування властивостей*. В фреймах і в семантичних мережах успадкування реалізується через зв'язки типу АКО. Слот АКО вказує на фрейм більш високого рівня ієрархії, звідки неявно успадковуються, тобто переносяться, значення аналогічних слотів.

### **Формальні логічні моделі**

Традиційно у представленні знань виділяють формальні логічні моделі, які ґрунтуються на класичному численні предикатів 1-го порядку, коли предметна область або задача описується у вигляді аксіом. Однак, числення предикатів 1-го порядку на практиці застосовується надзвичайно рідко внаслідок того, що воно висуває занадто високі вимоги до предметної області і накладає на неї сильні обмеження.

### **Процедурні моделі**

Процедурні моделі знань – це *алгоритми, функції, формули та алгебраїчні вирази*, які використовуються у процесі побудови математичних моделей, визначення адекватності, обчислення прогнозів та критеріїв, задавання обмежень різного типу і т.ін. Наприклад, база знань може містити десятки різних алгоритмів обчислення параметрів моделей, які використовуються в залежності від конкретного запиту користувача.

#### **4.6 Функції системи представлення результатів, форми представлення**

Система представлення результатів (СПР) приймає результати обробки даних та знань від системи обробки даних та генерації результатів і надає їх користувачу в зручній для сприйняття формі.

Можливі форми представлення результатів роботи СОДГР залежать від конкретної прикладної галузі та характеру задач, що розв'язуються за допомогою СПР. Однак можна виділити декілька відносно універсальних форм представлення результатів, до яких відносяться такі:

- гістограми, графічне зображення функцій розподілу ймовірностей отриманих величин;

- графічне представлення результатів у вигляді двовимірних та тривимірних графіків;
- застосування ліній різних типів для різних змінних на графіках;
- одночасне зображення поточних результатів роботи СППР та результатів, отриманих раніше – *ретроспективне порівняння* результатів;
- представлення результатів у вигляді таблиць зручного формату;
- поєднання тексту з цифровим матеріалом, таблицями і графіками;
- кругові та стовпчикові діаграми;
- тривимірні стовпчикові діаграми;
- використання можливостей гортання сторінок (*paging = пейджинг*) та переміщення змісту екрану на один рядок за допомогою функції *скролінг (scrolling)*.

В проєкті СППР необхідно описати окремо спеціальні способи представлення інформації, які сприяють прискоренню та поглибленню її сприйняття. Деякі з них розглянемо нижче.

### **Контрольні задачі і запитання**

1. Опишіть існуючі підходи до проєктування концептуальної моделі СППР.
2. Поясніть особливості інформаційного підходу та підходу основанийого на знаннях до проєктування СППР.
3. Надайте класифікацію типів архітектури спеціалізованих СППР.
4. Побудуйте узагальнену архітектуру гібридної СППР; наведіть приклад такої системи.
5. Сформулюйте функції системи обробки даних та генерування результатів.
6. Вкажіть варіанти вибору обчислювальних процедур для різних видів СППР.
7. Дайте визначення поняттям *дані* та *знання*. Поясніть, у чому полягають відмінності між ними; наведіть приклади знань та способи їх зберігання у базі даних і знань.
8. Наведіть типи моделей представлення знань.
9. Сформулюйте функції системи представлення результатів.
10. Надайте опис основних можливих форм представлення результатів функціонування інформаційної СППР.

## РОЗДІЛ 5

### ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕРФЕЙСУ КОРИСТУВАЧА

#### 5.1 Вимоги до інтерфейсів інформаційних систем

Оскільки якість процесу інтерактивної взаємодії користувача із системою (швидкість, зручність, низький рівень втоми) пов'язана з такими психологічними характеристиками людини як короткострокова та середньострокова пам'ять, час реакції, можливості сприйняття візуальної інформації, то при розробці інтерфейсу необхідно пам'ятати, що [17, 46]:

- інтерфейс – *сама важлива частина СППР* з точки зору її реклами з метою продажу і з точки зору безпосереднього користувача системи, який може працювати з нею по декілька годин поспіль;
- інтерфейс впливає на характер рішень, які приймає ОПР, він може *прискорювати* час прийняття рішення та *покращувати* або *погіршувати* їх якість;
- який саме конкретний тип інтерфейсу **можна** створити за допомогою вибраних інструментальних засобів і які принципові можливості може надати інструментальна система.

Основними властивостями, яким повинні задовольняти інтерфейси, є такі [46]:

- – **Адаптованість** означає, що інтерфейс повинен бути:
  - сумісним з потребами та можливостями користувача;
  - забезпечувати простоту переходу від виконання однієї функції до іншої;
  - *забезпечувати користувача на високому рівні вказівками* стосовно його можливих дій, а також генерувати належний зворотний зв'язок на його запити;
  - надавати користувачу можливість відчувати себе повноправним керівником ситуації при розв'язанні всіх типів задач, тобто, забезпечувати його всією необхідною інформацією; користувач повинен бути впевненим, що *він сам розв'язує поставлену задачу*;
  - забезпечувати користувача різними, взаємно доповнюючими формами представлення результатів в залежності від типу запиту або від характеру отриманого рішення;
  - враховувати особливості користувачів різних рівнів; наприклад, для *керівника підприємства* зручнішим є узагальнене графічне представлення результатів роботи СППР у вигляді діаграм та

графіків, а *інженеру-економісту* потрібні конкретні цифри у їх часовій послідовності.

**Б** – Достатність інтерфейса означає таке:

- допустимі запити користувача повинні бути чіткими і однозначними для користувачів всіх рівнів, а також для прикладних задач всіх типів;
- реакція системи на всі типи запитів також повинна бути однозначною і зрозумілою і, по можливості, простою.

**В** – Дружність інтерфейсу

Це максимальна простота його використання і готовність в повній мірі задовольнити запити користувача при розв'язанні визначеного класу задач.

**Г** – Гнучкість інтерфейсу

Гнучкість інтерфейсу – це можливість його адаптування до розв'язання конкретної задачі. Якщо розв'язувана задача дуже складна, то інтерфейс повинен полегшувати формулювання запитів і видавати результати у формі, яка легко і швидко сприймається користувачем. Тобто *інтерфейс повинен буди максимально простим* навіть у випадку, коли розв'язується дуже складна задача.

При цьому *простота означає* таке:

- інтерфейс не повинен бути перевантажений деталями щодо представлення розв'язку поставленої задачі – користувач може не охопити всіх подробиць (і в цьому, як правило, немає потреби) – тобто *нічого зайвого, крім того, що необхідно для розуміння результату*;
- він не повинен містити зайвих *декоративних деталей*, які відволікають від головної задачі;
- інтерфейс повинен бути консистентним, тобто, ґрунтуватись на використанні відомих, загальноприйнятих методів і засобів представлення інформації;
- в ідеалі процес взаємодії користувача з системою не повинен представляти ніяких труднощів.

## 5.2 Характеристики інтерфейсу користувача та принципи його формування

Під інтерфейсом взаємодії розуміють сукупність домовленостей про форми, способи, процеси, правила взаємодії користувача з ПЕОМ [17, 46].

Одним із перспективних напрямів створення інтерфейсів користувача вважаються адаптивні інтерфейси. Адаптивним інтерфейсом користувача (АІ) називають сукупність програмних та технічних засобів, які дозволяють користувачу ефективно використовувати всі можливості, які надає система, та задаються конкретні налагодження для кожного користувача. Одним з головних критеріїв ефективності функціонування програмних продуктів є максимальне використання для роботи з ними людських ресурсів. Це пов'язано перш за все з тим, що вартість людських ресурсів для роботи з програмним забезпеченням вже досягла вартості системних компонент, а в багатьох випадках суттєво їх перевищує.

Для того, щоб адаптивний інтерфейс міг бути коректно вбудованим в процес діалогу для користувача кожного рівня, він повинен враховувати апріорну інформацію про психофізичні, професійні, особисті характеристики користувача. Ця інформація здобувається шляхом попереднього початкового тестування користувача. Але цієї інформації для коректної роботи АІ явно недостатньо. Додаткова інформація про користувача, який взаємодіє в даний момент з системою, повинна бути отримана з аналізу дій користувача безпосередньо в процесі роботи. Цей спосіб отримання знань про користувача і є основою динамічної адаптації.

Адаптивний інтерфейс повинен забезпечувати користувачу полегшений режим взаємодії. Адаптивна система повинна комбінувати в собі особливості адаптивних і адаптованих компонентів. Це буде давати користувачам засоби, які надають можливість проводити власні зміни в налагодженнях інтерфейсу, виходячи з їх потреб.

Системи, які дозволяють користувачу змінювати певні системні параметри і відповідно змінювати їх поведінку, називаються адаптованими. Системи, які адаптуються до користувача автоматично, ґрунтуючись на припущеннях системи, називаються адаптивними.

Незважаючи на те, що на сьогодні вже досягнуто певний прогрес у побудові інтерфейсів користувача, питання взаємної адаптації функціонування програмних систем (ПС) і користувача ПС, досі залишаються відкритими. Більш того, актуальність їх зростає у зв'язку з розвитком мережі Internet, появою повністю графічних інтерфейсів, розвитком засобів мультимедії, широким застосуванням гіпертекстових документів, розширенням сфер використання та масовістю застосування ПЕОМ.

Розробка природно-мовного (ПМ) інтерфейсу в складі СППР дозволяє забезпечити виконання запиту особи, що приймає рішення (ОПР), або експерта-аналітика до бази експертних знань. Можливість адаптації системи до рівня професіоналізму користувача здійснюється за рахунок

здатності сприймати і виконувати запити на внутрішній формальній мові, що забезпечує більш швидкий доступ до інформації.

Природно-мовний інтерфейс є посередником між людиною і базою даних. Він переводить запити, що надходять природною мовою, у формальне представлення, звертається з ним до бази даних, і представляє результат, використовуючи алгоритми і технології реалізовані в СППР, у вигляді, придатному для перегляду й аналізу (рис. 5.1).

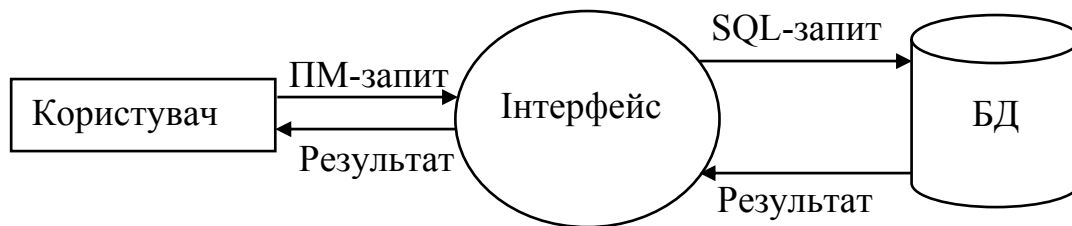


Рис. 5.1 Загальна схема потоків даних ПМ-інтерфейсу

Користувачами ПМ-інтерфейсів можуть бути як співробітники підприємства – менеджери різних рівнів, так і клієнти. Усім, кому потрібна можливість швидкого і прямого доступу до актуальної інформації. Наведемо кілька областей основних застосувань ПМ-інтерфейсів у діяльності організацій:

- каталог товарів і електронний магазин;
- календарне планування;
- керування кадрами і бухгалтерія;
- склад і планування закупівель;
- аналіз продаж;
- банківська діяльність;
- біржова діяльність.

Використання ПМ-інтерфейсу найвигідніше у випадку масового користувача (наприклад, відвідувача сайту), а також як інтегровану з інформаційною системою організації можливість прийняття рішення, при якому доступ до даних є штатною можливістю інформаційної системи організації і, таким чином, є універсальним і, можливо, основним способом пошуку й одержання інформації.

У ситуації, коли успіх організації визначає його здатність адекватно реагувати на зміну зовнішніх і внутрішніх умов, прямий і швидкий доступ до достовірної актуальної інформації, використання ПМ-інтерфейсу надає можливість значно скоротити витрати організації на різних рівнях:

- можливість формулювати потреби в інформації найбільш простим і разом з тим самим доступним чином – як для співробітників



усередині компанії, так і для доступу клієнтів до публічної інформації (наприклад, до каталогу товарів);

- розвантажує фахівців від рутини створення форм і звітів по кожному розрізі інформаційного простору в базі даних. Крім того, оскільки формальне представлення ПМ-запиту доступно, ПМ-інтерфейс може бути корисний для розробки традиційних додатків на основі баз даних, оскільки рятує від ручного етапу побудови складних SQL-запитів;
- при розробці ПМ-інтерфейсів використовуються найсучасніші методи інженерії знань, що дозволяє використовувати технологію розуміння на більш високому рівні абстракції даних, ніж реляційна модель зі збереженням записів у зв'язаних таблицях; це серйозний крок на шляху до керування не просто інформацією, але й корпоративними знаннями.

Найбільшої ефективності можна досягти у випадку використання комбінації традиційних засобів доступу до даних і доступу природною мовою. Якщо на етапі проектування системи в неї буде вбудовано ПМ-інтерфейс, це одночасно підвищить надійність і корисність ПМ-інтерфейсу, а також різко збільшить інтелектуальність і дружність інформаційної системи в цілому.

Розглянемо конкретний випадок використання ПМ-інтерфейсу. Нехай фірма використовує бази даних для збереження внутрішньої бізнес-інформації. На основі баз даних працюють різноманітні додатки – складська програма, бухгалтерія, кадри, планування, прогнозування стану ринку, закупівлі, які часто об'єднані в єдину комплексну систему. Усі ці додатки, як правило, представляють інформацію у виді таблиць і звітів у визначених розрізах з можливістю фільтрації.

Але часто буває так: для прийняття рішення "тут і зараз" необхідно мати такий розріз інформації, таку комбінацію умов, які неможливо задати стандартними засобами, особливо якщо ця інформація знаходиться на стику різних підсистем, наприклад така:

- витрати, зумовлені дефіцитом товару А на складі з початку місяця;
- коли очікується партія товарів фірми X, і що в ній буде;
- кількість проданих холодильників Bosh за кольорами;
- прибуток від продажі відеомагнітофонів у залежності від їхньої ціни;
- наявність на складі 10 самих ходових товарів за минулий місяць.

Як правило, уся необхідна інформація для одержання таких цифр є у корпоративній базі даних. Але ні конструкцію бази, ні мови запитів до неї ви не знаєте – цим володіють розробники БД та інформаційної системи, побудованої на її основі. Можна, звичайно, попросити їх обчислити ці

цифри вручну (з використанням мови SQL, якщо база реляційна), або додати в систему нові функціональні можливості.

Це робиться просто, якщо розробники системи і БД працюють на даному підприємстві. Ситуація складніша, якщо розроблювачі – це стороння організація. Але у будь-якому випадку наступного разу вам буде потрібна яка-небудь інша інформація і все почнеться спочатку.

В наявності проблема – і є потреба в оперативному одержанні інформації в різноманітних розрізах для аналізу і прийняття рішень, є сама вихідна інформація, але доступ до неї вимагає знання особливостей побудови бази даних і досвіду розроблювача. Це рішення полягає у побудові природно-мовного інтерфейсу до бази даних і (у більш загальному випадку) – до інформаційної системи.

Це надає можливість:

- мати прямий доступ до будь-яких аналітичних розрізів інформації, що зберігається в базі;
- швидко отримувати необхідну інформацію, що потрібна у поточний момент;
- зосереджуватися на тому, що треба одержати з бази, а не на тому, як це зробити;
- вчасно контролювати правильність занесення інформації в базу;
- доповнити інформаційну систему інтелектуальною технологією, що дозволить в остаточному підсумку скоротити витрати на її експлуатацію і підвищити ефективність роботи з нею в цілому.

У загальному вигляді вимоги до ПМ-інтерфейсів повинні визначати зміст і форми інформації, що надається, а також регламент взаємодії користувача і системи. Ці вимоги повинні впливати з функцій користувачів, що знаходяться на різних рівнях ієрархії, а також стандартних вимог законодавчих і виконавчих органів до форм обліку і звітності, регламентам діяльності об'єкта, що визначає в сукупності зовнішній і внутрішній документообіг.

Базовою формою опису технологічних і бізнесів-процесів повинна бути сама схема процесу, представлена на різних рівнях ієрархії з різним ступенем деталізації, на якій повинні бути відображені взаємозалежні технологічні і функціональні компоненти процесу разом з показниками функціонування, що дозволяють судити про факти і якість виконання функцій.

Сервісними формами представлення інформації можуть бути тексти, таблиці, графіки, гістограми, а також абстрактні образи, що у сполученні з базовими формами представляють повний спектр типів інформування користувача про стан об'єкта діяльності.

Таким чином, програмне забезпечення інтерфейсного модуля повинне забезпечити такі можливості:

- введення запитів до бази знань на внутрішній формальній мові системи;
- редагування запитів користувача;
- виконання запитів до бази експертних знань і вивід результатів на екран комп'ютера в зручному для користувача вигляді;
- перегляд проміжних результатів роботи;
- поповнення і коректування бази експертних знань у режимі діалогу;
- верифікацію відповідей на запити.

Основними етапами діяльності користувача в системі, як особи, що приймає рішення, є такі:

1. сприйняття інформації: виявлення об'єкту сприйняття, виділення в об'єкті окремих ознак, ознайомлення з виділеними ознаками і розпізнавання об'єкта сприйняття;
2. оцінювання інформації, її аналіз і узагальнення на основі раніше сформованих критеріїв оцінки; оцінка виробляється на основі співставлення і аналізу сформованої у ОПР інформаційної моделі з внутрішньою образно-концептуальною моделлю об'єкта управління (предметної області);
3. прийняття управлінських рішень.

На основі загальних принципів побудови інформаційних систем і врахування особливостей адаптивного інтерфейсу можна сформулювати загальні принципи побудови адаптивних інтерфейсів.

1) *Принцип відповідності призначення і структури інтерфейсу* поставленим цілям і задачам. Неможливо побудувати універсальний багатофункціональний інтерфейс, який міг би бути використаний і в складі АСУ реального часу, і в складі системи управління фізичним експериментом. Типізація і універсальність можлива тільки в рамках визначених класів систем.

2) *Принцип мінімізації витрат ресурсів користувача:*

- користувач повинен виконувати тільки ту роботу, яка необхідна і не може бути виконана системою, не повинна бути повторенням уже виконаної роботи;
- користувач повинен запам'ятовувати якомога меншу кількість інформації, оскільки це збільшує його можливості приймати оперативні рішення в екстремальних випадках.

3) *Принцип максимального взаєморозуміння та непротиворіччя.* Робота з системою повинна бути простою, не викликати у користувача додаткових ускладнень в пошуках необхідних елементів інтерфейсу. Інформація, що отримана за допомогою інтерфейсу, не повинна вимагати

перекодування або додаткової інтерпретації користувачем. Якщо в процесі роботи були використані деякі прийоми, то і в інших випадках прийоми роботи повинні бути ідентичні.

4) *Принцип незбитковості*. Користувач повинен вводити тільки мінімальну інформацію та недопустимий ввід уже введеної раніше і отриманої системою інформації.

5) *Принцип безпосереднього доступу до системи підказок*. Система повинна забезпечувати користувача необхідними інструкціями. Система підказок повинна задовольняти трьома критеріям:

- стислість, якість і повнота інформації;
- вичерпний характер повідомлень про помилки;
- наявність повідомлень про стан системи.

6) *Принцип гнучкості*. Адаптивний інтерфейс повинен забезпечити спілкування з системою користувачам різного рівня підготовки. Наприклад, для недосвідчених користувачів інтерфейс може бути організовано як ієрархічна структура меню, а для досвідчених – з команд, комбінацій натиснень клавіш та параметрів командного рядка.

7) *Принцип максимальної концентрації користувача на задачі*, що розв'язується і локалізації повідомлень про помилки. Адаптивний інтерфейс повинен допомагати концентрувати увагу користувача на конкретній задачі, що розв'язується.

8) *Принцип врахування професійних навичок* конкретного користувача. При роботі з системою на основі збору деяких даних, які отримуються з моделі користувача, проектується “людський фактор”, який тісно вплітається в особливості функціонування всієї системи. Формування концептуальної системи означає усвідомлення і оволодіння алгоритмами функціонування інтерфейсу користувача.

10) *Принцип легкості користування і простоти навчання*. Адаптивний інтерфейс не повинен приводити користувача до роздратування, примушувати до необдуманих дій. Адаптивний інтерфейс враховує, що користувач отримує досвід роботи з системою, цілі користувача можуть змінюватись у процесі роботи з системою, Адаптивний інтерфейс характеризується простотою виправлення помилок. Керуванню роботи з системою можна легко навчитись, система забезпечує навчання в процесі роботи.

11) *Принцип надійності*. Система повинна бути надійною з точки зору роботи користувача. Вона готова до роботи завжди, коли в цьому виникає необхідність, відмови трапляються рідко, час відповідей системи не повинен перевищувати встановлених границь. В системі реалізуються можливості захисту інформації та забезпечення необхідного ступеня секретності та різних рівнів доступу до наявної інформації.

### 5.3 Проектування інтерфейсу на принципах людського фактору

Предметом вивчення “людського фактору” є дослідження факторів, явищ, подій, які впливають на продуктивність праці, ефективність та якість життя всіх тих, хто працює, а також проектування машин та обладнання, що використовується в процесі виконання роботи [46]. Власне наука про людський фактор займається розробкою інженерних принципів проектування (дизайну) в усіх технічних галузях, використанням антропометричних таблиць вимірів людського тіла у процесі дизайну, психологічними принципами навчання, аналізом процесів запам'ятовування візуальної та аудіоінформації, аналізом впливу на людину таких соціальних факторів, як шум навколишнього середовища, скупчення великої кількості людей, засобів зв'язку, а також проектуванням житлових приміщень, офісів та місць відпочинку (парків, технопарків, майданчиків, і т.ін.). Фактично будь-яка продукція, яка з'являється на ринку сьогодні і буде з'являтися у майбутньому, стає виграшною і конкурентоспроможною завдяки застосуванню при її створенні принципів людського фактору.

*Фахівці з людського фактора використовують всю наявну інформацію із психології, математики та технічних наук з метою удосконалення дизайну машин, механізмів, обчислювальних систем і підвищення, таким чином, ефективності роботи людини-оператора, а також поліпшення умов її життя та відпочинку. Набагато ефективніше та дешевше розробити і впровадити елементи “людського фактора” в процес проектування систем, ніж переробляти готову продукцію і відповідності до рекламацій та скарг споживачів.*

Можна сказати, що *людський фактор* – це метод проектування, дослідження та пояснювання інтерфейсу в широкому смислі (тобто, проміжного середовища) між людиною та машиною або знаряддями, які створюються людиною. З точки зору психології людини ми розглядаємо характеристики оператора і машини або знаряддя праці з метою визначення кращих методів чи способів конструювання цих машин та знаряддя, які підвищують ефективність праці та полегшують користування ними. В результаті такого аналізу проекту може з'явитись необхідність змінити конструкцію, щоб вона була доступною та зручною (комфортною) для оператора.

Вимоги та рекомендації *науки про людський фактор* є надзвичайно важливими з точки зору організації взаємодії користувач-комп'ютер. Всіх

користувачів комп'ютерних систем можна розділити на дві основні групи: *фахівці* (постійно користуються комп'ютером) та *тимчасові користувачі* (користуються комп'ютером час від часу – керівники різних рівнів, бухгалтери, користувачі-початківці). Фахівці проводять, як правило, за комп'ютером значний час, користуючись програмними системами для розв'язання своїх задач. Такі користувачі не мають проблем з користуванням клавіатурою та монітором незалежно від типу програмного продукту. Тимчасові користувачі можуть час від часу використовувати конкретну програмну систему для знаходження розв'язку спеціалізованих задач, наприклад, редактор текстів для набору текстових матеріалів або Excel для підготовки бухгалтерських звітів. Такий користувач може ніколи не почуватись повністю комфортно з терміналом та програмою. Зважаючи на те, що на сьогодні кількість тимчасових користувачів надзвичайно велике, *інтерфейс програмної системи повинен бути максимально дружнім*, щоб забезпечити комфорт та якість результатів взаємодії.

### **Загальні принципи людського фактору**

При проектуванні інтерфейсу програмна система – користувач необхідно враховувати такі фактори, які є важливими з точки зору інженерії людини.

#### **1. Користувач повинен завжди знати, що робити далі**

Тобто, система повинна давати йому інструкції стосовно того, як продовжити роботу, створити резервний файл результатів, вийти із системи, і т. ін. Існують декілька ситуацій, які вимагають зворотного зв'язку від системи (пояснення для користувача):

- *Користувач повинен знати, що система чекає від нього.* Це може бути зроблено у вигляді простого повідомлення, такого як ГОТОВО (READY), ВВЕДІТЬ КОМАНДУ (ENTER COMMAND), ВВЕДІТЬ ВИБІР (ENTER CHOICE) або ВВЕДІТЬ ДАНІ (ENTER DATA).
- *Користувач повинен знати, що дані введено коректно.* Наприклад, це можна зробити переміщенням курсора у поле, де написано ДАНІ КОРЕКТНІ або ВВЕДЕННЯ ЗАВЕРШЕНО (INPUT OK).
- *Користувач повинен знати, що дані не були введені коректно.* Система повинна дати просте коротке повідомлення щодо необхідного формату даних. Більш докладні рекомендації щодо можливих форматів даних можна надати за допомогою функції ДОПОМОГА (HELP).
- *Якщо має місце затримка з обчисленнями, то користувач повинен про це знати.* Для виконання деяких видів обчислень (наприклад,

при виконанні оптимізаційних розрахунків) необхідно витратити кілька десятків секунд або навіть хвилин. У такому випадку система повинна давати короткі повідомлення, наприклад: ПОШУК ОПТИМУМУ – БУДЬ-ЛАСКА ЗАЧЕКАЙТЕ або СОРТУВАННЯ – ЦЯ ОПЕРАЦІЯ МОЖЕ ТРИВАТИ ДЕКІЛЬКА ХВИЛИН, БУДЬ-ЛАСКА ЗАЧЕКАЙТЕ. Користувач буде впевнений, що система продовжує працювати.

- *Користувач повинен знати, що система завершила (не завершила) виконання завдання.* Це важливо завжди, але особливо важливо у тих випадках, коли обчислення можуть тривати відносно довго. Повідомлення може мати такий характер: ДРУК ЗАВЕРШЕНО або ПРИНТЕР НЕ ГОТОВИЙ – ПЕРЕВІРТЕ НАЯВНІСТЬ КАРТРИДЖУ, або ОПТИМАЛЬНА ТРАЄКТОРІЯ ЗНАЙДЕНА.

## **2. Форматування екрану монітора необхідно робити таким чином, щоб різні типи інформації, команди, повідомлення завжди з'являлись в одній і тій же області.**

При такому підході до форматування екрану користувач завжди буде хоча б приблизно знати, де шукати необхідну інформацію. Наприклад, екран можна розділити на такі зони (області):

- *Вікно з назвою (титолом) сторінки на екрані (title window).* Титул (назва) необхідні для ідентифікації вікна конкретного типу з точки зору користувача.
- *Вікно з прапорцями (flag window).* Це вікно містить вказівник (вказівники) на інші конкретні вікна екрану з метою показати, що виникла помилка чи проблема з виконанням завдання. Наприклад, якщо користувач зробив помилку при введенні команди чи даних, то у вікні з прапорцями повинно з'явитись повідомлення "...", яке показує в якому рядку чи полі має місце помилка. Для того щоб взнати конкретну причину чи суть помилки, користувач повинен подивитись у вікно повідомлень (розглядається нижче). Замість вікна з прапорцями можна скористатись такими атрибутами як *мигання* або *інверсним зображенням*.
- *Вікно повідомлень (message window).* В це вікно система посилає повідомлення для користувача. Наприклад, повідомлення про помилки або пропозиції щодо продовження обчислень, ведення діалогу. Це вікно може бути порожнім на протязі більшої частини часу роботи з системою.
- *Вікно виходу (escape window).* Воно призначене для того щоб користувач міг завершити поточний сеанс роботи з системою або підсистемою. Наприклад, вікно виходу може містити інформацію

стосовно того як повернутись до головного меню системи або до попереднього меню опцій (вибору).

- *Операційне вікно (body window)*. Операційне вікно – найбільше вікно діалогу. Ця область використовується для вводу даних, виводу результатів роботи, виводу пояснюючих повідомлень за допомогою ведення діалогу з системою, висвітлення опцій меню та ін.

Зони не обов’язково повинні мати візуальні границі, але, якщо вони є, то покращують сприйняття інформації. Приклад можливого розділення екрану на зони наведено на рис. 5.2. В іншому варіанті розподілу екрану повідомлення, допомога та групування клавіш можуть розміщуватись в нижній або верхній частині екрану.

ЗАГОЛОВОК	
КОМАНДИ ТА ПОВІДОМЛЕННЯ	
ОСНОВНЕ ПОЛЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	П Р А П О Р Ц І
ВИХІД	

Рис. 5.2 Приклад розподілу екрану терміналу на зони

**3. При проектуванні функцій пейджингу чи скролінгу у межах операційного вікна діалог повинен обмежуватись однією ідеєю на фрейм.**

Наприклад, зона повинна висвітлювати одне меню, один результат виконання завдання або відповідь на один запит.

Вибір між пейджингом та скролінгом в зоні операційного вікна залежить від типу інформації, яку необхідно висвітлити. Якщо інформація є неперервною за своєю природою (наприклад, текстова інформація щодо отриманих результатів), то використовують скролінг. Перегляд рядків тексту виконують за допомогою курсора. Пейджинг використовують у випадках, коли інформація висвітлюється у вигляді окремих записів за один раз.



**4. Повідомлення, команди або інформація щодо результатів повинні утримуватись на екрані достатньо довго, для того щоб користувач міг прочитати і сприйняти їх.**

Наприклад, результати обчислень не повинні швидко зникати з екрану, тобто, до того, поки користувач їх прочитає. Одним із підходів до висвітлення інформації в зоні є висвітлення такого об'єму інформації, який може вмістити зона, а потім “заморозити” висвітлення до наступного запиту користувача (наприклад, до натискування клавіші із стрілкою і т. ін.).

Для економії місця на екрані деякі зони можна тимчасово анулювати і замінювати їх іншими, які необхідні в конкретній ситуації.

#### **5. Економне використання ресурсів монітора**

Такі атрибути монітора як мигання, збільшення яскравості та інверсне відео необхідно використовувати економно, оскільки їх надмірне використання може призводити до зворотного ефекту, тобто ускладнення або погіршення характеристик діалогу (надмірне витрачання часу, відволікання уваги від головного). Коректним є використання додаткових ресурсів монітора для притягнення уваги до важливих моментів, наприклад, до поля для вводу даних, екстрених повідомлень або до команд.

#### **6. Спростуйте складні функції і скорочуйте об'єм введення даних з клавіатури за рахунок використання функціональних клавіш.**

Функціональним клавішам можуть бути присвоєні, наприклад, такі функції:

- ЗАПУСК (START) програми або функції;
- ДОПОМОГА (HELP): відображення на екрані пояснюючого тексту;
- переміщення курсора на екрані;
- ВИХІД (EXIT) або ЗАВЕРШЕННЯ (TERMINATE) поточного сеансу діалогу;
- переривання поточної операції (ESCAPE), наприклад, вводу або виводу даних; така операція може означати “повторний запуск”, якщо була зроблена серйозна помилка оператором;
- використання *комбінацій клавіш*; комп'ютер може мати спеціальне програмне забезпечення для розширення функцій клавіатури; воно дозволяє присвоювати одній клавіші (або парі клавіш) функції виконання визначеної послідовності команд.

**7. Створюйте специфікації значень або повідомлень “за замовчуванням”, які спрощують введення даних користувач системи в процесі діалогу.**

Наприклад, якщо необхідно ввести дату деякого замовлення, то інформаційний рядок може мати наступну форму:

ДАТА ЗАМОВЛЕННЯ? <СЬОГОДНІ?>

Для вводу поточної дати користувач натискає клавішу *Ввести* <Enter>.

**8. Передбачайте помилки, які можуть мати місце з боку користувача системи.**

Як правило, користувачі роблять помилки навіть при виконанні самих простих і очевидних операцій. Якщо дії користувача можуть спричинити потенційно небезпечну ситуацію, то він повинен знати про це. Наприклад, при спробі створити таку ситуацію, він отримує повідомлення:

ВИ ВПЕВНЕНІ, ЩО ТАКА ДІЯ НЕОБХІДНА?

Навіть такі прості попередження відіграють значну роль у попередженні потенційно небезпечних дій користувача.

#### **5.4 Тональність діалогу та термінологія**

Ще однією важливою характеристикою діалогу реального часу з точки зору людського фактору є *загальна тональність діалогу та термінологія*, яка використовується при цьому. Діалог повинен бути дружнім по відношенню до користувача, а тональність діалогу повинна ґрунтуватись на таких загальних рекомендаціях:

- *Використовуйте прості, граматично правильні речення.* При цьому краще використовувати розмовні фрази, але не говірки (сленг) або загальнонеприйнятні вирази.
- *Не старайтесь жартувати або вживати гострі фрази.* Якщо хтось буде користуватись вашою системою 50 разів на день, то гумор, наявний в діалогі, буде сприйнятись так само як один і той же жарт 50 разів підряд.
- *Не вживайте фраз, які звучать як повчання для користувача.* Наприклад, не потрібно хвалити користувача або говорити, що він ще не все знає з того, що необхідно (це фрази такого типу: О, ВИ РОБИТЕ ВСЕ ПРАВИЛЬНО або ВИ ПОВИННІ ЗНАТИ ЦЕ КРАЩЕ).

Що стосується **термінології**, то фахівці з проектування комп'ютерних систем рекомендують притримуватись таких правил:

- *Не використовуйте комп'ютерний жаргон.*
- *Уникайте аббревіатур*, тобто не використовуйте ВД замість ВВЕДІТЬ ДАНІ.
- *Уникайте символів, які можуть бути невідомими* для користувача; наприклад, математичних позначень там, де в цьому немає крайньої необхідності.
- *Використовуйте просту і зрозумілу термінологію.* Наприклад, краще використати фразу ПОМИЛКА ВВОДУ ДАНИХ З ДИСКА ніж ПОМИЛКА ЗОВНІШНЬОГО ПРИСТРОЮ.
- *Використовуйте одні й ті ж терміни для виконання однакових операцій.* Наприклад, не потрібно використовувати терміни РЕДАГУВАННЯ ДАНИХ і МОДИФІКАЦІЯ ДАНИХ в одному й тому ж значенні.
- *Команди і пояснення користувачу повинні бути продумані і коректно сформульовані з правильним вживанням дієслів.* Краще сказати ВИБЕРІТЬ МЕТОД РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ замість ВКАЖІТЬ НА МЕТОД. Що стосується дій з клавіатурою, то необхідно говорити НАТИСНІТЬ КЛАВІШУ <F6>, а не СКОРИСТАЙТЕСЬ КЛАВІШЕЮ <F6>.

### **5.5 Використання кольорів, мигання і клавіатури**

Кольори використовують для таких цілей:

- “піднімання” конкретних повідомлень;
- для зображення кластерів даних;
- виділення цифрових даних, графіків або областей екрану.

Сучасні монітори забезпечують можливості використання досить широкого набору відео- та аудіо-атрибутів, наприклад таких:

- подвійна яскравість вибраних полів екрану або окремих повідомлень;
- мигання вибраних полів або повідомлень;
- приховування відображення вибраних полів (наприклад, паролю);
- інверсне відображення вибраних полів, повідомлень або областей екрану.

**Використання клавіатури.** Клавіатура містить досить широкий набір функціональних клавіш (F1, ..., F12), Alt (alternative), Esc (escape) та інші. Ці клавіші можна використати для ініціалізації виконання деяких загальних операцій, які повторюються в процесі взаємодії з СППР. Наприклад, START, HELP, PAGE UP, PAGE DOWN, EXIT. В деяких

стандартах є обов'язковим використання клавiші F1 для реалізації функції отримання допомоги (HELP). Очевидно, що одні й ті ж функціональні клавiші повинні завжди використовуватись для однієї мети.

Вміле поєднання вказаних атрибутів дозволяє суттєво підвищити швидкість сприйняття та глибину розуміння результатів роботи СППР, прискорити процеси вводу/виводу даних.

### **Контрольні задачі і запитання**

1. Сформулюйте вимоги до інтерфейсів інформаційних систем.
2. Поясніть, що таке адаптованість інтерфейсу?
3. До яких характеристик користувача може адаптуватись інтерфейс?
4. Наведіть основні характеристики інтерфейсів користувача СППР.
5. Вкажіть, які можливості повинен забезпечувати інтерфейсний модуль інформаційної системи.
6. Сформулюйте принципи формування інтерфейсу користувача.
7. Поясніть такі принципи побудови інтерфейсів, як принцип мінімізації затрат ресурсів користувача та принцип незбитковості.
8. Які існують напрями розвитку науки про людський фактор?
9. Розкрийте принципи проектування інтерфейсу користувача на засадах людського фактору.
10. Наведіть ситуації, в яких система повинна надавати пояснення для користувача.
11. Зазначте особливості форматування екрану монітора при розробці інтерфейсів користувача.
12. Опишіть аспекти вибору тональності та термінології при реалізації інтерфейсів користувача.
13. Які недоліки і переваги має інтерфейс на основі натуральних мовних конструкцій?
14. Наведіть приклад застосування інтерфейсу на основі безпосереднього маніпулювання графічними об'єктами?
15. Де застосовуються інтерфейси на основі заповнення стандартизованих форм?

## РОЗДІЛ 6

### РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ СППР

#### 6.1 Умови успішної реалізації СППР

Умови успішної реалізації СППР і взагалі будь-якої комп'ютерної інформаційної системи (КІС), складаються з потреб та вимог замовника, правильного вибору інструментарію для реалізації системи, наявного досвіду і знань виконавця, належної фінансової підтримки, а також доступу до джерел необхідної інформації. Розглянемо докладніше ці умови.

##### 1. Визначення потреб і вимог замовника

Як правило, це не проста задача, оскільки замовник рідко має необхідне чітке уявлення про майбутню систему. Вимоги до інтерфейсу та функцій системи замовник формулює досить наближено, а тому задачею виконавця є максимально точно визначення потреб користувача (замовника).

*Вміння коректно працювати із замовником – одна з головних умов успішної реалізації проекту.*

**Вимоги замовника** включають такі:

А) *Вимоги до інтерфейсу* – тобто який конкретний тип необхідно спроектувати інтерфейс та якими повинні бути його можливості стосовно взаємодії з користувачем і характеристики.

Б) *Докладний перелік функцій системи*. Виконавець надає замовнику максимальну допомогу у складанні переліку функцій системи, оскільки це впливає на її вартість і якість в цілому. Перелік складається у письмовому вигляді і підписується замовником та виконавцем.

В) *Конкретизація методів попередньої та основної обробки даних* у рамках системи. Як правило, методи обробки даних пропонує виконавець, але замовник повинен дати згоду на їх використання. Необхідно визначити ступінь складності реалізації кожного методу та довести цю інформацію до відома замовника.

Г) Замовник повинен надати свої *вимоги до способів представлення результатів*, а виконавець може доповнити їх своїми пропозиціями. В результаті формулюється перелік вимог до системи представлення результатів.

Д) Встановлюються *вимоги до точності обчислень та максимального часу виконання обчислювальних алгоритмів*, що використовуються системою генерування результатів.

## **2. Правильний вибір інструментальної платформи для реалізації проекту.**

Інструментальна система повинна мати такі характеристики:

- доступна за ціною;
- не дуже складною у використанні;
- забезпечувати сучасний рівень реалізації інформаційної системи.

## **3. Розробник повинен мати достатні знання та досвід проектування і реалізації комп'ютерних інформаційних технологій.**

Як недооцінка, так і переоцінка своїх можливостей можуть призвести до суттєвих проблем у процесі реалізації проекту. Так, *недооцінювання* своїх можливостей призводить до заниження вартості і збільшення термінів реалізації системи. *Переоцінка* можливостей може призвести до зриву строків реалізації системи і зниження її якості.

## **4. Розробник повинен глибоко розуміти проблеми прикладної області, до якої відноситься поставлена задача проектування і реалізації інформаційної системи.** Якщо проектна група не включає такого фахівця, то його обов'язково необхідно знайти і найняти на час виконання проекту.

Виконавець повинен *пам'ятати*, що

- для вивчення предметної області необхідно витратити щонайменше 1,0 – 1,5 роки (в нормальному режимі роботи);
- якщо немає фахівця з предметної області у своїй фірмі, то його краще знайти в іншій щоб не витратити час на вивчення цієї області;
- можливе створення об'єднаної групи виконавців, яка включає фахівців замовника та виконавця, особливо якщо предметна область труднодоступна (або секретна) – військова галузь, спеціальні наукові дослідження в області ядерної енергетики і таке інше.

## **5. Розробник (виконавець) повинен мати доступ до джерел необхідної інформації.** Якщо це забезпечити неможливо, то інформацію надає замовник!

Всі випадки забезпечення виконавця спеціальними (не загальнодоступними) даними обов'язково оговорюються у технічному завданні. Відсутність необхідної інформації може суттєво вплинути на строки виконання проекту.

## **6. Належна фінансова підтримка проекту.**

Виконавець повинен

- впевнитись у фінансовій спроможності замовника;
- вимагати аванс, який забезпечить виконання робіт на 50 %; як правило, такий аванс дає можливість створити перший варіант системи, який можна продемонструвати замовнику;
- чітко сформулювати свої дії у випадку відмови замовника вчасно оплачувати роботу.

## **7. Замовник повинен належним чином сформувати проектну групу (колектив) для розробки та реалізації проекту.**

Наведені **7 умов** успішної реалізації проекту комп'ютерної інформаційної системи, зокрема, СППР, стосуються як професійного розробника системи, так і експерта, який глибоко знає предметну область, але не має достатнього досвіду реалізації інформаційних технологій.

### **6.2 Фактори ризиків, які зустрічаються при проектуванні та реалізації СППР**

При проектуванні та реалізації СППР і взагалі комп'ютерних інформаційних систем, розробники таких систем стикаються з певними факторами ризику проекту. Серед них можна виділити такі основні фактори ризику.

#### **1. Непорозуміння із замовником.**

Це один із основних факторів ризиків. Він виникає у випадку недостатньої взаємодії виконавця із замовником і може стосуватись таких елементів проекту:

- недостатньо глибоко проаналізовані питання стосовно вчасного і повного фінансування робіт;
- непорозуміння стосовно вимог користувача, вони можуть бути сформульовані недостатньо чітко з відповідними наслідками – користувач отримує не те, що йому хотілося б;
- непорозуміння стосовно функцій системи.

#### **2. Неперервні зміни стосовно вимог до системи.**

Замовник занадто часто змінює вимоги до проекту системи, що унеможлиблює його своєчасну і високоякісну реалізацію.

Метод боротьби – тісна співпраця із замовником на етапі створення технічного завдання і проекту. Дотримання всіх вимог документації.

### **3. Нечітко сформульовані цілі проекту.**

Ризик незапланованих витрат часу на переформулювання цілей. Він зустрічається у випадках, коли виконавець ще не має достатнього досвіду розробки систем конкретного типу.

Метод боротьби – коректне формування групи виконавців, забезпечення їх високої кваліфікації.

### **4. Непорозуміння стосовно функціональних вимог серед членів групи виконавців проекту.**

Метод боротьби – покращення менеджменту проекту, підвищення кваліфікації членів групи. Фірми, які працюють в галузі ІТ, повинні постійно працювати над підвищенням кваліфікації своїх працівників.

### **5. Неправильне використання людських ресурсів замовником.**

Неякісний менеджмент проекту.

Метод боротьби – потрібно замінити керівництво або виконавцям знайти іншу роботу.

### **6. Нереальний календарний план.**

Причина – неякісний менеджмент проекту.

Методи боротьби – залучення висококваліфікованих виконавців з досвідом та застосування сучасних комп'ютерних засобів для оптимізації календарного плану.

### **7. Неможливість задовольнити вимоги замовника-користувача.**

Причина – прорахунки з формулюванням вимог до системи на етапі написання технічного завдання, недостатня увага щодо складності функцій та можливостей їх реалізації в конкретних умовах.

### **8. Ризик, пов'язаний із впровадженням нових технологій.**

Тобто неможливість освоїти нову технологію реалізації системи в межах проекту.

Метод боротьби – підвищення кваліфікації виконавців. Перед прийняттям рішення стосовно впровадження нових технологій необхідно переконатись у тому, що виконавці готові до їх використання.

### **9. Незадовільний контакт із замовником в процесі реалізації проекту та недостатньо висока якість проміжних демонстрацій (презентацій) досягнутих результатів.**

В результаті можуть виникнути непорозуміння із фінансуванням і виконанням вимог користувача.



Метод боротьби – постійний контакт із замовником і робота над покращенням стосунків з ним, продумування демонстрацій.

#### **10. Недастатньо глибокі знання і досвід роботи виконавця.**

В такому випадку існує ризик повністю провалити проект.

Метод боротьби – підбір кадрів для виконання проекту, попереднє підвищення кваліфікації. Для забезпечення успіху необхідно, щоб не менше 60% членів групи виконавців мали достатній досвід реалізації проектів.

#### **11. Відсутність належної методики виконання проекту.**

Причина – недостатній досвід виконавця.

Метод боротьби – використати досвід провідних фірм-проектувальників інформаційних систем, розробити власну методику створення системи на основі попереднього досвіду. Все корисне має документуватись.

#### **12. Надмірна увага частини виконавців проекту до підвищення якості виконання окремих функцій (краще – це ворог хорошого).**

Це характерний недолік виконавців, які ще не мають достатнього досвіду реалізації проектів.

Метод боротьби – підтримка (моніторинг роботи) початківців з боку висококваліфікованих працівників.

#### **13. Неузгодженість програмних модулів між собою.**

Недостатньо високий рівень безпосереднього менеджменту проекту, тобто це прорахунки менеджера проекту.

Це особливо стосується використання аутсорсингу (*outsourcing*), коли немає безпосереднього контакту із замовником, а основне керівництво приїздить нечасто.

### **6.3 Менеджмент ризиків проектів з розробки СППР**

Процес ідентифікації та менеджменту ризиків в компаніях, що працюють в галузі інформаційних технологій та виконують проекти з розробки комп'ютерних інформаційних систем, наприклад, таких як СППР, спрямований на виявлення наявних у проекті ризиків, їх оцінювання, планування та реалізацію заходів стосовно зниження впливу та ліквідацію факторів ризиків. Схема процесу ідентифікації та менеджменту ризиків ІТ-проектів представлена на рис. 6.1.

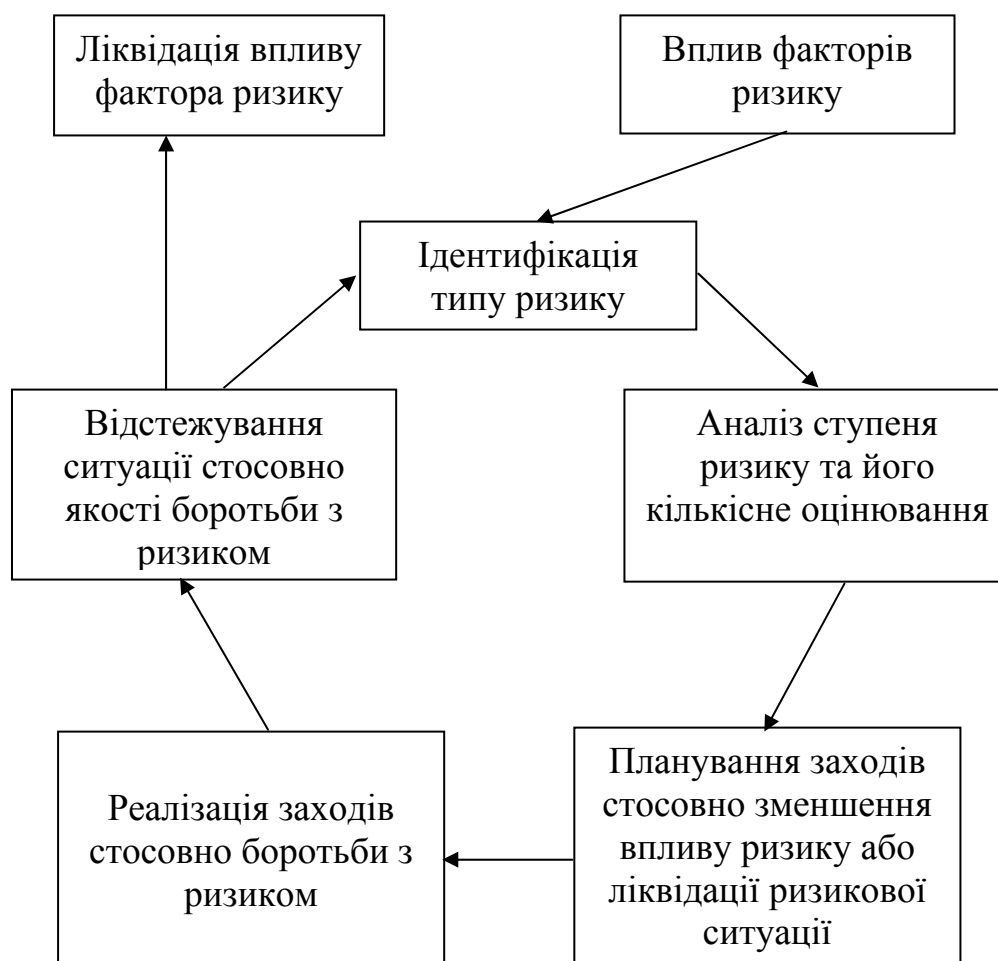


Рис. 6.1 Процес ідентифікації та менеджменту ризиків в компанії, яка працює з інформаційними технологіями

Для мінімізації та ліквідації ризиків при проектуванні та реалізації СППР вдаються до таких заходів.

### 1. Уникнення ризиків.

Виконується аналіз можливих факторів ризику та створення умов, несприятливих для їх реалізації (прояву). Це ідеальний варіант, але уникнути ризиків на 100% – нереально.

### 2. Перенесення ризику на третю сторону.

Вживаються такі заходи:

- страхування проекту;
- перенесення ризику на сторону замовника;

- створення власного хедж-фонду (фонд, який гарантує виживання компанії-виконавця в умовах настання та реалізації ризиків).

### **3. Зменшення впливу ризику на функціонування компанії.**

Планування і виконання дій, спрямованих на зменшення впливу факторів ризику, зменшення ймовірності його виникнення шляхом використання власного досвіду виконання проектів і досвіду інших компаній.

Вживаються заходи: підвищення кваліфікації працівників, прийняття реалістичних строків і бюджет проекту.

### **4. Прийняття ситуації з виникненням ризику як вона є і робота над зменшенням наслідків реалізації ризику.**

Можливо, що витрати на проект перевищать прибуток, але в майбутньому можлива компенсація.

Необхідно прийняти рішення стосовно того, в якому випадку втрати компанії будуть меншими – (1) у випадку завершення проекту з фінансовими втратами чи (2) у випадку відмови від його виконання? Частіше проект завершують, щоб не втратити імідж компанії.

## **6.4 Послідовність розробки та реалізації СППР**

Процес розробки та реалізації СППР складається з таких послідовних етапів.

### **1. Формулювання постановки задачі.**

Постановка задачі оформляється як частина технічного завдання і містить такі елементи.

А) Повну назву системи і її аббревіатуру, якщо передбачається її використання. Наприклад, повною назвою може бути *«Комп'ютерна інформаційна система підтримки прийняття рішень при виконанні операцій на біржі»*, а скорочена – *Стоктрейдер (StockTrader)*. Інші приклади: *Econometric Views (Eviews)*; *Statistical Analysis of Systems (SAS)*.

Б) Опис проблеми, стосовно якої необхідно приймати рішення. При цьому необхідно підкреслити особливості цієї проблеми, це можуть бути:

- багатовимірність і стохастичність процесу;
- необхідність застосування оптимізаційних процедур для формування альтернатив;
- використання спеціальних чисельних методів оцінювання параметрів математичних моделей (наприклад, нелінійні процедури та метод Монте Карло);
- застосування методів аналізу нестационарних та нелінійних процесів,

- використання експертних оцінок, ймовірнісних методів формування висновку і т. ін.

В) Попередній аналіз можливості розв'язання задачі за допомогою наявних (відомих) методів комп'ютерної підтримки, даних і знань. При цьому необхідно обов'язково врахувати свій попередній досвід проектування і реалізації систем, подібних до тієї, що проектується.

Г) Основний метод (методи) прийняття рішень та проектування альтернатив, який буде використано в СППР, наприклад: (1) на основі байєсівського підходу; (2) нечіткої логіки; (3) методу аналізу ієрархій; (4) послідовного перебору варіантів на основі деякого чисельного критерію.

Д) Типи моделей, критеріїв вибору моделей і рішень, які будуть використані в СППР.

## **2. Аналіз можливості реалізації СППР.**

Результати аналізу включають такі елементи.

А) Аналіз можливості технічної реалізації системи на наявних засобах обчислювальної техніки.

Б) Наявність технологій розробки систем даного класу і досвіду створення та використання готового продукту. Можливо необхідно передбачити спеціальні засоби для вимірювання та вводу даних та організації зв'язку з іншими системами.

В) Аналіз економічних можливостей, тобто, аналіз достатньої фінансової підтримки на всіх етапах розробки і реалізації системи.

Основне запитання: чи достатньо коштів, які може запропонувати замовник для проектування і реалізації системи? Враховуючи при цьому, що виконавець і замовник мають протилежні інтереси, розрахункову вартість необхідно збільшити в 1,5-2,0 рази.

Г) Аналіз біхевіористичного ефекту, тобто в чому буде проявлятися позитивний ефект від впровадження СППР в практику. Ефект може проявлятися у такому:

- можливості використання відносно складних моделей процесів та сучасних методів оптимізації процесів управління на різних рівнях ієрархії;
- підвищення якості рішень та скорочення часу на їх прийняття;
- підвищення продуктивності праці персоналу;
- підвищення якості продукції і зменшення витрат на виробництво;
- зменшення навантаження на працівників компанії і т. ін.

Д) Аналіз можливостей реалізації системи включає також розробку календарного плану, який може корегуватись в подальшому і є частиною технічного завдання. Календарний план визначає послідовність виконання робіт в часі і дає можливість:

- виявити роботи, які можуть виконуватись паралельно;
- оптимізувати строки виконання проекту методами дослідження операцій;
- корегувати навантаження на виконавців;
- порівнювати плани робіт з планами раніше виконаних проектів.

Фірми з розробки інформаційних систем ведуть каталоги виконаних успішних та неуспішних проектів з метою виявлення причин повного або часткового провалу проекту. Тобто виявляються можливості, які не були використані у процесі реалізації проекту.

### 3. Формулювання вимог до СППР.

Вимоги до системи діляться на дві групи: *вимоги користувача* і *функціональні вимоги*. Обидві множини вимог можуть перетинатись, але краще записати вимогу два рази ніж пропустити її зовсім.

**Вимоги користувача** – формулюються виконавцем і узгоджуються із замовником.

Розглянемо формулювання типових вимог користувача на прикладі СППР при прогнозуванні динаміки часових рядів. Вимоги користувача, як правило, стосуються таких елементів:

- тип комп'ютера і операційна система, для якої створюється СППР;
- можливість використання двох або більше форматів зображення інтерфейсу на екрані: розширеного (на весь екран) і зменшеного (приблизно на 1/2 екрану);
- максимальний час реакції на запит (наприклад, не більше 2-5-и секунд); при перевищенні цього часу видавати відповідне повідомлення;
- генерування, при необхідності, звукових сигналів визначеної тональності, які свідчать про успішність або неможливість виконання запиту;
- введення даних з клавіатури, жорсткого диска, гнучкого диска та компакта, через Інтернет та локальну мережу;
- перегляд введених даних у цифровому та графічному вигляді або у вигляді діаграми з використанням визначеної гами кольорів;
- одночасний перегляд кількох рядів на одному графіку;
- можливість використання різних форматів даних: ASCII, XLS, db та інші;
- автоматизація аналізу альтернатив за допомогою множини правил;
- задавати точність отримуваних результатів (прогнозів);
- вибирати тип представлення результатів;
- можливість доповнювати та редагувати дані;

- можливість доповнювати систему алгоритмами оцінювання параметрів моделей і критеріями оцінювання якості результату (прогнозу).

**Функціональні вимоги до системи** – формулюються виконавцем на основі вимог та побажань замовника.

Функціональні вимоги стосуються безпосередньо тих функцій, які буде виконувати система. Наприклад, функціональні вимоги до СППР при прогнозуванні часових рядів можна сформулювати так:

- методи попередньої обробки даних (логарифмування, нормування, фільтрація, заповнення пропусків);
- методи оцінювання параметрів лінійних, псевдолінійних та нелінійних математичних моделей;
- методи автоматичного тестування часових рядів на нестационарність стосовно тренду та дисперсії за допомогою відповідних дерев рішень з видачею повідомлень користувачу;
- критерії оцінювання якості моделі;
- правила вибору кращої моделі з множини кандидатів;
- критерії оцінювання якості прогнозу;
- методика автоматичного оцінювання (за умовчужанням) якості моделі та прогнозу;
- генерування рекомендацій стосовно вибору методу оцінювання параметрів моделі і методу прогнозування;
- можливості модифікації, розширення та тестування бази знань і даних;
- функція ретроспективного аналізу результатів.

Вимоги до системи також представляються в технічному завданні.

#### **4. Створення проекту СППР.**

На основі сформульованих вимог до системи створюється проект, основними елементами якого є такі:

А) Остаточний вибір *інструментальної системи* для реалізації СППР. Необхідно пам'ятати, що вартість різних інструментальних систем може відрізнятись одна від одної в декілька разів. Вибір ґрунтується на *досвіді виконавця і замовника, наявних коштах і можливостях конкретного інструментарію.*

Деякі приклади вибору будуть розглянуті нижче.

Б) Проект *мовної системи* (МС) містить такі елементи:

- всі види запитів до функцій системи в їх конкретному формулюванні та структурі;
- всі види запитів стосовно допомоги користувачу;
- можливі незначні відхилення від специфікацій, якщо дозволяють засоби реалізації системи; тобто, надання більше свободи користувачу при введенні запитів.

В) Проект *системи представлення результатів* (СПР) повинен містити:

- всі види реакції системи на запити про допомогу користувачу;
- всі види реакції системи на запити щодо розв'язку задачі та представлення результатів із зазначенням типу представлення – текст, графік, таблиця, числа та комбіноване представлення;
- можливі незначні відхилення від специфікацій в залежності від конкретних інструментальних засобів, які використовуються для створення системи.

Г) Проект *системи обробки даних та генерування результатів* (СОДГР) повинен містити:

- опис всіх алгоритмів і правил обробки даних і знань;
- опис критеріїв вибору альтернатив;
- в якій формі та на яких носіях зберігаються процедури;
- можливі незначні відхилення від специфікацій, які дозволяють спростити застосування процедур і скоротити час на їх програмування.

Д) Проект *системи зберігання даних і знань* (СБДЗ) повинен містити:

- типи даних і знань, способи їх зберігання та доступу до них;
- специфікацію форматів даних і знань та їх узгодження з процедурами (алгоритмами), які їх використовують;
- можливі модифікації та розширення форматів;
- можливі відхилення від специфікацій.

## **5. Опис програмного забезпечення системи.**

Складається з опису програмних модулів, з яких буде компонуватись система і створюватись цілісний програмний продукт. Опис модуля повинен обов'язково містити:

- ім'я модуля та його функціональне призначення;
- типи вхідних та вихідних даних (числові, лінгвістичні, змішані);
- допустимі формати даних;
- метод обробки даних, який реалізується модулем;
- вимоги до точності обчислень (якщо це необхідно);
- вимоги до швидкодії;
- метод (методику) забезпечення обчислювальної стійкості модуля;

- повідомлення, які може генерувати модуль в процесі виконання запрограмованої функції (наприклад, про неможливість завершити виконання операції, несумісність форматів даних).

## **6. Послідовність програмування модулів системи.**

Рекомендується така послідовність програмування модулів системи:

- програмування інтерфейсу (для того щоб врахувати вимоги замовника і продемонструвати йому зручність взаємодії з майбутньою системою, її можливості);
- програмування бази знань і даних;
- програмування функцій попередньої обробки даних;
- програмування процедур представлення результатів;
- програмування методів основної обробки даних з метою створення математичних моделей і генерування альтернатив;
- програмування (при необхідності) спеціальних драйверів вводу/виводу даних для нестандартних пристроїв.

## **7. Послідовність тестування системи.**

Для тестування використовують всі можливі запити, дані і функції. Тестування рекомендується розділяти на **три фази**: *попереднє, загальне і остаточне*:

- *попереднє тестування* стосується окремих модулів, якщо це можливо, і встановлюється принципова можливість виконання основних функцій системою в цілому;
- *загальне тестування* стосується узгодження функціонування всіх модулів в рамках однієї системи;
- *остаточне тестування* призначене для встановлення *правильності і точності* реалізації запрограмованих функцій в системі.

## **8. Підготовка інсталяційної версії і експлуатаційної документації.**

Головним документом цього етапу є керівництво для користувача стосовно інсталяції системи та послідовності виконання окремих функцій.

## **9. Впровадження системи на технічних засобах замовника.**

Описується послідовність дій стосовно інсталяції на технічних засобах замовника та початку експлуатації системи:

- інсталяція;
- навчання замовника;
- врахування особливостей (рівня) підготовки замовника, його готовності до експлуатації системи;



- врахування можливого *організаційного опору* – не всі члени команди замовника позитивно відносяться до новинок, особливо до тих, які можуть позбавити їх роботи.

## **10. Супроводження СППР.**

Процес супроводження впровадженої системи включає в себе такі дії:

- остаточне виправлення помилок в системі на етапі її експлуатації;
- розширення та модифікація функцій;
- врахування додаткових побажань користувача (замовника);
- формулювання доповнень до керівництва користувача.

### **6.5 Створення прототипу СППР**

Альтернативним шляхом проектування та реалізації СППР є *створення спочатку її прототипу*, який представляє собою модульну демонстраційну версію системи з частково реалізованими функціями.

Мета створення прототипу:

- підвищення рівня зацікавленості замовника в даній розробці;
- апробації основних ідей, які закладаються в систему (наприклад, тип інтерфейсу, методів генерування альтернатив та способів представлення результатів);
- прискорення в цілому процесу проектування та реалізації системи.

#### **Особливості прототипу системи:**

- в прототипі реалізують тільки ті функції, які не потребують значних зусиль і часу, тобто, деяку підмножину функцій реально діючої системи;
- як правило, для прототипу *не створюється ніяка або створюється мінімальна документація*;
- тестування максимально спрощується;
- прототип створюється в максимально стислі строки з метою демонстрації замовнику можливостей системи.

#### **Створення прототипу дозволяє досягти такого ефекту:**

1) показати потенційному замовнику які принципові можливості та зручність надає СППР, а також в чому полягають її переваги перед подібними програмними продуктами;

2) розробник може оцінити в принципі можливість реалізації його проекту за допомогою вибраних засобів;

3) у випадку, коли виникають труднощі із встановленням істинних побажань замовника (тобто, замовник не може точно сформулювати свої побажання), то прототип дозволяє розв'язати і цю проблему;

4) вдалий прототип можна поступово трансформувати у справжню СППР;

5) виявлення інших потенційних замовників.

Існує два види прототипів: *одноразового використання і еволюційного типу*. Одноразовий прототип, як правило, ліквідується після демонстрації замовнику, а еволюційний після демонстрації розвивається далі, корегується і покращується з метою його доведення до остаточного продукту та зацікавлення інших замовників. Нарешті, еволюційний прототип може трансформуватись у систему, придатну для розв'язання практичних задач.

Для прискорення створення прототипів існують спеціальні інструментальні системи, які отримали назву систем прискореного створення прототипів (наприклад, *RPS – rapid prototyping system*).

### **6.6 Короткий огляд СППР, що пропонуються на ринку інформаційних послуг**

Системи підтримки прийняття рішень набули широкого застосування в економіках передових країн світу, причому їхня кількість постійно зростає. На рівні стратегічного управління використовується ряд СППР, зокрема для довго-, середньо- і короткострокового прогнозування, а також для фінансового планування, включаючи систему для розподілу капіталовкладень. Орієнтовані на оперативне управління СППР застосовуються в галузях маркетингу (прогнозування та аналіз збуту, дослідження ринку і цін), науково-дослідних та конструкторських робіт, в управлінні кадрами. Оперативно-інформаційні застосування пов'язані з виробництвом, придбанням та обліком товарно-матеріальних запасів, їх фізичним розподілом та бухгалтерським обліком.

Узагальнені СППР можуть поєднувати дві чи більше з перелічених функцій. У США в 1984 році було проаналізовано 131 тип СППР і завдяки цьому виявлено пріоритетні галузі використання систем. До них належать такі: виробничий сектор, гірничорудна справа, будівництво, транспорт, фінанси та урядова діяльність.

Комп'ютерна підтримка різних функцій за допомогою СППР має такий розподіл:

- оперативне керування — 30 %;
- довгострокове планування — 40 %;
- розподіл ресурсів — 15 %;

- розрахунки річного бюджету — 12 %.

Перелік найвідоміших “комерційних” СППР містить сотні назв. Наведемо ряд найбільш типових СППР, які стосуються проблем мікро- та макроекономіки:

“Симплан” — призначена для корпоративного планування;

“Прожектор” — фінансового планування;

“Джі-план” — загального планування;

“Експрес” — маркетингу, фінансів;

PMS — керування цінними паперами;

CIS — планування виробів;

PIMS — маркетингу;

BIS — керування бюджетом;

IFPS — інтерактивного фінансового планування;

FOCUS — фінансового моделювання;

ISDS — формування “портфеля замовлень”;

MAUD — індивідуального вибору ;

та ін.

З ілюстративною метою нижче подано короткий опис деяких із систем.

### **Система “Симплан”**

СППР “Симплан” (SIMPLAN) було створено в середині 70-х років з метою надання допомоги керівникам у подоланні невизначеності, притаманної корпоративному плануванню. Її призначення полягає у вивченні складних взаємозалежностей, що існують між діяльністю корпорації в галузях фінансів, маркетингу й виробництва та сукупністю математичних і логічних співвідношень, уведених до комп'ютера.

Ця система містить три центральні компоненти — фінансові моделі, моделі маркетингу та моделі виробництва. Призначення фінансових моделей полягає у тому, щоб показати ефективність різних варіантів фінансового стану фірми; моделі маркетингу використовуються для оцінювання майбутнього обсягу ринку в тій частині, якою має намір заволодіти компанія. Моделі виробництва застосовують для визначення питань, пов'язаних із витратами і плануванням, політикою в галузі щодо товарно-матеріальних запасів, вимогами до робочої сили, вартістю та наявністю сировини, змінами в потужності обладнання і підприємства в цілому.

Система “Симплан” складається з таких підсистем:

- *керування даними* — забезпечує ефективне зберігання і вибір великих обсягів даних і має засоби управління ними;

- *моделювання* — дає змогу відбивати будь-які види зв'язків у галузі фінансів, маркетингу й виробництва в належній формі;
- *одержання звітів* — забезпечує генерацію звітів для користувачів;
- *контроль безпеки* — являє собою багаторівневу систему контролю безпеки з метою обмеження доступу до даних та інформації;
- *графічне відображення* — містить множину форматів графічного відображення для візуального сприйняття діаграм і графіків;
- *прогнозування* — реалізовані методи лінійного прогнозування, експоненціального згладжування, адаптивного прогнозування;
- *економетричний і статистичний аналіз* — дає користувачеві змогу вирізняти значущу інформацію про взаємозв'язки, які характеризують розглядувані планові періоди.

За допомогою системи “Симплан” користувач може створювати нові функції і вводити їх до СППР. Моделі (разом з переліченими і пов'язаними з ними функціями) є організаційними складовими системи. Спочатку користувач задає режим керування, тобто позицію, з якої можна увійти в будь-який інший режим. Режим даних об'єднує засоби системи з управлінням даними. Режим аналізу містить набір релевантних економетричних і статистичних методів аналізу, прогнозування та мову моделювання системи “Симплан”; режим звітування — основа генерування звітів; режим редагування має на меті подальше спрощення створення і використання моделей і звітів; графічний режим дає змогу ідентифікувати закономірності даних, використовуваних як база для прогнозування, розглядати розбіжності між практичними даними і прогнозами або бюджетами, а також забезпечує візуальне порівняння результатів реалізацій моделей, що ґрунтуються на різних системних припущеннях.

## **Система PIMS**

При розробці системи PIMS (Profit Impact of Marketing Strategy) був узагальнений досвід торговельних операцій і ринкової діяльності сотень фірм, а також враховані різні чинники (поділ ринків збуту, розподіл капіталовкладень, структура управління, тощо).

Фірми – члени клубу PIMS регулярно дістають звіти, які стосуються кожного з аналізованих ринкових продуктів. Ці звіти відбивають стан справ з конкретним продуктом на фірмі у порівнянні із середнім світовим рівнем або з фірмами-конкурентами, пропонують для розгляду декілька стратегій короткострокового планування з оцінкою імовірностей тих чи інших наслідків використання стратегій. Крім того, у звітах наводиться оптимальна стратегія, яка вибирається з урахуванням можливих змін кон'юнктури на ринку і досвіду успішної діяльності у подібних ситуаціях.

Системою можуть користуватися також представники фірм, які не входять до клубу PIMS. Будь-який користувач за певну плату може підключитися до бази даних PIMS за допомогою віддаленого терміналу через телефонну лінію.

Сеанс інтерактивної роботи з PIMS, як правило, розпочинається оглядом стану ринку певного продукту і триває у вигляді діалогу типу “Що, ... якщо”. Запитання можуть стосуватися практично будь-якої частини моделі планування і формулюватися у такому, наприклад, вигляді: “Який має бути рівень конкретного виду продукції, що випускається фірмою, і як він повинен змінюватися щороку, якщо потрібно отримати прибуток за перший рік у сумі не менш як 700 000 доларів, а наступний приріст прибутку має становити не менше 15 % за рік”.

Використовуючи засоби обробки запитів типу “Що, ... якщо”, керівник має змогу звертатися до бази даних і до бази моделей мовою фінансового планування і фактично конструювати свої власні моделі, відтворюючи за їх допомогою уявні ситуації в інтерактивному режимі.

Запитання типу “Що відбудеться, коли внести певні зміни до даних або моделі?” потребує залучення математичних моделей (ідеться про статистичні моделі, імітаційне моделювання, методи математичного програмування, аналіз дерев рішень, тощо).

## **Система ISDS**

Система ISDS (Investment Strategy Decision System) призначена для керівників, які відповідають за формування “портфеля замовлень” на наукові дослідження, розробки, випробовування та оцінювання дослідних зразків у великих організаціях. Головною особливістю цієї задачі є високий ступінь невизначеності кінцевих результатів планування, через що у довгострокових планах доводиться щорічно змінювати майже половину показників.

Система забезпечує виконання таких процедур:

- попередній добір пропозицій стосовно досліджень, розробок і випробувань;
- порівняльна оцінка нових пропозицій між собою і з уже розпочатими роботами;
- об'єднання дібраних пропозицій і виконуваних робіт в інвестиційні групи, кожна з яких формується згідно з програмними цілями, політикою і бюджетними обмеженнями;
- порівняльний аналіз розподілу довгострокових капіталовкладень;
- подання підсумкових даних з різних трендів зміни капіталовкладень;
- видача статистичної інформації, необхідної для звітності.

Поряд з основними підсистемами, орієнтованими на дані та моделі, до складу ISDS введено підсистему “історичних аналогій”, в якій накопичується досвід практичного використання системи. Підсистема допомагає керівникові враховувати колишні успіхи і невдачі при формуванні варіантів планів довгострокових капітальних вкладень, дозволяє перевіряти правильність рішень в історичній перспективі, порівнюючи їх з аналогічними ситуаціями у минулому.

### **Система IFPS**

Система IFPS (Interactive Financial Planning System) підтримує процеси розв'язування проблем, будуючи зрозумілі ділові ситуації. Основні моделі IFPS, завдяки яким система стала корисним інструментом для керівників, містять мову моделювання і структуру команд, які дають змогу описувати проблеми звичною для людини мовою і діставати результативні рішення (розв'язки) у табличному вигляді. IFPS здатна виражати співвідношення між клітками таблиці, інтерпретація значень яких цілком перебуває в розпорядженні користувачів.

Робота із системою починається з опису потрібної моделі мовою моделювання, який супроводжується вводом послідовності положень, що визначають джерела даних для рядків і стовпців, а також співвідношень для обчислення значень розв'язків. При цьому користувач може викликати різні програми, вносити коментарі, визначати логічні умови, обмеження та сфери використання даних, виконувати процедури, пов'язані з аналізом ризику, і ряд інших функцій. Система дає змогу розв'язувати досить широкий спектр задач: добір балансових підсумків, розподіл прибутку за статтями доходів, передбачення змін валютних курсів, прогнозування, аналіз ризику розробки стратегії збуту продукції, збір науково-дослідних проектів, стратегічне планування, планування прибутку і бюджету, вибір між стратегіями закупівлі або виготовлення власними силами продукції, тощо.

### **Система MAUD**

Система індивідуального призначення MAUD (Multi Attribute Utility Decomposition) поширена у Великобританії в “центрах зайнятості” для надання допомоги у виборі можливого місця роботи на підставі особистих уявлень клієнтів про бажаний характер майбутньої (можливої) діяльності. Підтримка прийняття рішень у цій специфічній ситуації (ситуація індивідуального вибору) забезпечується інтерактивністю та гнучкістю СППР: система працює разом з користувачем, розвиваючи і змінюючи його уявлення про проблему, структура і зміст якої мають бути описані в термінах багатокритеріальної оцінки альтернативних варіантів. Робота із

системою розпочинається з короткого опису альтернатив (об'єктів), між якими буде проводитись вибір. Користувачеві, засобами звичної йому мови, пропонується дати багатокритеріальну оцінку кожного з можливих варіантів. Далі система перевіряє узгодженість інформації, поданої людиною, виявляє суперечності і визначає цінність інформації, що надходить. Після цього інформація вводиться до системи і на основі концепції багатокритеріальної теорії корисності видаються пріоритети користувача, що дає змогу ранжувати об'єкти вибору. Упорядкований таким чином список варіантів супроводжується даними про важливість кожного з критеріїв оцінки. Під час роботи із системою можна вносити корективи, включати і виключати об'єкти і критерії, змінювати власні оцінки та пріоритети. Якщо система виявить суперечності в дії користувача, то вона відсилає його до тієї процедури, де ця суперечність виникла. Важливою характерною особливістю системи MAUD є те, що вона дає змогу переривати роботу із системою в будь-якому місці, причому подальше поновлення перерваної роботи можливе в зручній для користувача час без проведення додаткового налагодження.

Система "**Darwin**", розроблена компанією Thinking Machines (Бедфорд, шт. Массачусетс), дозволяє будувати моделі на основі нейромереж і дерев рішень, а також використовувати методи візуалізації та класифікації даних.

Пакет "**PowerPlay 5.0**" фірми Cognos виконує багатовимірний аналіз даних, що включають до двох і більше мільйонів записів, у масштабі корпоративного підприємства (понад 2000 користувачів). Система дозволяє: будувати тривимірні графіки і діаграми, ранжувати дані, негайно повертатись до верхнього рівня ієрархії даних і систем меню, повністю обумовлених ОНР.

ROLAP-система "**DSS Agent**" компанії MicroStrategy (Вієнна, шт. Вірджінія) надає для побудови інформаційних сховищ інтегрований набір інструментів і методів об'єднання даних з різномірних джерел. Проект "**Pablo for Windows**" фірми Andyne Computing (Кінгстон, Канада) пропонує СПНР, що дозволяє переглядати узагальнені вибірки на основі даних з реляційних баз даних і маніпулювати ними.

Програмний пакет "**Integrity Data Re-engineering Tool**" виробництва компанії Vality Technology надає середовище програмування, яке можна використати для дослідження, стандартизації та інтегрування даних з різних джерел. "Integrity" виявляє нову інформацію і набори правил з оперативних даних, що дозволяє розроблювачам інформаційних сховищ планувати та визначати моделі даних, які правильно відображають складності реального світу.

Продукти зберігання даних фірми Red Brick Systems дозволяють: швидко розробляти і встановлювати додатки для керування; будувати запити до БД будь-якого розміру, які містять інформацію, зібрану з різнорідних джерел; забезпечувати найкращий доступ до узагальнюючої та докладної інформації в єдиній базі даних.

Серед російських розробок слід відзначити такі.

Нейронно-мережевий пакет **"STATISTICA Neural Networks"** компанії StatSoft-Росія, який надає можливість автоматично одержувати ефективні рішення слабоструктурованих завдань, у яких нераціонально використовувати традиційні статистичні методи.

У системі реалізовано повний набір архітектур нейромереж, алгоритмів навчання (методи зворотного поширення, квазі-ньютонівський, Левенберга-Марквардта, Кохонена, квантування навчального вектора і т. ін.), потужні засоби візуалізації даних, що допомагають оцінювати якість роботи мережі та оцінювати прогнози. Крім того, у систему закладені генетичні алгоритми відбору вхідних даних, а також повний інтерфейс прикладного програмування (API), який дозволяє включати нейронні мережі в інші додатки. На основі методів штучного інтелекту реалізовано підсистему "Майстер розв'язання задач", який дозволяє автоматизувати вибір найкращої архітектури і побудови мережі.

Система **"PolyAnalyst"** представлена російською компанією Megaruter Intelligence як інструментарій для автоматичного витягування з даних вирішуючих правил, залежностей та інших знань, на основі яких можуть прийматися керуючі рішення.

В основі системи "PolyAnalyst" лежить набір методик і алгоритмів аналізу даних – як традиційних, так і сучасних – метод автоматичного виявлення розмитих нелінійних залежностей та інструментарій побудови довільних нелінійних регресійних моделей методами еволюційного програмування.

### **6.7 Приклад побудови СППР у банку**

У даному випадку об'єктами виступають засоби доступу до даних і методи їх аналізу, системи збору, збереження, обробки і передачі інформації, комунікаційні системи і т. ін., а як суб'єктів – аналітики, експерти і керівники.

Взаємини між суб'єктами СППР – від постановки проблеми до ухвалення рішення – розрізняються в кожній окремо узятій організації, і їхній опис потребує окремого обговорення. Тому основна увага сконцентрована на структурі і можливостях аналітичного програмного комплексу (АПК).



АПК – універсальний інструментальний засіб збору, консолідації, обробки і аналізу великих обсягів інформації. Він здатний на основі наявних даних, наприклад про клієнтів банку, філіях, зроблених банківських операціях, послідовності зовнішніх подій і т. ін. виконувати такі дії:

- аналізувати поточний стан головного банку і його філій, а також клієнтів банку;
- оцінювати стан банків-кореспондентів;
- прогнозувати поведження різних показників;
- автоматично відслідковувати, що відбувається і чи насуваються критичні події;
- аналізувати взаємозв'язок подій і процесів, що відбуваються одночасно, а також подій, зміщених у часі;
- на основі виявлених взаємозв'язків прогнозувати поведження одних показників у залежності від значень інших.

АПК складається з трьох підсистем: підсистеми збору і збереження даних, підсистеми доступу до даних, аналізу і репортингу та підсистеми адміністрування.

### **Підсистема збору і збереження даних**

Фактично під цим терміном розуміють проект стосовно створення банківського сховища даних. До його функцій відносяться такі:

- перетворення різнорідних даних з різних джерел до єдиного формату;
- перевірка логічної коректності і повноти інформації, що вводиться;
- контроль за виконанням регламенту надходження і повноти інформації, що вводиться;
- збереження поточних та історичних даних;
- забезпечення зручного доступу до збереженої інформації.

Першоджерелами інформації є основна АБС банку, інші інформаційні системи, що реєструються, платна інформація таких агентств, як Reuters, і зведена інформація з мережі Інтернет. В АПК передбачено також введення даних вручну, що дозволяє експертам вводити задані коефіцієнти.

На сьогодні найбільш ефективним рішенням є організація сховища даних на основі реляційної СУБД. Сучасні СУБД забезпечують високу продуктивність на аналітичних запитах і мають цілий ряд переваг перед MOLAP-серверами, у тому числі підтримують можливість використання існуючої в банку СУБД, збереження та обробки набагато більших обсягів даних, а також забезпечують відкритість платформи. Для реалізації невеликого проекту процедури вибору даних із джерел, очищення і

перетворення їх до єдиного формату, а завантаження у сховище можна реалізувати без використання спеціального ПЗ. Однак у великих банках це сильно ускладнить розвиток і підтримку системи у майбутньому. Найбільш ефективним шляхом є використання Sybase Adaptive Server IQ для організації сховища і Ascential DataStage для керування ним.

Інформацію, що утримується в сховищі, необхідно також розділити для потреб різних департаментів по вітринах даних. Крім даних, що надходять з центрального сховища АПК, вітрина може містити інформацію, отриману з інших джерел.

### **Підсистема доступу до даних, аналізу і репортингу**

Для безпосередньої обробки даних у сховищі пропонується використовувати програмне забезпечення Business Objects – одного з лідерів на ринку засобів доступу і репортингу, що максимально відповідає сьогоденним рівневі вимог до аналітичних інформаційних систем.

Ядром підсистеми є семантичний процесор, у якому визначені правила перетворення фізичних об'єктів БД у терміни предметної області. Такий підхід, який реалізовано на рівні ядра, дозволить користувачам самостійно брати інформацію із сховища і вітрин даних, виконувати OLAP-аналіз і створювати професійно оформлені звіти.

### **Інструмент опису семантичного шару**

Семантичний процесор створюється за допомогою BusinessObjects Designer. Програміст або адміністратор, хто знає як інформація «лежить» у базі, створює каталог термінів кінцевого користувача і визначає для кожного терміну метод одержання даних (фрагменти запиту SQL). Тут також задаються вихідні ієрархії вимірів і вихідні формати відображення об'єктів у звітах. У створених словниках реалізована можливість коректно працювати на довільних структурах відносин і зв'язків між таблицями, не обмежуючись найпростішою «зіркою» або «сніжинкою».

Уся принадність словників полягає ще й у тому, що в них дані та їх сукупності вибудовуються у виді багатовимірного куба. У такий спосіб, при їх подальшому аналізі та відображенні у звітах, можна з легкістю вибрати осі представлення даних із усієї доступної множини осей, надаючи повну інформацію для візуального аналізу.

Деякі характеристики об'єкта можна визначити складною функцією, що задається надалі звичайною змінною. Шляхом групування об'єктів у словнику можна створити будь-яку ієрархію даних.

## Основні можливості

При побудові різних звітів АПК має широкі можливості масштабування, «розгортання» формул (drill-down) і побудови похідних графіків, а також спеціальними аналітичними функціями. Усе це можливо за рахунок великого інструментарію.

Першим інструментом є комплекс продуктів BusinessObjects, BusinessMiner і Set Analyzer. З їхньою допомогою реалізуються такі функції:

- *Прогнозування* – на підставі наявних даних про значення показників система може прогнозувати їх поведження у майбутньому; результат прогнозу відображається на графіку.
- *Аналіз «що буде, якщо»* – використовуючи отриманий прогноз, користувач може виконувати аналіз «що буде, якщо». У процесі його виконання система знаходить закономірності, що враховують взаємозв'язки між показниками. Користувач може задати конкретні значення одного або декількох показників для різних моментів часу і у результаті виконання аналізу одержати картину поведження інших значень. Спосіб врахування взаємозв'язку можна добудовувати – при зміні значення показника в якій-небудь точці може змінюватися поведження як на його власній кривій, так і інших кривих. Користувач може задати черговість, з якою система буде враховувати зазначені закономірності.
- *Моніторинг* – існує безліч методик, що дозволяють аналізувати стан справ у тій чи іншій області і сигналізувати про несприятливу ситуацію (або, навпаки, про можливість здійснення вигідних операцій). У той же час задача підрахунку і перевірки великої кількості необхідних показників для різних областей завжди була надзвичайно трудомісткою.
- *Аналіз клієнтської бази* – за допомогою Set Analyzer фахівці банку можуть здійснювати сегментацію й оцінювати рух клієнтів між сегментами. Даний вид аналізу розрахований на маркетологів банку і є одним з компонентів стратегії банку по керуванню взаєминами з клієнтами.

За допомогою інструментів моніторингу, реалізованих в АПК, у системі автоматично ведуться регулярний розрахунок і перевірка значень великого числа показників. У випадку порушення заданих обмежень система інформує про це банківського аналітика.

Сутність моніторингу можна представити на прикладі класичної панелі керування технічним об'єктом, на яку виведена велика кількість різних приладів і індикаторів (стрілок, лампочок і т.п.). У нормальному робочому режимі на більшість цих приладів персонал не звертає уваги, але

якщо раптом виникла екстрена (нештатна) ситуація, то на панелі керування засвічується відповідна лампочка, що вказує на яку ділянку варто звернути увагу. Точно так само у процесі моніторингу набір своєрідних «червоних лампочок» сигналізує про позаштатні ситуації.

У дійсній версії АПК контролю підлягають абсолютне значення показника, його відносні зміни, абсолютне і відносне відхилення від моделі, а також монотонність. При задаванні параметрів моніторингу можна використовувати граничні умови таких типів:

- Абсолютна верхня границя. Вона спрацьовує, якщо значення показника виявилось вище встановленого числа.
- Абсолютна нижня границя; спрацьовує, якщо значення показника виявилось нижчим встановленого числа.
- Відносне відхилення – вказується величина припустимого відхилення у відсотках. Спрацьовує, якщо значення показника змінилося більш ніж на задану величину у порівнянні з попереднім днем;
- Абсолютне відхилення від моделі.
- За модель вибирається інший показник, і вказується величина припустимого відхилення від нього. Спрацьовує, якщо модуль різниці між значеннями показника і моделі перевищив величину заданого відхилення;
- Відносне відхилення від моделі. Цей випадок аналогічний попередньому, однак тут величина відхилення задається у відсотках від значення моделі.
- Монотонність – вказується кількість днів до поточної дати, за які перевіряється монотонне зниження (зростання) значення показника. Спрацьовує, якщо на цьому інтервалі показник немонотонний.

### **Рейтинг-аналіз**

До складу АПК входить спеціальний набір програмних засобів і інструментів, що дозволяють аналізувати дані про довільний набір об'єктів і формувати на підставі їхніх показників різні рейтинги. Рейтинг-аналіз дозволяє оцінювати як поточний стан сукупності об'єктів, так і їх стан у минулому. При цьому здійснюється порівняння отриманого результату із станом інших аналогічних сукупностей або із заданими попередньо середніми характерними значеннями. В АПК реалізовано широкий спектр можливостей перегляду різних діаграм і складання рейтингів-звітів.

Ще одним інструментом аналізу і представлення даних є WebIntelligence, що має могутні засоби побудови звітів через веб-браузер. Користувач може будувати і переглядати звіти, задаючи довільні запити до

баз даних знову ж у термінах свого бізнесу. WebIntelligence використовує ті ж словники, що і «товстий клієнт» BusinessObjects.

Підсистема збору, аналізу і репортинга може бути розширена за рахунок відкритості ПЗ Business Objects. Банківські розроблювачі можуть самостійно створити якесь налагодження, орієнтоване на розв'язання конкретних аналітичних задач. Можна також скористатися ПЗ таких виробників, як SPSS.

Окремо необхідно виділити те, що аналітичні звіти зберігаються в одному місці. За бажанням можна завантажити будь-який звіт з домена документів (якщо це право регламентоване адміністратором системи).

### **Довідники**

Механізм роботи з довідниками дозволяє користувачеві переглядати інформацію з окремих і балансових рахунків, філіям, валютам і клієнтам. При перегляді користувач може робити сортування, пошук потрібного елемента, переходити між довідниками за посиланнями і здійснювати фільтрацію (наприклад, переглядати тільки клієнтські особові рахунки, тільки рахунки великих клієнтів або тільки особові рахунки, відкриті на даному балансовому рахунку).

Користувачеві надається можливість створювати нестандартні довідники, відбираючи інформацію для перегляду, а також добудовувати перехресні посилання на інші довідники.

Довідники можуть бути зв'язані між собою: за елементом одного можна викликати інший, зв'язаний з ним довідник або повністю, або у відфільтрованому за значенням елемента вигляді. Наприклад, логічно назвати зв'язаними рівні плану рахунків: розкриваючи розділ плану рахунків, користувач звичайно хоче бачити також балансові рахунки 1-го порядку даного розділу, розкриваючи кожний з них – балансові рахунки 2-го порядку і т.д.

Реалізована можливість перегляду попередньо введеної додаткової інформації з довідника. Зміст будь-якого довідника залежить від дати його перегляду. У випадку якщо після останнього перегляду довідника в системі здійснювалось наочування або редагування даних і існує імовірність, що зміст довідника змінився, АПК видасть відповідне повідомлення і запропонує оновити інформацію. Користувач може зробити оновлення або відмовитися від нього.

Реалізовано можливість швидкого переключення між різними довідниками. Наприклад, один з них може мати невелику кількість полів і швидко завантажуватися, а другий, навпаки, мати велику кількість полів; відповідно, такий довідник завантажуватиметься повільніше. Якщо при

перегляді першого довідника з'являється необхідність у більш докладній інформації, то можна швидко переключитися на другий.

Зміни конфігурації довідника зберігаються у пам'яті системи для того самого користувача до наступного сеансу роботи з ним. Інший користувач, відповідно, може налаштувати конфігурацію для себе.

### **Підсистема адміністрування**

Інструменти адміністрування розділені на дві частин – засоби адміністрування сховища даних (Sybase і Ascential) і засоби керування системою аналізу і звітності (Business Objects), представлені в BusinessObjects Supervisor. Перші дозволяють обслуговувати сховище даних, добудовувати фізичні форми доступу до об'єктів бази, ETL-процедури, другі – регламентувати роботу кінцевих користувачів.

Застосування системи BusinessObjects в АПК для банку обґрунтовано і з погляду масштабу системи. ПО Business Objects традиційно проектувалося для використання в корпоративних системах. Організація єдиного репозиторія дозволяє істотно підвищити інформаційну безпеку підприємства. Фізично репозиторій розташовується в реляційній СУБД і містить повну інформацію про користувачів системи та їхніх прав доступу до даних і функцій, а також семантичний процесор і документи. Наявність єдиного репозиторію спрощує адміністрування системи.

### **Зведений перелік аналітичних і управлінських задач, що розв'язуються АПК**

Тепер, коли зрозуміло структуру і можливості аналітичного комплексу, наведемо повний перелік задач, які можна за його допомогою вирішувати в банку, і завдяки цьому приймати зважені рішення:

- аналіз кредитного портфеля (у тому числі стан кредитного портфеля, структура кредитного портфеля, прибутковість кредитного портфеля);
- аналіз кредитного ризику (у тому числі розподіл по групах ризику, оцінка заборгованості, зваженої із врахуванням ризику, аналіз структури портфеля цінних паперів);
- аналіз доходів і витрат банку (у тому числі аналіз прибутковості активів, аналіз витрат за пасивними операціями, розрахунок структури доходів і витрат, аналіз динаміки доходів і витрат банку);
- аналіз власних засобів і капіталу банку (у тому числі аналіз забезпеченості власними засобами);
- аналіз стану клієнтської бази (у тому числі аналіз прибутковості клієнтів, структурний аналіз клієнтської бази, якісний аналіз клієнтської бази, аналіз клієнтських платежів, зміни структури

клієнтської бази, зміни затребуваності продуктів за групами клієнтів, виявлення прихованої афільованості клієнтів, аналіз фінансового становища кредиторів/позичальників, фундаментальний аналіз підприємств і потенційних клієнтів);

- аналіз фінансового стану банку (у тому числі аналіз фінансової діяльності і ранжирування філій, аналіз економічних нормативів діяльності банку, методика аналізу фінансової стійкості, експрес-аналіз, комплексний і порівняльний аналіз банків, дослідження положення свого банку щодо конкурентів, розрахунок лімітів за видами операцій, за інструментами і за контрагентами, аналіз контрагентів на ринку МБК, розрахунок лімітів по МБК);
- аналіз структури балансу (у тому числі аналіз активів-пасивів за термінами розміщення, управління активами-пасивами, аналіз динаміки балансових статей, аналіз оборотного балансу, аналіз, моніторинг і прогноз дотримання встановлених нормативів, складання і аналіз загальної фінансової звітності (ЗФЗ), аналіз балансу за термінами, аналіз позабалансових рахунків, аналіз рентабельності банківських операцій і банківських продуктів, аналіз рентабельності підрозділів, трансферне ціноутворення);
- бюджетування, планування і контроль (у тому числі структура планування – за центрами звітності (ЦЗ), за центрами фінансової відповідальності (ЦФВ), за центрами прибутку (ЦП), за центрами витрат (ЦВ), за центрами ціноутворення (ЦЦ), види планування – від досягнутого, за вимогами/зобов'язаннями, за платежами, контроль виконання – план/факт, розбіжність абсолютна і процентна, тренди);
- аналіз кадрових ресурсів (у тому числі аналіз структури трудових ресурсів за рівнем освіти, спеціальностях і інших групах, аналіз структури філій і підрозділів за кількістю і якістю персоналу, аналіз ефективності діяльності філій, порівняння витрат на зарплату за різними групами у різних філіях в залежності від прибутку філій);
- інформаційна база новин і аналіз зовнішньої економічної інформації.

Звертаємо увагу, що деякі з перерахованих вище задач мають універсальний характер і не відносяться винятково до банківської сфери. Разом з цим є ряд чисто банківських задач.

### **Етапи впровадження системи та її налагодження**

Побудова і впровадження системи підтримки прийняття рішень – це якісний позитивний стрибок у подальшому розвитку організації. Однак для здійснення подібного стрибка необхідно вкласти деяку критичну масу грошей і часу, після чого можлива віддача. Бар'єром для впровадження багатьох готових комплексів стає вартість. Більшість керівників ще не

готові викладати значні кошти за розпливчасті можливості та обіцянки. Адже замовникові надається в основному інструментарій, що включає засоби розробки і набір готових методів. Найчастіше для налагодження СППР під конкретну систему ведення бізнесу потрібно витратити стільки ж зусиль, скільки вистачило б на побудову своєї власної системи, що задовольняє сучасному розвитку технологій. Досвід засвідчує, що термін введення готової системи в експлуатацію складає від шести місяців до одного року.

Зауважимо, що створювати систему краще самому, використовуючи передові розробки в області програмного забезпечення – це найбільш дешевий варіант системи. При цьому принципово необхідною задачею буде формування інформаційного поля, орієнтованого на аналітичну обробку – як за структурою, так і за змістом.

Розвиток системи представляє собою введення нових модулів, що відповідають за окремі задачі і нерозривно пов'язані з іншими компонентами системи. У цьому випадку термін впровадження системи явно збільшиться у два рази, однак система буде включати більшу розмаїтість у засобах аналітичної обробки.

Розробка і впровадження системи підтримки прийняття рішень, подібної описаної вище, відбуваються у відповідності до наступного плану.

### **Розробка**

1. Визначити потреби і описати основних користувачів системи.
2. Визначити бажані результати функціонування системи.
3. Визначитися з джерелами даних.
4. Розробити інформаційну модель системи.
5. Вибрати спосіб збереження даних і тип сховища.
6. Вибрати систему візуалізації і аналізу даних.
7. Розробити технологічну модель системи.
8. Підготувати графік впровадження системи і відповідальних виконавців.

### **Впровадження і налагодження системи**

1. Закупівля і установка програмного забезпечення.
2. Розмежування користувацьких прав доступу до системи.
3. Підготовка структури бази для заповнення даними і встановлення взаємозв'язків.
4. Наповнення сховища даними.
5. Пробна реалізація однієї із передбачених проектом підзадач СППР.
6. Демонстрація й оцінювання реалізованих можливостей системи.



7. Корегування подальших планів стосовно подальшого розвитку системи.
8. Реалізація підзадач, що залишилися.

### **Супровід і подальший розвиток системи**

1. Поточне адміністрування системи.
2. Навчання користувачів.
3. Подальша робота стосовно модернізації системи.

### **Контрольні задачі і запитання**

1. Сформулюйте умови успішної реалізації СППР.
2. Опишіть структуру вимог замовника інформаційної системи. Наведіть (сформулюйте) приклад таких вимог.
3. Наведіть основні фактори ризику, які зустрічаються при проектуванні і реалізації СППР.
4. Надайте опис процесу ідентифікації та менеджменту ризиків при розробці інформаційних систем.
5. Які заходи виконавця проекту гарантовано зменшують ризик невиконання проекту?
6. Вкажіть які існують етапи процесу розробки та реалізації СППР.
7. Які елементи містить технічне завдання на проект?
8. Наведіть основні вимоги користувача і функціональні вимоги до СППР для прогнозування часових рядів.
9. Опишіть основні елементи проекту СППР.
10. Вкажіть послідовність програмування модулів та тестування інформаційної системи.
11. Розкрийте особливості проектування і реалізації СППР на основі створення її прототипу.
12. Перелічіть недоліки та переваги прототипу?
13. Що означає термін «еволюціонуючий прототип»?
14. Охарактеризуйте основні СППР, що пропонується на ринку інформаційних послуг.

## РОЗДІЛ 7

# ПОБУДОВА СППР ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ДИНАМІКИ ЧАСОВИХ РЯДІВ РІЗНОЇ ПРИРОДИ

### 7.1 Прогнозування на основі часових рядів

Прогнозування на основі часових рядів – один із самих популярних підходів до прогнозування розвитку економічних процесів, об'ємів торгових операцій, об'ємів виробництва та накопичення продукції на складах, оцінювання альтернативних економічних стратегій, формування бюджетів підприємств та держави, прогнозування та менеджмент економічних і фінансових ризиків та інше [6]. Загалом методи прогнозування можна розділити на три широкі класи [9]:

1. прогнозування на основі суджень, тобто, прогнозування, що ґрунтується на суб'єктивних судженнях (оцінках), інтуїції, поглиблених знаннях конкретної області та іншій інформації, що має відношення до прогнозованого процесу – так зване передбачення;
2. методи прогнозування на основі використання часового ряду однієї змінної, тобто, на основі авторегресії, авторегресії з ковзним середнім (АРКС) та АРКС плюс модель тренду;
3. методи прогнозування на основі використання часових рядів декількох змінних [10].

В останньому випадку ендогенна змінна, що прогнозується, залежить від декількох регресорів або екзогенних змінних у правій частині рівняння. Очевидно, що в загальному випадку метод прогнозування може поєднувати у собі 2-3 наведених вище методи. На сьогоднішній день в спеціальній літературі описано багато методів прогнозування на основі використання часових рядів. Найбільш поширеними серед них є метод групового врахування аргументів (МГВА), регресійний аналіз (авторегресія (АР), авторегресія з ковзним середнім (АРКС), авторегресія з інтегрованим ковзним середнім (АРІКС), лінійна та нелінійна множинна регресія, квантильна регресія, регресійні дерева), нейромережі, байєсівські мережі, нечіткі множини, нечіткі нейромережі та інші.

В загальному випадку прогноз може бути представлений одним (точковим) значенням змінної, інтервалом, в який попадає випадкова змінна, а також ймовірністю прийняття змінною (чи подією) деякого значення у вибраному інтервалі. Якщо для опису процесу застосовують лінгвістичні змінні, то прогнозом буде нечітке лінгвістичне значення, але його також можна перетворити в чітке число.

Можна по-різному ставити задачу прогнозування в залежності від рівня прийняття рішення та конкретної поставленої задачі управління чи контролю. Прогнозування може стосуватись таких складових процесу:

- детермінованого тренду, як індикатора довгострокових змін процесу;
- випадкового (нерегулярного) тренду, як показника коротко- та середньострокових змін;
- короткострокових змін, тобто, прогнозування коливань (відхилень), що накладаються на тренд;
- сезонних ефектів;
- приростів (швидкості) зміни процесу, які визначаються першими різницями;
- дисперсії або стандартного відхилення, як міри розсіювання процесу (наприклад, волатильність, яку часто використовують за міру ризику у інвестуванні або міру якості на виробництві);
- якісних змінних (за допомогою нечітких множин, мереж Байєса і т. ін.);
- комбінацій вказаних елементів процесів.

Відповідно до того, які складові процесу необхідно прогнозувати, ставиться задача побудови математичної, ймовірнісної (ймовірнісно-статистичної) або логічної моделі, що має меті забезпечити високу якість прогнозу на заданому горизонті. Розглянемо деякі можливості математичного опису складових процесів різної природи.

### Детермінований тренд

Якщо описати детермінований тренд за допомогою полінома від часу довільного порядку

$$y(k) = a_0 + a_1 \cdot k + a_2 \cdot k^2 + \dots + a_p \cdot k^p + \varepsilon(k), \quad E[\varepsilon(k)] = 0,$$

то визначення прогнозу тренду зводиться до підстановки в це рівняння бажаного значення часу  $k$  і застосування безумовного математичного сподівання. Прогнозування значень тренду вважається довгостроковим, оскільки детермінований тренд вказує на довгострокові зміни процесів. Обмеження на випадковий процес,  $E[\varepsilon(k)] = 0$ , необхідне для коректного застосування методів оцінювання моделей, а також для подальшого аналізу якості оцінок прогнозів. Ця вимога забезпечується автоматично, якщо метод оцінювання параметрів моделі вибрано коректно у відповідності до відомих статистичних характеристик процесу, що моделюється.

### Стохастичний тренд

Для опису і прогнозування стохастичного тренду можна скористатись, наприклад, відомим рівнянням випадкового кроку із перетином (константою):

$$y(k) = a_0 + y(k-1) + \varepsilon(k),$$

розв'язок якого має вигляд:

$$y(k) = y_0 + k a_0 + \sum_{i=1}^k \varepsilon(i).$$

Сума  $\sum_{i=1}^k \varepsilon(i)$  в правій частині останнього рівняння описує випадкову складову тренду. Цю складову називають ще *нерегулярною*.

### Прогнозування коливань, що накладаються на тренд

Колівання, що накладаються на тренд, або короткострокові зміни процесу, можна описати рівняннями авторегресії з ковзним середнім:

$$y(k) = \sum_{i=1}^p a_i y(k-i) + \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon(k-j) + \varepsilon(k).$$

Техніку обчислення прогнозу за допомогою такої моделі з використанням умовного та безумовного математичного сподівання розглянемо нижче в цьому розділі.

При переході до перших та різних вищих порядків із процесу вилучається тренд відповідного порядку. Наприклад, якщо процес містить лінійний тренд, то його вилучають перші різниці; тобто після переходу до різниць ми маємо справу з коливаннями, що накладаються на тренд.

Можливість прогнозування *сезонних ефектів* досягається за рахунок введення у модель процесу відповідних значень основної змінної із затримками (лагами), що відповідають періодичності ефекту. Як буде показано нижче, сезонний ефект може бути врахований як за допомогою основної змінної, так і за допомогою відповідного процесу ковзного середнього в адитивній та мультиплікативній формах. При цьому якість моделі (і оцінки прогнозу) можуть бути різними. Сезонний ефект може супроводжуватись гетероскедастичністю, тобто зміною дисперсії процесу у часі, що приводить до появи ще до однієї задачі – прогнозування дисперсії.

## Прогнозування дисперсії процесу

Якщо дисперсія процесу змінюється в часі, то для її опису можна вибрати рівняння для формування відповідної функції прогнозування та обчислення в подальшому оцінки прогнозованого значення. Процеси зі змінною дисперсією отримали назву гетероскедастичних. Методика побудови моделей гетероскедастичних процесів передбачає наступні кроки:

- математичний опис самої змінної рівнянням авторегресії невисокого порядку (наприклад, першого);
- математичний опис умовної дисперсії, як динамічної змінної, за допомогою рівняння прийнятної (за якістю прогнозу) структури.

### Умовні та безумовні статистичні характеристики

При виконанні статистичного аналізу випадкових процесів використовують *умовні та безумовні статистичні характеристики*. Зокрема, для знаходження короткострокових та довгострокових прогнозів розвитку процесів застосовують умовне,  $E_k$ , та безумовне,  $E$ , математичне сподівання, відповідно. Різниця у визначенні цих характеристик полягає у наступному.

*Безумовні статистичні характеристики* – це константи, які розглядають і оцінюють на довільних часових інтервалах, не накладаючи умов на змінні, функції та об'єми інформації, необхідної для визначення цих характеристик. Тобто інформація для обчислення дисперсії вважається відомою і постійною на всьому інтервалі, що розглядається в процесі аналізу.

Так, безумовне математичне сподівання використовують для знаходження довгострокових прогнозів або умов економічної рівноваги (в економетриці). Наприклад, безумовні вибіркове середнє і дисперсія обчислюються за відомими простими формулами:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y(k), \quad \text{Var}(x) = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N [x(k) - \bar{x}]^2,$$

а безумовне математичне сподівання позначається символом  $E$ . У виразі для дисперсії немає необхідності зменшувати значення  $N$  на одиницю, якщо потужність ряду досить велика, наприклад, декілька десятків.

*Умовні статистичні характеристики* в аналізі динаміки процесів, представлених часовими рядами, – це *функції часу*, які визначають на кожний конкретний момент часу  $k$ . При цьому для їх обчислення

необхідно, щоб на вибраній (заданий) момент була в наявності інформація стосовно значень змінних та функцій, яка необхідна для виконання відповідних обчислень.

Умовне математичне сподівання застосовують для визначення короткострокових та середньострокових прогнозів. Умовну дисперсію процесу і стандартне відхилення також часто використовують як міру ризику. Наприклад, при аналізі фінансових процесів, формуванні правил торгівлі на біржі, аналізі банківських та економічних ризиків. В технічних системах дисперсія також відіграє значну роль при визначенні ступеня відхилення вузла (наприклад, підшипника, корпусного елемента, крила) від нормального (заданого) робочого стану. Тому вміння правильно аналітично описати дисперсію дає можливість з високою точністю описати і спрогнозувати значення відхилень від норми.

Так, умовне математичне сподівання стохастичного процесу AP(1) визначається за виразом:

$$E_k [y(k+1) | y(k), y(k-1), \dots, y(0), \varepsilon(k), \varepsilon(k-1), \dots, \varepsilon(0)] = \\ = E_k [a_0 + a_1 y(k) + \varepsilon(k+1)] = a_0 + a_1 y(k)$$

за умови, що  $E_k [\varepsilon(k+l)] = 0, l \geq 1$ . Умовне вибіркове середнє та умовну вибіркору дисперсію можна наближено обчислити за виразами:

$$\bar{x}(k) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x(i); \quad \text{var}_k(x) = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k [x(i) - \bar{x}(k)]^2, \quad k = 2, \dots, N.$$

В результаті застосування цих виразів отримаємо ряд значень умовного середнього та умовної дисперсії, тобто ще дві характеристики процесу, якими можна скористатись при побудові математичних і статистичних моделей.

Наближені значення умовних вибіркових статистичних характеристик можна визначити, також, за аналогією із обчисленням ковзного середнього. При такому підході необхідно вибрати ширину ковзного вікна і обчислювати значення статистичного параметра рухаючись крок за кроком від початку до кінця часового ряду. Наприклад, якщо вибрати вікно шириною п'ять значень ряду, то умовна дисперсія буде обчислюватись за виразом:

$$\text{var}_k(x) = \frac{1}{4} \sum_{i=k-2}^{k+2} [y(i) - \bar{y}]^2, \quad k = 3, \dots, N-2,$$

або у загальному вигляді:

$$\text{var}_k(x) = \frac{1}{d-1} \sum_{i=k-(d-1)/2}^{k+(d-1)/2} [y(i) - \bar{y}]^2, \quad k = \frac{d-1}{2}, \dots, N - \frac{d-1}{2},$$

де  $d$  – ширина ковзного вікна. Ширина вікна залежить від того, наскільки швидко змінюється у часі дисперсія. Якщо вона має високу динаміку, то ширину вікна вибирають рівною 5-9. Незважаючи на наближеність таких розрахунків, практика моделювання свідчить, що обчислені значення виявляються досить корисними при побудові моделей.

У складніших випадках обчислюють функцію умовної дисперсії, яка точніше відображає характер її зміни у часі. Наприклад, можна розглянути таку модель процесу:

$$y(k) = \sqrt{f[x(k)]} \varepsilon(k), \quad (7.1)$$

$$\varepsilon(k) = \beta \varepsilon(k-1) + v(k), \quad (7.2)$$

де  $y(k) \in \mathfrak{R}$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$ ;  $\{v(k)\}$  – множина незалежних однаково розподілених (НОР) величин, що мають нормальний розподіл з параметрами  $N(0,1)$ ;  $\beta \in \Theta = (-1; 1)$ ;  $f[x(k)] \in C^p[0,1]$ . Припущення про те, що  $v(k)$  – гаусів процес зроблено для зручності викладок та забезпечення коректної умови для оцінювання параметрів. Змінна  $x(k) \in [0,1]$  упорядкована за значеннями, тобто:

$$x(1) \leq x(2) \leq \dots \leq x(N),$$

де  $x(k) = \frac{k}{N}$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$ . Функцію  $f[x(k)]$  називають функцією дисперсії, хоча вона не повністю описує дисперсійно-коваріаційну структуру процесу (7.1) – (7.2). Припустимо, що  $f[x(k)]$  має  $p$  неперервних похідних. Безумовну дисперсію процесу  $y(k)$  можна визначити таким чином:

$$\begin{aligned} \text{var}[y(k)] &= f[x(k)] E[\varepsilon^2(k)] = f[x(k)] E\{[\beta \varepsilon(k-1) + v(k)]^2\} = \\ &= \{\beta^2 E[\varepsilon^2(k-1)] + E[v^2(k)]\} f[x(k)] = \\ &= \beta^2 f[x(k)] E[\varepsilon^2(k-1)] + f[x(k)] = \\ &= \beta^2 \text{var}[y(k)] + f[x(k)]. \end{aligned}$$

Звідси отримаємо:

$$\text{var}[y(k)] = \frac{f[x(k)]}{1 - \beta^2}.$$

Таким чином, процес (7.1) – (7.2) є умовно і безумовно гетероскедастичним. Задача полягає у тому, щоб коректно побудувати та оцінити функцію  $f[x(k)]$ .

## 7.2 Побудова функцій прогнозування

### Прогнозування без знаходження розв'язку рівнянь

Структура різницевого рівняння така, що воно дозволяє виконувати прогнозування на один крок (один період дискретизації вимірів) без додаткових перетворень. Тобто у праву частину необхідно підставити минулі значення змінних і обчислити оцінку прогнозу головної змінної в лівій частині. Але для того щоб знайти оцінку прогнозу на більше число кроків, необхідно застосувати деякі попередні перетворення різницевих рівнянь. Розглянемо можливі підходи до формування функцій прогнозування та обчислення оцінок прогнозованих значень [20].

Як приклад, розглянемо рівняння АР(1):

$$y(k) = a_0 + a_1 y(k-1) + \varepsilon(k), \quad E[\varepsilon(k)] = 0. \quad (7.3)$$

Збільшимо незалежну змінну, час, на одиницю і запишемо рівняння знову:

$$y(k+1) = a_0 + a_1 y(k) + \varepsilon(k+1).$$

Якщо коефіцієнти  $a_0, a_1$  відомі, то можна знайти умовне математичне сподівання на основі відомої інформації до моменту  $k$  включно:

$$\begin{aligned} E_k[y(k+1)] &= E_k[y(k+1) | y(k), y(k-1), \dots, \varepsilon(k), \varepsilon(k-1), \dots] = \\ &= a_0 + a_1 E_k[y(k)] = a_0 + a_1 y(k), \end{aligned}$$

оскільки  $y(k)$  у момент  $k$  є відомою константою.

По аналогії запишемо рівняння (7.3) для моменту  $k+2$ :

$$y(k+2) = a_0 + a_1 y(k+1) + \varepsilon(k+2)$$

і знайдемо умовне математичне сподівання:



$$\begin{aligned} E_k[y(k+2)] &= a_0 + a_1 E_k[y(k+1)] = a_0 + a_1 E_k[a_0 + a_1 y(k)] = \\ &= a_0 + a_0 a_1 + a_1^2 y(k). \end{aligned}$$

Для наступного моменту часу маємо:

$$E_k[y(k+3)] = a_0 + a_0 a_1 + a_0 a_1^2 + a_1^3 y(k).$$

Таким чином, для загального випадку прогнозування на  $s$  кроків можна записати вираз для оцінки прогнозу:

$$\begin{aligned} \hat{y}(k+s) &= \\ &= E_s[y(k+s)] = a_0 \left( \sum_{i=0}^{s-1} a_1^i \right) + a_1^s y(k) = a_0 \sum_{i=0}^{s-1} a_1^i + a_1^s y(k). \end{aligned} \quad (7.4)$$

Отримане рівняння називають функцією прогнозування на довільне число кроків. Прогноз представляє собою збіжний процес, якщо  $|a_1| < 1$ , тобто

$$\lim_{s \rightarrow \infty} E_k[y(k+s)] = \frac{a_0}{1-a_1}, \quad |a_1| < 1, \quad (7.5)$$

де  $a_1$  – знаменник геометричної прогресії. Вираз (7.5) свідчить про те, що для будь-якого стаціонарного процесу АР чи АРКС оцінка умовного прогнозу асимптотично ( $s \rightarrow \infty$ ) збігається до безумовного середнього.

Знайдемо похибку прогнозування за умови, що  $E[\varepsilon(k)] = 0$ :

$$f_k(s) = y(k+s) - E_k[y(k+s)].$$

Похибка прогнозу на один крок:

$$f_k(1) = y(k+1) - E_k[y(k+1)] = a_0 + a_1 y(k) + \varepsilon(k+1) - a_0 - a_1 y(k) = \varepsilon(k+1).$$

Похибка прогнозу на два кроки:

$$\begin{aligned} f_k(2) &= y(k+2) - E_k[y(k+2)] = \\ &= a_0 + a_1 [a_0 + a_1 y(k) + \varepsilon(k+1)] + \varepsilon(k+2) - E_k[y(k+2)] = \\ &= a_0 + a_0 a_1 + a_1^2 y(k) + a_1 \varepsilon(k+1) + \varepsilon(k+2) - a_0 - a_0 a_1 - a_1^2 y(k) = \\ &= \varepsilon(k+2) + a_1 \varepsilon(k+1). \end{aligned}$$

Таким чином, можна записати вираз для похибки оцінки прогнозу для довільного числа кроків прогнозування як

$$f_k(s) = \varepsilon(k+s) + a_1\varepsilon(k+s-1) + a_1^2\varepsilon(k+s-2) + \dots + a_1^{s-1}\varepsilon(k+1).$$

Враховуючи те, що  $E[f_k(s)] = 0$ , оцінка прогнозу, яка обчислюється за виразом (7.4), є незміщеною. Дисперсія похибки прогнозування:

$$\text{Var}[f_k(s)] = \sigma^2 [1 + a_1^2 + a_1^4 + a_1^6 + \dots + a_1^{2(s-1)}],$$

тобто дисперсія є функцією кількості кроків  $s$ . Асимптотичне значення дисперсії похибки прогнозу для стаціонарного процесу

$$\lim_{s \rightarrow \infty} \text{Var}[f_k(s)] = \frac{\sigma^2}{1 - a_1^2},$$

де  $a_1^2$  – знаменник геометричної прогресії.

*Узагальнення функції прогнозування (на процес АРКС(p,q))*

Знайдемо спочатку функцію прогнозування для процесу АРКС(2,1), який описується наступним рівнянням:

$$y(k) = a_0 + a_1y(k-1) + a_2y(k-2) + \varepsilon(k) + \beta_1\varepsilon(k-1).$$

Для наступного моменту часу можна записати

$$y(k+1) = a_0 + a_1y(k) + a_2y(k-1) + \varepsilon(k+1) + \beta_1\varepsilon(k).$$

Умовне математичне сподівання для  $y(k+1)$  має вигляд:

$$E_k[y(k+1)] = a_0 + a_1y(k) + a_2y(k-1) + \beta_1\varepsilon(k),$$

де  $\varepsilon(k)$  розглядається як відома величина на момент  $k$  включно. При цьому  $E_k[\varepsilon(k+j)] = 0, \quad \forall j > 0$ .

Для моменту часу  $k+2$  маємо:

$$y(k+2) = a_0 + a_1y(k+1) + a_2y(k) + \varepsilon(k+2) + \beta_1\varepsilon(k+1),$$

і умовне математичне сподівання

$$\begin{aligned}
 E_k[y(k+2)] &= a_0 + a_1 E_k[y(k+1)] + a_2 E_k[y(k)] = \\
 &= a_0 + a_1[a_0 + a_1 y(k) + a_2 y(k-1) + \beta_1 \varepsilon(k)] + a_2 y(k) = \\
 &= a_0 + a_0 a_1 + a_1^2 y(k) + a_1 a_2 y(k-1) + a_1 \beta_1 \varepsilon(k) + a_2 y(k) = \\
 &= a_0(1 + a_1) + (a_1^2 + a_2)y(k) + a_1 a_2 y(k-1) + a_1 \beta_1 \varepsilon(k).
 \end{aligned}$$

Можна знайти також наступне умовне математичне сподівання для оцінки прогнозу на три кроки:

$$\begin{aligned}
 E_k[y(k+3)] &= a_0 + a_1 E_k[y(k+2)] + a_2 E_k[y(k+1)] = \\
 &= a_0(1 + a_1 + a_1^2 + a_2) + (a_1^3 + 2a_1 a_2)y(k) + (a_1^2 a_2 + a_2^2)y(k-1) + \\
 &\quad + \beta_1(a_1^2 + a_2)\varepsilon(k).
 \end{aligned}$$

З отриманих виразів для умовного математичного сподівання видно, що рекурсивна формула для прогнозу на довільне число кроків  $s$  може бути записана тільки у наступному вигляді:

$$E_k[y(k+s)] = a_0 + a_1 E_k[y(k+s-1)] + a_2 E_k[y(k+s-2)]. \quad (7.6)$$

Якщо корені характеристичного рівняння, записаного для (7.6), знаходяться всередині одиничного кола, то оцінка прогнозу асимптотично збігається до безумовного середнього значення

$$\lim_{s \rightarrow \infty} E[y(k+s)] = \frac{a_0}{1 - a_1 - a_2},$$

а для довільного процесу АРКС( $p, q$ ) оцінку умовного прогнозу можна записати так:

$$E_k[y(k+s)] = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i E_k[y(k+s-i)].$$

## Побудова функції прогнозування на основі розв'язку різницевого рівняння

Розглянемо як приклад рівняння АРКС(1,1):

$$y(k) = a_0 + a_1 y(k-1) + \varepsilon(k) + \beta_1 \varepsilon(k-1), \quad |a_1| < 1,$$

де  $\varepsilon(k)$  – білий шум з нульовим середнім;  $y(0) = y_0$  – відома початкова умова. Для однорідного рівняння  $y(k) - a_1 y(k-1) = 0$  розв'язком є  $A a_1^k$ , де  $A$  – довільна константа.

Частковий розв'язок можна знайти за допомогою лагового оператора  $L$  у вигляді:

$$y(k) = \frac{a_0}{1-a_1} + \frac{\varepsilon(k)}{1-a_1 L} + \frac{\beta_1 \varepsilon(k-1)}{1-a_1 L}.$$

Використовуючи властивості лагового оператора, запишемо загальний розв'язок як

$$y(k) = \frac{a_0}{1-a_1} + \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(k-i) + \beta_1 \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(k-i-1) + A a_1^k.$$

Для того щоб знайти значення довільної константи скористаємось початковою умовою:

$$k=0: \quad y_0 = \frac{a_0}{1-a_1} + \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(-i) + \beta_1 \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(-i-1) + A.$$

Запишемо розв'язок із врахуванням отриманого значення довільної константи:

$$y(k) = \frac{a_0}{1-a_1} + \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(k-i) + \beta_1 \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(k-i-1) + \left[ y_0 - \frac{a_0}{1-a_1} - \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(-i) - \beta_1 \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(-i-1) \right] a_1^k.$$

Оскільки

$$\sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(k-i) = \varepsilon(k) + a_1 \varepsilon(k-1) + a_1^2 \varepsilon(k-2) + \dots + a_1^k \varepsilon(0) + a_1^{k+1} \varepsilon(-1) + \dots,$$

$$-a_1^k \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(-i) = -a_1^k \varepsilon(0) - a_1^{k+1} \varepsilon(-1) - a_1^{k+2} \varepsilon(-2) - \dots,$$

то

$$y(k) = \frac{a_0}{1-a_1} + \sum_{i=0}^{k-1} a_1^i \varepsilon(k-i) + \beta_1 \sum_{i=0}^{k-1} a_1^i \varepsilon(k-i-1) + \left[ y_0 - \frac{a_0}{1-a_1} \right] a_1^k.$$

Знайдемо рівняння для оцінки прогнозу із врахуванням того, що на момент  $k=0$  відоме значення збурення  $E_0[\varepsilon(0)] = \varepsilon_0$ , тобто необхідно знайти  $E_0[y(k)]$ . Таким чином, функція прогнозу приймає такий вигляд:

$$E_0[y(0+k) | y(0), \varepsilon(0)] = \frac{a_0}{1-a_1} + E_0 \left[ \sum_{i=0}^{k-1} a_1^i \varepsilon(k-i) + \beta_1 \sum_{i=0}^{k-1} a_1^i \varepsilon(k-1-i) \right] + E_0 \left( \left[ y_0 - \frac{a_0}{1-a_1} \right] a_1^k \right).$$

Враховуючи, що

$$\sum_{i=0}^{k-1} a_1^i \varepsilon(k-i) = \varepsilon(k) + a_1 \varepsilon(k-1) + a_1^2 \varepsilon(k-2) + \dots + a_1^{k-1} \varepsilon(-1)$$

і

$$\beta_1 \sum_{i=0}^{k-1} a_1^i \varepsilon(k-1-i) = \beta_1 \varepsilon(k-1) + \beta_1 a_1 \varepsilon(k-2) + \beta_1 a_1^2 \varepsilon(k-3) + \dots + \beta_1 a_1^{k-1} \varepsilon(0),$$

отримаємо:

$$y(0+k) = E_0[y(k)] = \frac{a_0}{1-a_1} + \beta_1 a_1^{k-1} \varepsilon_0 + \left[ y_0 - \frac{a_0}{1-a_1} \right] a_1^k. \quad (7.7)$$

Рівняння (7.7) можна розглядати як функцію прогнозування на  $k$  кроків наперед на основі інформації, наявної на момент  $k=0$ .

Знайдемо функцію прогнозування на  $s$  кроків вперед на основі інформації, наявної на момент  $k$ . Спочатку зробимо заміну індексів в рівнянні (7.7):

$$y(0+s) = E_0[y(s)] = \frac{a_0}{1-a_1} + \beta_1 a_1^{s-1} \varepsilon_0 + \left[ y_0 - \frac{a_0}{1-a_1} \right] a_1^s = \\ = \left( \frac{a_0}{1-a_1} \right) (1-a_1^s) + \beta_1 a_1^{s-1} \varepsilon_0 + y_0 a_1^s.$$

Тепер виконаємо оновлення часового індексу для змінних  $y$  і  $\varepsilon$  на  $k$  одиниць вперед:

$$y(k+s) = E_k[y(k+s)] = \left( \frac{a_0}{1-a_1} \right) (1-a_1^s) + \beta_1 a_1^{s-1} \varepsilon(k) + y(k) a_1^s.$$

Отримане рівняння представляє собою функцію прогнозування на основі відомої інформації про процес на момент  $k$ , включно. Використовуючи наведені вище викладки, можна записати функції прогнозування для довільної кількості кроків таким чином:

$$s=1: \quad E_k[y(k+1)] = a_0 + \beta_1 \varepsilon(k) + a_1 y(k);$$

$$s=2: \quad E_k[y(k+2)] = \left( \frac{a_0}{1-a_1} \right) (1-a_1^2) + \beta_1 a_1 \varepsilon(k) + a_1^2 y(k);$$

$$s=3: \quad E_k[y(k+3)] = \left( \frac{a_0}{1-a_1} \right) (1-a_1^3) + \beta_1 a_1^2 \varepsilon(k) + a_1^3 y(k);$$

...

При цьому 
$$\lim_{S \rightarrow \infty} E_k[y(k+s)] = \frac{a_0}{1-a_1}.$$

Можна досить просто перейти від моделі АРКС(1,1) до моделі АР(1), якщо покласти  $\beta_1 = 0$ . Для АР(1) отримаємо функцію прогнозування у вигляді:

$$E_k[y(k+s)] = \left( \frac{a_0}{1-a_1} \right) (1-a_1^s) + a_1^s y(k).$$

По аналогії можна знайти функції прогнозування для моделей іншої структури, табулювати отримані функції і використовувати їх при прогнозуванні процесів різної природи.

*Експериментально встановлено, що модель, яка може бути використана для прогнозування, повинна бути отримана (оцінена) на основі не менше ніж 50 спостережень (вимірів) основної змінної.*

Якщо модель побудована на основі вибірки даних довжиною  $N$ , то для рівняння АРКС(2,1)

$$y(k) = a_0 + a_1 y(k-1) + a_2 y(k-2) + \varepsilon(k) + \beta_1 \varepsilon(k-1),$$

функцію прогнозування можна записати так:

$$\begin{aligned}
 E_N[y(N+1)] &= a_0 + a_1 E_N[y(N)] + a_2 E_N[y(N-1)] + \beta_1 \varepsilon(k); \\
 E_N[y(N+2)] &= a_0 + a_1 E_N[y(N+1)] + a_2 E_N[y(N)]; \\
 &\vdots \\
 E_N[y(N+s)] &= a_0 + a_1 E_N[y(N+s-1)] + a_2 E_N[y(N+s-2)], \\
 &s \geq 2.
 \end{aligned}$$

**Приклад 7.1.** Побудуємо функцію прогнозування для рівняння АР(2):

$$y(k) = 3,0 + 0,9y(k-1) - 0,2y(k-2) + \varepsilon(k)$$

З початковими умовами:  $y(0) = y_0$ ;  $y(1) = y_1$ .

а) Знайдемо однорідний розв'язок:

$$\alpha^2 - 0,9\alpha + 0,2 = 0;$$

$$\alpha_1 = 0,5; \alpha_2 = 0,4.$$

$$y^h(k) = A_1 0,5^k + A_2 0,4^k.$$

б) Частковий розв'язок для детермінованої частини:

$$d = 3,0 + 0,9d - 0,2d, \quad \text{або} \quad d = \frac{3,0}{0,3} = 10.$$

в) Частковий розв'язок для стохастичної частини:

$$y^{ps}(k) = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i \varepsilon(k-i),$$

де  $\alpha_0 = 1$ ;  $\alpha_1 = 0,9$ ;  $\alpha_i = 0,9\alpha_{i-1} - 0,2\alpha_{i-2}$ ,  $\forall i > 1$ .

г) Повний розв'язок:

$$y(k) = 10,0 + A_1 0,5^k + A_2 0,4^k + \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i \varepsilon(k-i),$$

$$\alpha_i = 0,9\alpha_{i-1} - 0,2\alpha_{i-2}.$$

Для того щоб знайти значення невідомих довільних констант, використаємо початкові умови  $y_0, y_1$ . В результаті отримаємо два рівняння:

$$y_0 = 10,0 + A_1 + A_2 + \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i \varepsilon(-i),$$

$$y_1 = 10,0 + 0,5A_1 + 0,4A_2 + \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i \varepsilon(1-i),$$

з яких можна визначити невідомі константи. Із врахуванням початкових умов розв'язок прийме такий вигляд:

$$y(k) = 10,0 + 0,4^k [5,0(y_0 - 10) - 10(y_1 - 10)] + \\ + 0,5^k [10(y_1 - 10) - 4(y_0 - 10)] + \sum_{i=0}^{k-1} \alpha_i \varepsilon(k-i).$$

Значення залежної змінної в момент  $k+s$  при початкових умовах  $y(k)$  і  $y(k-1)$  можна знайти так:

$$y(k+s) = 10,0 + 0,4^S \{5,0[y(k-1) - 10] - 10[(y(k) - 10)]\} + \quad (7.8) \\ + 0,5^S \{[10y(k) - 10] - 4[y(k-1) - 10]\} + \sum_{i=0}^{S-1} \alpha_i \varepsilon(k+s-i),$$

де  $y(k-1), y(k)$  – початкові умови відносно  $k$ -го моменту часу. В рівнянні (7.8) виконано заміну часової змінної  $k$  на  $k+s$ , але із врахуванням того, що прогнозоване значення визначається відносно  $k$ -го моменту часу. Тому верхнє граничне значення над знаком суми визначається як  $k-2 = k+s-2$ , а із врахуванням того, що початковим моментом часу (на який відома необхідна інформація) є  $k=1$ , отримаємо  $1+s-2 = s-1$ . Перевірка нижнього індекса свідчить, що  $i=0 \Rightarrow \varepsilon(k+s)$  і  $i=s-1 \Rightarrow \varepsilon(k+1)$ , тобто границі зміни часового індекса для збурення визначені коректно.

Запишемо умовне математичне сподівання або прогноз на короткий проміжок часу:

$$E_k[y(k+s)] = 10,0 + 0,4^S \{5,0[y(k-1) - 10] - 10[(y(k) - 10)]\} + \\ + 0,5^S \{[10y(k) - 10] - 4[y(k-1) - 10]\}.$$

Безумовне середнє або асимптотичний прогноз приймає значення:

$$\lim_{S \rightarrow \infty} E_k[y(k+s)] = 10,$$

тобто прогноз на нескінченності дорівнює безумовному середньому.



### Прогнозування з мінімальною дисперсією

Функцію прогнозування можна будувати різними способами, які відрізняються припущеннями стосовно процесу (який описується математично і прогнозується), критерію оптимальності оцінок (якщо він використовується) та вигляду самої функції. Побудова функції прогнозування, яка забезпечує мінімум дисперсії, ґрунтується на таких припущеннях:

1. Процес, що прогнозується, є стаціонарним, гаусовим і має дробово-раціональну спектральну густину.
2. Оптимальною вважається функція прогнозування, яка генерує оцінку прогнозу шляхом мінімізації дисперсії похибки прогнозу, тобто

$$E[y(k+s) - \hat{y}(k+s)]^2 \Rightarrow \min .$$

3. Значення  $y(k+s)$ , для якого оцінюється прогноз, є функцією всіх попередніх спостережень до момента  $k$  включно.

Результат буде таким же, якщо замінити припущення про нормальність процесу припущенням про те, що він є двічі диференційованим, а функцією прогнозування є лінійна функція спостережень.

Розглянемо стохастичне різницеве рівняння

$$y(k+1) = -ay(k) + \varepsilon(k+1) + \beta\varepsilon(k), \quad (7.9)$$

де  $\{\varepsilon(k)\} \sim N(0,1)$ , тобто нормально розподілений процес із нульовим середнім та одиничною дисперсією. Розглянемо спочатку функцію прогнозування на один крок за допомогою рівняння (7.9). Для того щоб знайти значення  $y(k+1)$ , необхідно знати  $y(k)$ ,  $\varepsilon(k)$ . Значення  $y(k)$  – це значення останнього виміру, а  $\varepsilon(k)$  необхідно обчислити.

Нехай відомі початкові значення  $\varepsilon(0) = \varepsilon_0$ ,  $y(0) = y_0$ . Запишемо рівняння (7.9) у вигляді:

$$\varepsilon(\tau+1) - y(\tau+1) + \beta\varepsilon(\tau) = ay(\tau), \quad 0 \leq \tau \leq k$$

і знайдемо розв'язок для цього рівняння. Додамо до лівої і правої частини член  $-\beta y(\tau)$  і отримаємо

$$[\varepsilon(\tau+1) - y(\tau+1)] + \beta[\varepsilon(\tau) - y(\tau)] = (a - \beta)y(\tau).$$

Тепер введемо нову змінну  $x(\tau) = \varepsilon(\tau) - y(\tau)$  і запишемо різницеве рівняння для нової змінної

$$x(\tau+1) = -\beta x(\tau) + (a - b)y(\tau)$$

і знайдемо розв'язок цього рівняння методом прямої ітерації:

$$\begin{aligned}
x(1) &= -\beta x(0) + (a - \beta)y(0), \\
x(2) &= -\beta x(1) + (a - \beta)y(1) = -\beta[-\beta x(0) + (a - \beta)y(0)] + (a - \beta)y(1) = \\
&= -\beta^2 x(0) - \beta(a - \beta)y(0) + (a - \beta)y(1), \\
x(3) &= -\beta x(2) + (a - \beta)y(2) = \\
&= -\beta^3 x(0) + \beta^2(a - \beta)y(0) - \beta(a - \beta)y(1) + (a - \beta)y(2).
\end{aligned}$$

Для довільного  $k$  розв'язок має наступний вигляд:

$$x(k) = (-\beta)^k x(0) + (a - \beta) \sum_{i=0}^{k-1} (-\beta)^{k-1-i} y(i). \quad (7.10)$$

Зробимо перевірку індексів:

- при  $k = 1$  останній член в правій частині має вигляд:  $(a - \beta)y(0)$ ;
- при  $k = 2$  маємо наступне рівняння:

$$(a - \beta) \sum_{i=0}^1 (-\beta)^{1-i} y(i) = -\beta(a - \beta)y(0) + (a - \beta)y(1),$$

тобто, часові індекси в рівнянні (7.10) змінюються в належних інтервалах.

Використовуючи рівняння (7.10), можемо записати вираз для  $\varepsilon(k)$ :

$$\varepsilon(k) = [\varepsilon(0) - y(0)](-\beta)^k + y(k) + (a - \beta) \sum_{i=0}^{k-1} (-\beta)^{k-1-i} y(i), \quad (7.11)$$

а для довільного початкового моменту часу  $k_0$  отримаємо

$$\varepsilon(k) = [\varepsilon(0) - y(0)](-\beta)^{k-k_0} + y(k) + (a - \beta) \sum_{i=0}^{k-1} (-\beta)^{k-1-i} y(i). \quad (7.12)$$

Оскільки для стаціонарного процесу  $|\beta| < 1$ , то перший член (7.11) і (7.12) наближається до нуля при  $k_0 \rightarrow \infty$  для довільних початкових умов. Таким чином,  $\varepsilon(k)$  може бути обчислено безпосередньо за допомогою результатів вимірів із рівняння

$$\varepsilon(k) = y(k) + (a - \beta) \sum_{i=-\infty}^{k-1} (-\beta)^{k-1-i} y(i).$$

Таким чином, можемо записати рівняння для прогнозування значення  $y(k+1)$  на основі спостережень  $y(k), y(k-1), y(k-2), \dots$  у вигляді:

$$\begin{aligned} y(k+1|k) &= y(k+1, k) = y(k+1) = -ay(k) + \beta \varepsilon(k) = \\ &= -ay(k) + \beta y(k) + \beta(a-\beta) \sum_{i=-\infty}^{k-1} (-\beta)^{k-i-1} y(i) = \\ &= -(a-\beta)y(k) + \beta(a-\beta) \sum_{i=-\infty}^{k-1} (-\beta)^{k-i-1} y(i) = (\beta-a) \sum_{i=-\infty}^k (-\beta)^{k-i} y(i). \end{aligned}$$

Це рівняння можна переписати у зручнішій рекурсивній формі

$$\begin{aligned} y(k+1, k) &= (\beta-a)[y(k) + \sum_{i=-\infty}^{k-1} (-\beta)^{k-i} y(i)] = \\ &= (\beta-a)[y(k) + (-\beta) \sum_{i=-\infty}^{k-1} (-\beta)^{k-1-i} y(i)] = -\beta y(k, k-1) + (\beta-a)y(k). \quad (7.13) \end{aligned}$$

Тобто функція прогнозування на один крок описується РР першого порядку. Динаміка прогнозу визначається коефіцієнтом  $\beta$ .

За визначенням, похибка прогнозу дорівнює

$$f(k+1, k) = y(k+1) - y(k+1, k) = \varepsilon(k+1),$$

а її математичне сподівання  $E[f(k+1, k)] = 0$ .

*Альтернативна форма функції прогнозування на один крок*

Введемо оператор зсуву  $zx(k) = x(k+1)$  або  $z^{-1}x(k) = x(k-1)$ .

Тепер рівняння

$$y(k+1) = -ay(k) + \varepsilon(k+1) + \beta \varepsilon(k) \quad (7.14)$$

можна переписати у вигляді

$$\begin{aligned} y(k+1) &= \frac{1+\beta z^{-1}}{1+az^{-1}} \varepsilon(k+1) = \varepsilon(k+1) - \varepsilon(k+1) + \frac{1+\beta z^{-1}}{1+az^{-1}} \varepsilon(k+1) = \\ &= \varepsilon(k+1) + \frac{-\varepsilon(k+1) - a\varepsilon(k) + \varepsilon(k+1) + \beta \varepsilon(k)}{1+az^{-1}} = \\ &= \varepsilon(k+1) + \frac{\beta-a}{1+az^{-1}} \varepsilon(k). \quad (7.15) \end{aligned}$$

Із рівняння (7.14) знайдемо вираз для випадкової величини

$$\varepsilon(k) = \frac{1 + az^{-1}}{1 + \beta z^{-1}} y(k)$$

і підставимо цей вираз в (7.15) щоб уникнути змінної  $\varepsilon(k)$  з метою зменшення невизначеності прогнозу:

$$y(k+1) = \varepsilon(k+1) + \frac{\beta - a}{1 + \beta z^{-1}} y(k).$$

Віднімемо від обох частин цього рівняння прогнозоване значення  $y(k+1, k)$  і знайдемо математичне сподівання квадрата похибки прогнозу:

$$E_k [y(k+1) - y(k+1, k)]^2 = E[\varepsilon^2(k+1)] + E\left[\frac{\beta - a}{1 + \beta z^{-1}} y(k) - y(k+1, k)\right]^2$$

при умові, що  $E[y(k)\varepsilon(k+1)] = 0$ . Якщо дисперсію збурення нормувати до одиниці, тобто  $E[\varepsilon^2(k)] = 1$ , то можна записати наступне співвідношення:

$$E[y(k+1) - y(k+1, k)] \geq E[\varepsilon^2(k+1)] = 1,$$

де рівність виконується тільки при умові, що

$$y(k+1, k) = \frac{\beta - a}{1 + \beta z^{-1}} y(k).$$

Таким чином, оптимальне з точки зору мінімуму дисперсії похибки прогнозу значення для прогнозу на один крок можна знайти за допомогою рівняння

$$y(k+1, k) + \beta y(k, k-1) = (\beta - a)y(k)$$

або

$$y(k+1, k) = -\beta y(k, k-1) + (\beta - a)y(k),$$

що співпадає з отриманим вище рівнянням (7.13).

#### *Функція прогнозування на два кроки*

Побудуємо функцію прогнозування на два кроки  $y(k+2, k)$  для випадкового процесу АРКС(1,1):

$$y(k) = -ay(k-1) + \varepsilon(k) + \beta\varepsilon(k-1),$$

де  $\{\varepsilon(k) : N(0,1)\}$  - випадковий процес з одиничною дисперсією та нульовим середнім значенням. Для моменту  $k + 2$  можна записати попереднє рівняння за допомогою оператора зсуву в наступній формі:

$$y(k + 2) = \frac{1 + \beta z^{-1}}{1 + a z^{-1}} \varepsilon(k + 2).$$

Права частина цього рівняння є лінійною функцією від  $\varepsilon(k + 2), \varepsilon(k + 1), \varepsilon(k), \varepsilon(k - 1), \dots$ . При цьому змінні  $\varepsilon(k), \varepsilon(k - 1), \dots$  можна визначити за допомогою спостережень  $y(k), y(k - 1), \dots$ , а випадкові змінні  $\varepsilon(k + 1), \varepsilon(k + 2)$  не залежать від отриманих спостережень на момент  $k$ . Виділимо в правій частині члени з  $\varepsilon(k + 1), \varepsilon(k + 2)$ . З цією метою додамо та віднімемо  $\varepsilon(k + 2)$  в правій частині:

$$\begin{aligned} y(k + 2) &= \varepsilon(k + 2) - \varepsilon(k + 2) + \frac{1 + \beta z^{-1}}{1 + a z^{-1}} \varepsilon(k + 2) = \\ &= \varepsilon(k + 2) + \frac{-\varepsilon(k + 2) - a\varepsilon(k + 1) + \varepsilon(k + 2) + \beta\varepsilon(k + 1)}{1 + a z^{-1}} = \\ &= \varepsilon(k + 2) + \frac{\beta - a}{1 + a z^{-1}} \varepsilon(k + 1). \end{aligned}$$

Тепер домножимо чисельник на багаточлен  $(1 + a z^{-1} - a z^{-1})$ :

$$\begin{aligned} y(k + 2) &= \varepsilon(k + 2) + \frac{(\beta - a)(1 + a z^{-1} - a z^{-1})\varepsilon(k + 1)}{1 + a z^{-1}} = \\ &= \varepsilon(k + 2) + \frac{(\beta - a)(1 + a z^{-1})}{1 + a z^{-1}} \varepsilon(k + 1) - \frac{a(\beta - a)\varepsilon(k)}{1 + a z^{-1}} = \\ &= \varepsilon(k + 2) + (\beta - a)\varepsilon(k + 1) - \frac{a(\beta - a)}{1 + a z^{-1}} \varepsilon(k), \end{aligned} \tag{7.16}$$

де  $\varepsilon(k)$  можна обчислити за спостереженнями:

$$\varepsilon(k) = \frac{1 + a z^{-1}}{1 + \beta z^{-1}} y(k).$$

Якщо підставити цей вираз в (7.16), то отримаємо наступне рівняння:

$$\begin{aligned}
y(k+2) &= \varepsilon(k+2) + (\beta - a)\varepsilon(k+1) - \frac{a(\beta - a)}{1 + az^{-1}}\varepsilon(k) = \\
&= \varepsilon(k+2) + (\beta - a)\varepsilon(k+1) - \frac{a(\beta - a)}{1 + \beta z^{-1}}y(k). \tag{7.17}
\end{aligned}$$

Нехай  $y(k+2, k)$  – прогноз на два кроки на основі інформації, що є в наявності на момент  $k$ , включно. Запишемо дисперсію похибки прогнозу за допомогою рівняння (7.17):

$$\begin{aligned}
E[y(k+2) - y(k+2, k)]^2 &= E[\varepsilon^2(k+2)] + (\beta - a)^2 E[\varepsilon^2(k+1)] + \\
&+ E\left[y(k+2, k) + \frac{a(\beta - a)}{1 + \beta z^{-1}}y(k)\right]^2. \tag{7.18}
\end{aligned}$$

Таким чином, можна записати, що

$$E[y(k+2) - y(k+2, k)]^2 \geq 1 + (\beta - a)^2.$$

Із (7.18) випливає, що рівність можлива при умові, що

$$y(k+2, k) = -\frac{a(\beta - a)}{1 + \beta z^{-1}}y(k).$$

Тобто функція двокрокового прогнозу задовольняє такому різницевому рівнянню:

$$y(k+2, k) = -\beta y(k+1, k) - a(\beta - a)y(k).$$

Знайдемо похибку двокрокового прогнозу:

$$\begin{aligned}
f(k+2, k) &= y(k+2) - \hat{y}(k+2, k) = \\
&= \varepsilon(k+2) + (\beta - a)\varepsilon(k+1) - \frac{a(\beta - a)}{1 + az^{-1}}y(k) + \frac{a(\beta - a)}{1 + \beta z^{-1}}y(k) = \\
&= \varepsilon(k+2) + (\beta - a)\varepsilon(k+1),
\end{aligned}$$

тобто, це процес КС(2).

*Загальна постановка задачі прогнозування з мінімумом дисперсії*

Модель процесу можна представити у вигляді:

$$A(z^{-1})y(k) = B(z^{-1})\varepsilon(k), \quad (7.19)$$

де  $A(z^{-1}), B(z^{-1})$  – поліноми стосовно  $z$  виду:

$$\begin{aligned} A(z^{-1}) &= 1 + a_1z^{-1} + \dots + a_nz^{-n}, \\ B(z^{-1}) &= 1 + b_1z^{-1} + \dots + b_nz^{-n}, \\ \{\varepsilon(k)\} &\sim N(0,1), \end{aligned}$$

тобто  $\varepsilon(k)$  – нормально розподілена випадкова величина з нульовим середнім та одиничною дисперсією.

Необхідно побудувати найкращу, в смислі мінімуму дисперсії похибки, функцію прогнозування на  $s$  кроків при умові, що відомі значення  $y(k), y(k-1), y(k-2), \dots$ , тобто за умови

$$E_k [y(k+s) - \hat{y}(k+s)]^2 \rightarrow \min_{\hat{y}},$$

де  $\hat{y}$  – оцінка прогнозу.

На основі рівняння (7.19) можна записати:

$$y(k+s) = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})}\varepsilon(k+s). \quad (7.20)$$

Права частина цього рівняння є лінійною комбінацією змінних  $\varepsilon(k+s), \varepsilon(k+s-1), \varepsilon(k+s-2), \dots, \varepsilon(k+1), \varepsilon(k), \varepsilon(k-1), \varepsilon(k-2), \dots$ .

Значення змінних  $\varepsilon(k), \varepsilon(k-1), \dots$  можна обчислити за результатами вимірів  $y(k), y(k-1), \dots$ , а значення  $\varepsilon(k+1), \dots, \varepsilon(k+s)$  не залежать від вимірів, тому що ці виміри ще невідомі. Для того щоб виділити вказані групи змінних, перепишемо праву частину (7.20) у вигляді (це допустимо для лінійних систем):

$$\frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})}\varepsilon(k+s) = F(z^{-1})\varepsilon(k+s) + z^{-s} \frac{G(z^{-1})}{A(z^{-1})}\varepsilon(k+s), \quad (7.21)$$

де  $F(z^{-1}), G(z^{-1})$  – поліноми від  $z^{-1}$  степені  $s-1$  та  $n-1$ , відповідно, тобто,

$$\begin{aligned} F(z^{-1}) &= 1 + f_1z^{-1} + \dots + f_{s-1}z^{-(s-1)}, \\ G(z^{-1}) &= g_0 + g_1z^{-1} + \dots + g_{n-1}z^{-(n-1)}. \end{aligned}$$

Таке розщеплення є допустимим для лінійних систем, якщо правильно визначити степені  $z$  та коефіцієнти поліномів  $F, G$ . Для першої складової в правій частині рівняння (7.21) можна записати

$$F(z^{-1})\varepsilon(k+s) = \varepsilon(k+s) + f_1\varepsilon(k+s-1) + \dots + f_{s-1}\varepsilon(k+s-s+1)$$

або

$$F(z^{-1})\varepsilon(k+s) = \varepsilon(k+s) + f_1\varepsilon(k+s-1) + \dots + f_{s-1}\varepsilon(k+1).$$

Враховуючи, що  $z^{-s}\varepsilon(k+s) = \varepsilon(k)$ , для чисельника другого члена в правій частині (7.21) отримуємо ковзне середнє порядку  $n-1$ :

$$g_0\varepsilon(k) + g_1\varepsilon(k-1) + \dots + g_{n-1}\varepsilon(k-n+1).$$

Тепер рівняння (7.20) можна записати у вигляді:

$$y(k+s) = F(z^{-1})\varepsilon(k+s) + \frac{G(z^{-1})}{A(z^{-1})}\varepsilon(k). \quad (7.22)$$

Другий член в правій частині цього рівняння є функцією випадкових змінних  $\varepsilon(k), \varepsilon(k-1), \dots$ , а тому його можна обчислити за результатами спостережень  $y(k), y(k-1), \dots$ , тобто скориставшись рівнянням (7.19), отримаємо:

$$\varepsilon(k) = \frac{A(z^{-1})}{B(z^{-1})}y(k).$$

Тепер рівняння (7.22) можна звести до рівняння

$$y(k+s) = F(z^{-1})\varepsilon(k+s) + \frac{G(z^{-1})}{B(z^{-1})}y(k). \quad (7.23)$$

Перший член у правій частині цього рівняння представляє собою лінійну комбінацію змінних  $\varepsilon(k+1), \varepsilon(k+2), \dots, \varepsilon(k+s)$ , які не залежать від спостережень, а другий – лінійна функція результатів спостережень.

Нехай  $\hat{y}(k+s, k)$  – оцінка прогнозу на  $s$  кроків. Запишемо похибку цього прогнозу як

$$f(s) = y(k+s) - \hat{y}(k+s, k),$$



де  $y(k+s)$  – спостереження, яке точно описується рівнянням (7.23). Віднімемо  $\hat{y}(k+s, k)$  від обох частин рівняння (7.23), що приводить до виразу:

$$y(k+s) - \hat{y}(k+s, k) = F(z^{-1})\varepsilon(k+s) + \frac{G(z^{-1})}{B(z^{-1})}y(k) - \hat{y}(k+s, k),$$

і знайдемо квадрат похибки прогнозу:

$$\begin{aligned} [y(k+s) - \hat{y}(k+s, k)]^2 &= \left[ F(z^{-1})\varepsilon(k+s) + \frac{G(z^{-1})}{B(z^{-1})}y(k) - \hat{y}(k+s, k) \right]^2 = \\ &= \left[ F(z^{-1})\varepsilon(k+s) \right]^2 + 2 \left[ F(z^{-1})\varepsilon(k+s) \right] \left[ \frac{G(z^{-1})}{B(z^{-1})}y(k) - \hat{y}(k+s, k) \right] + \\ &\quad + \left[ \frac{G(z^{-1})}{B(z^{-1})}y(k) - \hat{y}(k+s, k) \right]^2. \end{aligned}$$

Тепер запишемо умовне математичне сподівання для правої частини:

$$\begin{aligned} E_k \left[ F(z^{-1})\varepsilon(k+s) \right]^2 + 2E_k \left\{ \left[ F(z^{-1})\varepsilon(k+s) \right] \left[ \frac{G(z^{-1})}{B(z^{-1})}y(k) - y(k+s, k) \right] \right\} + \\ + E_k \left[ \frac{G(z^{-1})}{B(z^{-1})}y(k) - \hat{y}(k+s, k) \right]^2. \end{aligned}$$

Оскільки випадкові величини  $\varepsilon(k+s), \varepsilon(k+2), \dots$  не залежать від  $y(k), y(k-1), \dots$ , то середній член в правій частині дорівнює нулю, а тому

$$\begin{aligned} E \left[ y(k+s) - y(k+s, k) \right]^2 &= E_k \left[ F(z^{-1})\varepsilon(k+s) \right]^2 + \\ &\quad + E_k \left[ \frac{G(z^{-1})}{B(z^{-1})}y(k) - \hat{y}(k+s, k) \right]^2. \end{aligned}$$

Якщо знехтувати другим членом у правій частині цієї рівності, то можна записати нерівність:

$$E \left[ y(k+s) - y(k+s, k) \right]^2 \geq \\ \geq [\varepsilon(k+s) + f_1 \varepsilon(k+s-1) + f_2 \varepsilon(k+s-2) + \dots + f_{s-1} \varepsilon(k+1)]^2.$$

У цій нерівності рівність досягається за умови, що

$$E_k \left[ \frac{G(z^{-1})}{B(z^{-1})} y(k) - \hat{y}(k+s, k) \right]^2 = 0,$$

або

$$\hat{y}(k+s, k) = \frac{G(z^{-1})}{B(z^{-1})} y(k).$$

Звідси випливає, що оптимальне (за мінімумом дисперсії) значення прогнозу на  $s$  кроків можна обчислити за виразом:

$$y(k+s, k) + b_1 y(k+s, k-1) + \dots + b_n y(k+s-n, k-n) = \\ = g_0 y(k) + g_1 y(k-1) + \dots + g_{n-1} y(k-n-1). \quad (7.24)$$

Похибка прогнозування:

$$f(k+s, k) = y(k+s) - y(k+s, k) = F(z^{-1}) \varepsilon(k+s) = \\ = \varepsilon(k+s) + f_1 \varepsilon(k+s-1) + \dots + f_{s-1} \varepsilon(k+1). \quad (7.25)$$

Мінімально можливе значення дисперсії похибки прогнозування при даному підході можна визначити так:

$$\text{var} [f(k+s, k)] = 1 + f_1^2 + f_2^2 + \dots + f_{s-1}^2.$$

Для того щоб скористатись формулами (7.24) і (7.25), необхідно знати коефіцієнти поліномів  $F(z^{-1})$  і  $G(z^{-1})$ . Знайти невідомі коефіцієнти можна за допомогою тотожності:

$$B(z^{-1}) = A(z^{-1})F(z^{-1}) + z^{-s} G(z^{-1}). \quad (7.26)$$

Фактично,  $F(z^{-1})$  – це частка від відношення  $B(z^{-1})/A(z^{-1})$ , а поліном  $G(z^{-1})$  – залишок від ділення. Коефіцієнти поліномів  $F(z^{-1})$  і  $G(z^{-1})$  можна визначити тепер прирівнюванням коефіцієнтів при однакових степенях  $z^{-1}$ .

Для заданої структури поліномів  $A(z^{-1})$ ,  $B(z^{-1})$ ,  $F(z^{-1})$  і  $G(z^{-1})$

$$\begin{aligned}
B(z^{-1}) &= b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_n z^{-n}, \\
A(z^{-1}) &= 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}, \\
F(z^{-1}) &= 1 + f_1 z^{-1} + f_2 z^{-2} + \dots + f_{s-1} z^{-(s-1)}, \\
G(z^{-1}) &= g_0 + g_1 z^{-1} + \dots + g_{n-1} z^{-(n-1)}, \\
z^{-s} G(z^{-1}) &= g_0 z^{-s} + g_1 z^{-(s+1)} + g_2 z^{-(s+2)} + \dots + g_{n-1} z^{-(n-1+s)}
\end{aligned}$$

отримаємо такі рівності для визначення коефіцієнтів:

$$\begin{aligned}
\text{при } z^{-1}: \quad b_1 &= a_1 + f_1, \\
\text{при } z^{-2}: \quad b_2 &= a_2 + a_1 f_1 + f_2, \\
&\quad \vdots \\
\text{при } z^{-(s-1)}: \quad b_{s-1} &= a_{s-1} + a_{s-2} f_1 + a_{s-3} f_2 + \dots + a_1 f_{s-2} + f_{s-1}, \\
\text{при } z^{-s}: \quad b_s &= a_k + a_{k-1} f_1 + a_{k-2} f_2 + \dots + a_1 f_{s-1} + g_0, \\
\text{при } z^{-(s+1)}: \quad b_{s+1} &= a_{k+1} + a_k f_1 + a_{k-1} f_2 + \dots + a_2 f_{s-1} + g_1, \\
&\quad \vdots \\
\text{при } z^{-n}: \quad b_n &= a_n + a_{n-1} f_1 + a_{n-2} f_2 + \dots + a_{n-s-1} f_{s-1} + g_{n-s}, \\
\text{при } z^{-(n+1)}: \quad 0 &= a_n f_1 + a_{n-1} f_2 + \dots + a_{n-s+2} f_{s-1} + g_{n-s+1}, \\
&\quad \vdots \\
\text{при } z^{-(n+s-1)}: \quad 0 &= a_n f_{s-1} + g_{n-1}.
\end{aligned} \tag{7.27}$$

Таким чином, коефіцієнти  $f_i, g_i$  можна обчислити за допомогою простих рекурсивних співвідношень при відомих  $A(z^{-1})$  і  $B(z^{-1})$ , а також вибраній кількості кроків  $s$  для прогнозування. Очевидно, що це число не може бути великим.

*Для даної постановки задачі кращою є лінійна оцінка прогнозу і результат прогнозування не залежить критично від вибору критерію мінімізації похибки прогнозу. Якщо послідовність  $\{y(k)\}$  має нормальний розподіл, то функція прогнозування не зміниться, якщо вибрати за критерій мінімізації  $E w[y(k+s) - y(k+s, k)]^2$ , де  $w$  – довільна симетрична функція.*

Вирішальну роль для справедливості наведеного вище виводу функції прогнозування відіграє той факт, що  $\varepsilon(k)$  і  $\varepsilon(l)$  є взаємно незалежними, якщо  $k \neq l$ . Якщо випадкові змінні  $\varepsilon(k)$  і  $\varepsilon(l)$  є залежними одна від одної, то математичне сподівання добутку  $\varepsilon(k+l)$  на довільну функцію від  $y(k), y(k-1), \dots$  не обов'язково буде дорівнювати нулю при  $l > 0$ .

**Приклад 7.2.** Для стохастичного процесу  $\{y(k)\}$ , який визначається рівнянням

$$y(k) = 1,5y(k-1) + 0,5y(k-2) = 2[\varepsilon(k) - 1,2\varepsilon(k-1) + 0,6\varepsilon(k-2)],$$

де  $\{\varepsilon(k)\} \sim N(0, 1)$ , запишемо функцію прогнозування на три кроки,  $s = 3$ , яка мінімізує середньоквадратичну похибку прогнозу.

Для даного прикладу поліноми  $A(z^{-1})$  і  $B(z^{-1})$  мають вигляд:

$$A(z^{-1}) = 1 - 1,5z^{-1} + 0,5z^{-2},$$

$$B(z^{-1}) = 1 - 1,2z^{-1} + 0,6z^{-2}.$$

Використовуючи співвідношення (7.27), можна визначити коефіцієнти функції прогнозування:

$$b_1 = a_1 + f_1 \quad \text{або} \quad f_1 = b_1 - a_1 = -1,2 + 1,5 = 0,3;$$

$$b_2 = a_2 + a_1 f_1 + f_2 \quad \text{або} \quad f_2 = b_2 - a_2 - a_1 f_1 = 0,6 - 0,5 + 1,5 \cdot 0,3 = 0,55;$$

Таким чином,  $F(z^{-1}) = 1 + 0,3z^{-1} + 0,55z^{-2}$ .

Використовуючи тотожність (7.26), запишемо:

$$1 - 1,2z^{-1} + 0,6z^{-2} = (1 - 1,5z^{-1} + 0,5z^{-2}) \cdot (1 + 0,3z^{-1} + 0,55z^{-2}) + z^{-3}(g_0 + g_1z^{-1}).$$

Звідси визначимо, що

$$G(z^{-1}) = 0,675 + 0,275z^{-1},$$

тобто, всі необхідні коефіцієнти для функції прогнозування знайдено.

## Отримані функції прогнозування

Запишемо функції прогнозування динаміки процесу на довільне число  $s$  кроків, отримані в даному розділі:

- для рівняння першого порядку без розв'язку:

$$E_k[y(k+s)] = y(k+s, k) = a_0 \sum_{i=0}^{s-1} a_1^i + a_1^s y(k);$$

- для рівняння AP(2) без розв'язку:

$$E_k[y(k+s)] = y(k+s, k) = a_0 + a_1 E_k[y(k+s-1)] + a_2 E_k[y(k+s-2)]$$

- на основі повного розв'язку рівняння АРКС(1,1):

$$E_k[y(k+s)] = \frac{a_0}{1-a_1} (1-a_1^s) + \beta_1 a_1^{s-1} \varepsilon(k) + a_1^s y(k);$$

- на основі повного розв'язку рівняння AP(1):

$$E_k[y(k+s)] = \frac{a_0}{1-a_1} (1-a_1^s) + a_1^s y(k);$$

- функція прогнозування з мінімальною дисперсією:

$$y(k+s, k) = \frac{G(z^{-1})}{B(z^{-1})} y(k).$$

### 7.3 Створення СППР для прогнозування часових рядів

Для реалізації СППР при прогнозуванні динаміки часових рядів вибирається технологія на основі застосування методів структуризації задач, методів попередньої обробки даних, математичних і статистичних моделей процесів, множини методів оцінювання моделей і множини критеріїв визначення якості прогнозів. Застосування такого підходу забезпечує отримання високої якості прогнозів та прийнятих рішень, які на них ґрунтуються. Схема процесу аналізу даних та прогнозування в СППР на основі часових рядів представлена на рис. 7.1.

Розглянемо алгоритм процесу аналізу та прогнозування на основі часових рядів при підтримці прийняття рішень за схемою на рис. 7.1:

**Крок 1.** Попередня обробка та аналіз даних, що включає в себе:

- заповнення пропусків;
- згладжування екстремальних значень;
- логарифмування;
- нормування в діапазоні від  $-1$  до  $+1$ ;

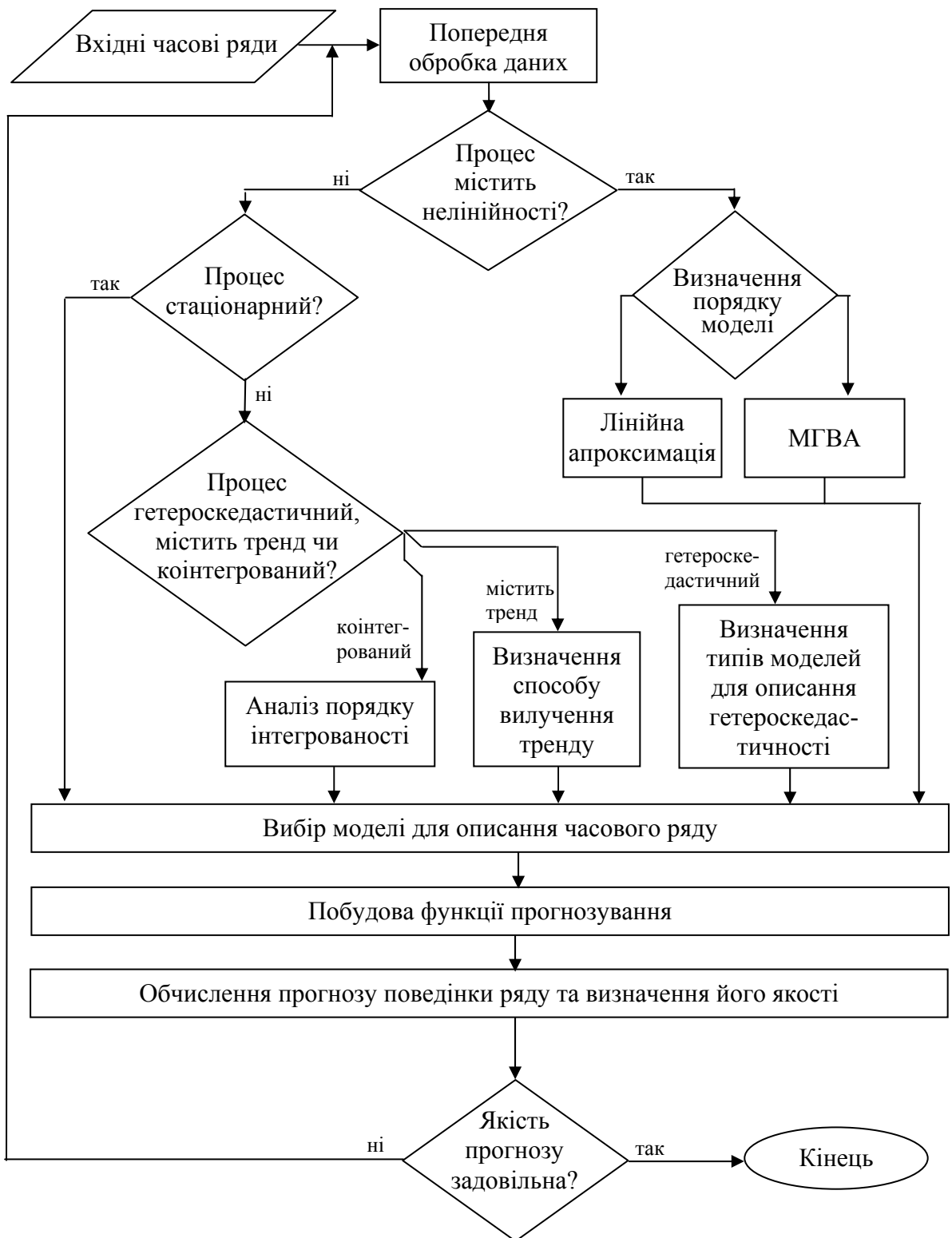


Рис. 7.1 Схема процесу прогнозування на основі часових рядів

- диференціювання (можливості обчислення перших різниць та різниць вищих порядків);
- пряме і зворотне перетворення Фур'є;
- цифрова фільтрація;
- бутстреп (розмноження вибірки даних).

Перехід на крок 2.

**Крок 2.** Перевірка наявності нелінійностей визначається за допомогою тесту Фішера або кореляційних функцій вищих порядків. Якщо процес містить нелінійності, то переходимо до кроку 3, інакше до кроку 4.

### Визначення наявності нелінійностей

Для розв'язання цієї задачі можна користуватися різними критеріями. Однак при цьому необхідно знати про їх можливості. Покажемо на простому прикладі, що застосування лінійних коваріаційних функцій не завжди призводить до позитивних результатів.

Нехай при визначенні структури моделі не були обчислені деякі пояснюючі змінні; у результаті корельовані залишки описуються таким рівнянням:

$$\xi(k) = cu(k-1)e(k-1) + e(k), \quad (7.28)$$

де  $e(k)$  – білий гаусівський шум;  $E[e(k)] = 0$ ,  $E[u(k)] = 0$ ,  $E[e(k)u(k)] = 0$ , тобто, змінні  $e(k)$  і  $u(k)$  некорельовані і мають нульове середнє;  $c$  – масштабний коефіцієнт. Можна показати, що нормована автокореляційна функція залишків із нормованої функції взаємної кореляції між вхідним сигналом  $u(k)$  і залишками мають вигляд:  $\Phi_{\xi\xi}(\tau) = \delta(\tau)$ ,  $\Phi_{u\xi}(\tau) = 0$ ,  $\forall \tau$ .

Проте, із рівняння (7.28) випливає, що  $\xi(k)$  – корельована послідовність, що буде вносити зміщення в оцінки параметрів моделі. Таким чином, у загальному випадку лінійні кореляційні методи не дають можливості встановити факт наявності нелінійних ефектів та ступінь їх впливу на процес.

Для того щоб оцінити тип зв'язку між входом і виходом (тобто, зв'язок лінійна або нелінійна) можна скористатися спектральною функцією високого порядку вигляду:

$$X_{ij} = \frac{|S_{\omega}(\omega_i, \omega_j)|^2}{S_{\omega}(\omega_i)S_{\omega}(\omega_j)S_{\omega}(\omega_i/\omega_j)},$$

де  $S_{\omega}(\omega_i, \omega_j)$  – біспектральна щільність потужності;  $S_{\omega}(\omega_i)$  – спектральна щільність потужності часового ряду. При  $S_{\omega}(\omega_i, \omega_j) = 0, \forall \omega_i, \omega_j$  процес буде лінійним і третій момент вхідного сигналу  $\mu_3 = 0$ . Проте, якщо  $X_{ij} = const$ , то процес лінійний, але  $\mu_3 \neq 0$ .

Такий підхід до встановлення наявності нелінійностей має два недоліки. По-перше, оцінювання спектральної щільності потужності потребує застосування спеціального попередньої обробки сигналів у вигляді застосування часових вікон, усереднення, цифрової фільтрації і т.п. По-друге, він не завжди може бути використаний при розв'язанні задач ідентифікації систем, оскільки він не дає можливості одержати оцінки параметрів моделі в явному вигляді. Крім того, при розв'язанні цих же задач не завжди є можливість одержати виміри вхідного сигналу або ж інформативний вхідний сигнал одержують штучно у вигляді спеціально генерованих послідовностей, що не завжди можна подавати на вхід об'єкта внаслідок особливостей його функціонування.

Що стосується економічних процесів, то в цьому випадку, як правило, не можна поставити експеримент із процесом. Тому використовують тільки ті статистичні дані, які можна реально зібрати в процесі дослідження. У загальному випадку при ідентифікації систем використовують три типи сигналів: вхідні, вихідні і збурення. При цьому вхідний керуючий сигнал вважають незалежним від збурення. У результаті виявляється неможливим з'ясувати деякі типи зв'язків.

Можливо використання також дисперсійного методу визначення присутності нелінійностей, який заснований на застосуванні наступної функції:

$$\Psi_{zu}(t_1, t_2) = E_{u(t_2)} [E_{z(t_1)} [z(t_1) | u(t_2)] - E_{z(t_1)} [z(t_1)]]^2,$$

яка обчислюється за допомогою достатньо складаного інтегрального рівняння, якщо відомі відповідні щільності розподілу можливостей сигналів, що не завжди можна визначити.

Крім розглянутих підходів до визначення наявності нелінійностей, при побудові регресійних моделей можна скористатися простішими тестами. Наприклад, статистикою Фішера:

$$\hat{F} = \frac{\frac{1}{k-2} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} n_i (\bar{y}_i - \hat{y}_{ij})^2}{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2},$$



де  $k$  – число груп даних;  $n_i$  – кількість вимірів у групі;  $\bar{y}_i$  – групове середнє;  $\hat{y}_i$  – значення, що оцінюють по прямій регресії;  $n$  – загальне число вимірів. Фактично дана статистика являє собою таке відношення:

$$\hat{F} = \frac{\text{Відхилення середніх значень від прямої регресії}}{\text{Відхилення значень } y(k) \text{ від групових середніх}}$$

Якщо статистика  $\hat{F}$  зі  $\nu_1 = k - 2$ ,  $\nu_2 = n - k$  ступенями свободи досягає або перевершує рівень значущості, то гіпотезу про лінійність потрібно відкинути.

**Крок 3.** Визначення порядку нелінійності, побудова моделі за МГВА і лінійна апроксимація процесу з метою її порівняння з нелінійною моделлю. Перехід на крок 9.

**Крок 4.** Перевірка процесу на стаціонарність за допомогою тесту Дікі-Фуллера. Якщо процес стаціонарний, переходимо до кроку 9, інакше до кроку 5.

#### **Перевірка процесу на стаціонарність за допомогою тесту Дікі – Фуллера**

При визначенні наявності нестационарності (тобто присутності одиничного кореня), пропонується скористатися тестом Дікі-Фуллера [20], суть якого полягає в наступному: для визначення наявності одиничного кореня запропоновано скористатись трьома рівняннями:

$$\Delta y(k) = \gamma y(k-1) + \varepsilon(k), \quad (7.29)$$

$$\Delta y(k) = a_0 + \gamma y(k-1) + \varepsilon(k), \quad (7.30)$$

$$\Delta y(k) = a_0 + \gamma y(k-1) + a_2 k + \varepsilon(k), \quad (7.31)$$

де  $k$  – дискретний час;  $\gamma = a_1 - 1$  – коефіцієнт у рівнянні:

$$y(k) = a_0 + a_1 y(k-1) + \varepsilon(k).$$

Різниця між рівняннями (7.29) та (7.30), (7.31) полягає у присутності детермінованих членів  $a_0$  і  $a_2 k$  у рівняннях (7.30) і (7.31), відповідно. Рівняння (7.29) представляє собою модель випадкового кроку (або “блукання”), друге включає зміщення у вигляді константи  $a_0$ , а третє включає зміщення та детермінований лінійний часовий тренд.

У всіх трьох рівняннях нас цікавить параметр  $\gamma$ . Якщо  $\gamma = 0$ , то послідовність  $\{y(k)\}$  містить одиничний корінь. Застосування тесту Дікі-Фуллера передбачає оцінювання одного або більше з наведених вище трьох рівнянь за допомогою МНК або ММП з метою отримання оцінки параметра  $\gamma$  та стандартної похибки цієї оцінки. На основі оцінки та її стандартної похибки обчислюється  $t$ -статистика, яка порівнюється із значеннями, наведеними в таблицях Дікі-Фуллера. На основі цього порівняння приймається рішення щодо справедливості або відхилення нуль-гіпотези, що  $\gamma = 0$ .

Нехай для рівняння  $y(k) = a_1 y(k-1) + \varepsilon(k)$  на основі 100 спостережень отримана така оцінка параметра  $\hat{a}_1 = 0,9459$  із стандартною похибкою  $SE_{a_1} = 0,031$ . Очевидно, що оцінювання рівняння  $\Delta y(k) = \gamma y(k-1) + \varepsilon(k)$  приведе до оцінки  $\hat{\gamma} = -0,0541$  з тією ж стандартною похибкою 0,031. Таким чином, для нуль-гіпотези  $\gamma_0 = 0$  відповідна  $t$ -статистика буде дорівнювати:  $t = -0,0541/0,031 = -1,74516$ . Із таблиць Дікі-Фуллера для випадку  $a_0 = a_2 = 0$  при  $N = 100$  знаходимо, що критичні значення  $t$ -статистики дорівнюють  $-1,61$ ;  $-1,95$  та  $-2,60$  на рівнях значущості 10%, 5% та 1%, відповідно. Таким чином, в розглянутому гіпотетичному випадку при  $\hat{\gamma} = -0,0541$  нуль-гіпотеза щодо  $\gamma = 0$  (тобто, одиничний корінь присутній) не може бути відхилена при рівнях значимості 5% та 1%, але вона відхиляється на рівні значущості 10%. Як і у більшості інших випадків перевірки гіпотез, для будь-якого рівня значущості, критичні значення  $t$ -статистики зменшуються при збільшенні розміру вибірки.

Методика тестування на наявність одиничного кореня залишається незмінною для всіх трьох рівнянь (7.29)-(7.31). Однак, критичні значення  $t$ -статистики залежать від структури моделі, тобто від того чи наявні у моделі зміщення  $\alpha_0$  та детермінований тренд  $\alpha_2 k$ . Автори методики визначили, що критичні значення для  $\gamma = 0$  залежать від структури регресійного рівняння та від довжини вибірки. Так, для рівняння (7.29) використовується статистика, що позначається через  $\tau$ , для рівняння (7.30) – статистика позначається  $\tau_\mu$ , а для рівняння (7.31) – через  $\tau_\tau$ .

Якщо у модель включити константу (зміщення), але  $a_2 = 0$ , то необхідно користуватись іншою частиною таблиці критичних значень для  $t$ -статистики. Оцінюючи рівняння для гіпотетичного прикладу у формі:  $\Delta y(k) = a_0 + \gamma y(k-1) + \varepsilon(k)$ , знайдемо, що  $\gamma = 0,9135 - 1 = -0,0865$  із стандартною похибкою 0,041. Таким чином, отримаємо таке значення  $t$ -статистики:  $\tau_\mu = -0,0865/0,041 = -2,1098$ .

З таблиць знову знаходимо, що для 100 спостережень критичні значення дорівнюють  $-2,58$ ;  $-2,89$  та  $-3,51$  на рівнях значущості 10%, 5% та 1%, відповідно. Таким чином, нуль-гіпотеза щодо наявності одиничного кореня ( $\gamma = 0$ ) не може бути відхилена при всіх рівнях значущості, закладених в таблицю Дікі-Фуллера.

Якщо ж скористатись структурою моделі у вигляді:  $\Delta y(k) = a_0 + a_1 y(k-1) + a_2 k + \varepsilon(k)$ , то знайдемо, що критичні значення статистики  $\tau_\tau$  дорівнюють  $-3,45$  та  $-4,04$  на рівнях значущості 5% і 1%, відповідно.

Критичні значення не зміняться, якщо рівняння (7.29), (7.30) і (7.31) замінити такими рівняннями авторегресії:

$$\Delta y(k) = \gamma y(k-1) + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta y(k-i+1) + \varepsilon(k), \quad (7.32)$$

$$\Delta y(k) = a_0 + \gamma y(k-1) + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta y(k-i+1) + \varepsilon(k), \quad (7.33)$$

$$\Delta y(k) = a_0 + \gamma y(k-1) + a_2 k + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta y(k-i+1) + \varepsilon(k). \quad (7.34)$$

Тобто при використанні цих рівнянь для тестування нуль-гіпотези  $\gamma = 0$  використовують ті ж статистики:  $\tau$ ,  $\tau_\mu$  і  $\tau_\tau$ . Для перевірки об'єднаних гіпотез щодо коефіцієнтів Дікі і Фулер запропонували ще три  $F$ -статистики:  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  і  $\phi_3$ .

Так, статистика  $\phi_1$  використовується для перевірки нуль-гіпотези щодо  $\gamma = a_0 = 0$  в рівняннях (7.30) і (7.33). Статистика  $\phi_2$  використовується для перевірки об'єднаної гіпотези  $a_0 = \gamma = a_2 = 0$  в рівняннях (7.31) і (7.34), а статистика  $\phi_3$  – для перевірки об'єднаної гіпотези  $\gamma = a_2 = 0$ .

Статистики  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  і  $\phi_3$  обчислюються по аналогії із звичайними  $F$ -статистиками:

$$\phi_i = \frac{[RSS_1 - RSS_2]r}{RSS_2(N-n)},$$

де  $RSS_1$  і  $RSS_2$  – суми квадратів похибок (СКП), обчислених для моделей з обмеженнями та моделей без обмежень;  $r$  – число обмежень;  $N$  – число

використаних спостережень;  $n$  – число параметрів, оцінених для необмеженої моделі. Можливими обмеженнями можуть бути обмеження на порядок моделі та її структуру.

Обчислення значення  $\phi_i$  та його порівняння із відповідним значенням, запропонованим Дікі і Фулером, дозволяє визначити рівень значущості, на якому обмеження на модель відіграють суттєву роль. При цьому за нуль-гіпотезу приймають те, що дані генеруються моделлю з обмеженнями, а за альтернативну – що дані генеруються моделлю без обмежень. Якщо обмеження не відіграє суттєвої ролі, то сума квадратів похибок для моделі з обмеженнями буде близькою до СКП для моделі без обмежень. Відповідно,  $\phi_i$  буде мати при цьому невелике значення, тобто, при великих значеннях  $\phi_i$  обмеження відіграють суттєву роль і нуль-гіпотеза відхиляється.

Таким чином, якщо розраховане значення  $\phi_i$  є меншим ніж відповідна статистика Дікі і Фуллера, то приймається модель з обмеженнями (тобто, приймається нуль-гіпотеза). Якщо ж розраховане значення  $\phi_i$  є більшим ніж відповідна статистика Дікі і Фуллера, то нуль-гіпотеза відхиляється і приймається альтернативна, тобто, що обмеження грають суттєву роль і модель повинна бути без обмежень.

Необхідно також виконати перевірку гіпотез щодо значущості константи  $a_0$  та коефіцієнта  $a_2$ , значущість якого означає наявність часового тренду. Якщо нуль-гіпотеза визначена як  $\gamma = 0$ , то тестування на наявність часового тренду виконується за допомогою статистики  $\tau_{\beta\tau}$ . Таким чином, ця статистика виконує перевірку чи  $a_2 = 0$  при  $\gamma = 0$ . Для перевірки гіпотези стосовно  $a_0 = 0$ , необхідно скористатись статистикою  $\tau_{\alpha\tau}$ , якщо оцінюється модель (7.34), або статистикою  $\tau_{\alpha\mu}$ , якщо оцінюється модель (7.33).

**Крок 5.** Для перевірки наявності гетероскедастичності застосовуються тести: Уайта, Бройша-Пагана/Годфрі, Голдфельда-Квандта. Наявність тренду визначається за допомогою тесту Дікі-Фуллера. Аналіз коінтегрованості процесів виконується за методикою Інгла-Грейнджера або Йохансена. Якщо процес гетероскедастичний, то переходимо до пункту 6, якщо містить тренд, то до кроку 7, інакше до кроку 8.

**Перевірка наявності гетероскедастичності.  
Тести: Уайта, Бройша-Пагана/Годфрі, Голдфельда-Квандта**

*Тест Уайта*

У відповідності до цього тесту (фактично ми ним вже користувались в попередньому параграфі), для виявлення наявності гетероскедастичності необхідно побудувати допоміжну модель регресії для квадратів залишків, які генеруються у результаті застосування звичайного методу найменших квадратів (МНК) до часових рядів. Регресія квадратів залишків містить у собі (в правій частині) константу, а також всі ненадлишкові регресори на множині всіх регресорів, яка включає самі регресори, їхні квадрати та взаємні добутки. Наприклад, нехай будується початкова регресія у вигляді:

$$y(k) = a_0 + a_1x_1(k) + a_2x_2(k) + \varepsilon(k),$$

тобто вектор вимірів незалежних змінних має вигляд:  $[1 \ x_1 \ x_2]^T$ . У даному випадку всього є дев'ять можливих змінних, але 1 в квадраті залишається одиницею, а взаємні добутки регресорів на 1 також нічого не змінюють. Тому множина всіх ненадлишкових змінних, яка складається із регресорів, їхніх квадратів та взаємних добутків, має вигляд:  $[1 \ x_1 \ x_2 \ x_1^2 \ x_2^2 \ x_1x_2]$ .

Якщо висунути гіпотезу про існування гетероскедастичності, то добуток  $NR^2$  буде мати в асимптотиці розподіл хі-квадрат  $\chi^2(5)$ , де 5 означає кількість регресорів без константи;  $R^2$  – коефіцієнт множинної детермінації. У загальному випадку можна записати, що  $NR^2 \leftrightarrow \chi^2(q)$ , тобто добуток  $NR^2$  приблизно має розподіл хі-квадрат при використанні в регресії  $q$  регресорів (константа не враховується). Цей тест дає можливість виявити наявність гетероскедастичності, але не вказує на її форму і, як наслідок, на тип алгоритму оцінювання параметрів, який необхідно використовувати. Використання тесту Уайта передбачає використання МНК для оцінювання параметрів початкової моделі.

Ще однією проблемою, пов'язаною із використанням цього тесту, є те, що кількість ступенів свободи в розподілі  $\chi^2$  може приймати велике значення, що знижує якість тестування. Наприклад, нехай початкова регресійна модель має  $r$  регресорів (разом із константою). Тоді в загальному випадку  $q = [r(r+1)/2] - 1$  [20, 53]. Якщо  $r = 10$ , то  $q = 54$ . Якщо серед регресорів є фіктивні змінні (змінні, що вводяться у регресію з метою виключення із алгоритму оцінювання частини вимірів), то кількість ступенів свободи буде дещо меншою. Іноді значення  $q$  зменшують

шляхом введення в регресію квадратів регресорів, але виключають взаємні добутки.

*Тест Бройша-Пагана/Годфрі*

Розглянемо лінійну регресію

$$y(k) = \mathbf{x}^T(k)\beta + \varepsilon(k), \quad (7.35)$$

де  $\mathbf{x}^T(k) = [1 \ x_2(k) \ x_3(k) \ \dots \ x_r(k)]$ .

Припустимо, що гетероскедастичність має таку форму:

$$\begin{aligned} E[\varepsilon(k)] &= 0, \quad \forall k, \\ \text{var}[\varepsilon(k)] &= E[\varepsilon^2(k)] = \sigma_\varepsilon^2 = h(\alpha \mathbf{z}^T(k)), \end{aligned} \quad (7.36)$$

де  $\mathbf{z}^T(k) = [1 \ z_2(k) \ z_3(k) \ \dots \ z_p(k)]$  – вектор відомих змінних;  $\alpha = [\alpha_1 \ \alpha_2 \ \dots \ \alpha_p]$  – вектор невідомих коефіцієнтів;  $h(\cdot)$  – деяка невизначена функція, яка може приймати тільки додатні значення. Нуль-гіпотеза щодо гомоскедастичності формулюється так:

$$H_0 : \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha_p = 0, \text{ а це означає, що } \sigma_\varepsilon^2 = h(\alpha_1) = \text{const}.$$

При такій нуль-гіпотезі можна оцінювати коефіцієнти моделі (7.35) за допомогою МНК у припущенні про нормальність розподілу збурень у правій частині рівняння. Процедура застосування тесту на гетероскедастичність в даному випадку досить проста і її можна представити у вигляді таких кроків:

1. Оцінити параметри початкового рівняння (7.35) за допомогою звичайного МНК, сформуванати масив залишків  $e(k) = y(k) - \mathbf{x}^T(k)\beta$  та обчислити дисперсію  $\sigma_\varepsilon^2 = \sigma_e^2 = N^{-1} \sum e^2(k)$ .
2. Знайти оцінки регресії  $e^2(k)/\sigma_e^2$  на  $z(k)$  за допомогою ЗМНК та обчислити значення похибки  $ESS$  (explained sum of squares) за виразом  $ESS = \beta^T \mathbf{X}^T \mathbf{X} \beta - N\mu_y^2$ , де  $\mu_y$  – середнє значення послідовності  $\{y(k)\}$ .
3. При прийнятій нуль-гіпотезі  $H_0 \quad \frac{1}{2}ESS \leftrightarrow \chi^2(p-1)$ .

Таким чином, гіпотеза стосовно гомоскедастичності відхиляється, якщо  $ESS / 2$  перевищує вибране критичне значення із розподілу

$\chi^2$ .

4. Простішим, але асимптотично еквівалентним підходом, є оцінювання регресії  $e^2(k)$  на  $z(k)$ . Величина  $NR^2$ , обчислена для цієї регресії, буде мати в асимптотиці розподіл  $\chi^2(p-1)$  при прийнятій нуль-гіпотезі.

Нагадаємо, що зв'язок між різними видами похибок регресійної моделі визначається за виразом:  $(\mathbf{y}^T \mathbf{y} - N\mu_y^2) = (\beta^T \mathbf{X}^T \mathbf{X}\beta - N\mu_y^2) + \mathbf{e}^T \mathbf{e}$ , або  $TSS = ESS + RSS$ , де  $TSS$  – загальна похибка регресії (total sum of squares);  $RSS$  – сума квадратів похибок моделі (residual (unexplained) sum of squares).

Для застосування цього тесту необхідно знати змінні  $z$ , які спричиняють гетероскедастичність, але немає необхідності знати функціональну форму гетероскедастичності. Ця інформація може бути невідомою. На практиці кандидати в змінні  $z$  можуть бути вибрані з вектора регресорів  $x(k)$ . У такому випадку послідовність використання даного тесту така ж як і тесту Уайта.

#### *Тест Голдфельда-Квандта*

Цей спрощений тест застосовують у тих випадках, коли є одна змінна (як правило, з числа регресорів), що приводить до гетероскедастичності. Припустимо, наприклад, що  $\sigma_\varepsilon^2$  додатно корельована з  $i$ -м регресором  $x_i$ . Тоді процедура тестування складається із наведених нижче кроків.

1. Упорядкувати (за зростанням чи зменшенням) масив значень регресора  $x_i$ .

2. Виключити із аналізу  $c$  середніх значень змінної.

3. Побудувати окремо регресії для перших та останніх  $(N-c)/2$  значень при умові, що їх достатньо для оцінювання заданого числа параметрів моделі.

4. Обчислити значення похибок  $RSS_1$  і  $RSS_2$ , де індекс „1” відноситься до регресії, яка оцінювалась за меншими значеннями  $x_i$ , а „2” відноситься до регресії, яка оцінювалась за більшими значеннями  $x_i$ . Тоді

відношення  $R = \frac{RSS_2}{RSS_1}$  буде мати (в припущенні існування гетероскедастичності)  $F$ -розподіл із  $[(N-c-2r)/2, (N-c-2r)/2]$  ступенями свободи.

При висуванні альтернативної гіпотези  $F$  матиме велике значення.

Таким чином, якщо  $R < F_{0,95}$ , то гіпотеза про існування гетероскедастичності буде відхилена на рівні 5%.

Якість тестування при використанні даного тесту залежить (окрім інших факторів) від кількості середніх спостережень, які виключаються із аналізу. Так, при великому значенні  $c$  якість тестування буде низькою, оскільки  $RSS_1$  і  $RSS_2$  матимуть невелику кількість ступенів свободи. Однак, якщо значення  $c$  невелике, то якість тестування також буде низькою, оскільки зменшуватиметься різниця між  $RSS_1$  і  $RSS_2$ . Рекомендується вибирати значення  $c \approx N/3$ .

**Крок 6.** Визначення типу моделі для опису гетероскедастичності: УАРУГ( $p,q$ ), експоненційна УАРУГ( $p,q$ ), УАРУГ-М або інша. Після вибору найбільш підходящої моделі переходимо до кроку 9.

### Моделі гетероскедастичних процесів

1. Рівняння для умовної дисперсії квадратів залишків першого порядку (АРУГ(1)):

$$h^2(k) = \beta_0 + \beta_1 \varepsilon^2(k-1) + \varepsilon_1(k),$$

де  $h^2(k)$  - умовна дисперсія процесу;  $\varepsilon^2(k)$  - квадрат залишків;  $\varepsilon_1(k)$  - похибка моделі в момент часу  $k$ .

2. Авторегресійна умовно гетероскедастична модель порядку  $p$  (АРУГ( $p$ )):

$$h^2(k) = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i \varepsilon^2(k-i) + \varepsilon_1(k).$$

3. Узагальнена авторегресійна умовно гетероскедастична модель (УАРУГ( $p,q$ )) :

$$h^2(k) = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i \varepsilon^2(k-i) + \sum_{i=1}^q \alpha_i h^2(k-i) + \varepsilon_1(k).$$

Це рівняння показує, що поточне значення умовної дисперсії є функцією від константи, деяких значень квадратів залишків з рівняння умовного середнього та деяких значень попередньої умовної дисперсії.

4. Експоненційна авторегресійна умовно гетероскедастична модель (Е - УАРУГ( $p,q$ )):



$$\log(h^2(k)) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \frac{|\varepsilon(k-i)|}{h(k-i)} + \sum_{i=1}^p \gamma_i \frac{\varepsilon(k-i)}{h(k-i)} + \sum_{i=1}^q \beta_i \log(h^2(k-1) + \varepsilon_1(k))$$

У моделях УАРУГ( $p, q$ ) умовна дисперсія залежить від розміру залишків, а не від їх знаків. Наведена модель описує умовну дисперсію як асиметричну функцію значень  $\varepsilon$ . Це дозволяє додатнім і від'ємним попереднім значенням  $\varepsilon$  мати різний вплив на волатильність. Представлення в логарифмічному вигляді дає можливість включити від'ємні значення залишків, не отримуючи при цьому від'ємну умовну дисперсію.

5. Авторегресійна мовно-гетероскедастична модель модифікована (УАРУГ - М) – моделювання премії за ризик:

$$y(k) = \beta + \gamma h(k) + \varepsilon_1(k),$$

$$h^2(k) = a_0 + a_1 \sum_{i=1}^p \varepsilon^2(k-i) + \sum_{i=1}^q h^2(k-i) + \varepsilon_2(k).$$

У цьому рівнянні умовна середня дисперсія перетворена в середньо-квадратичну так, що вона виражається в тих же одиницях вимірювання, що і премія за ризик.

6. Модель для прогнозування волатильності за допомогою УАРУГ:

$$y(k+1) = \beta_0 + \beta_1 \varepsilon^2(k) + \gamma_1 h^2(k),$$

$$y(k+j) = \beta_0 + (\beta_1 + \gamma_1) h^2(k+j-1).$$

У другому рівнянні  $\varepsilon^2$ , значення якого не відоме, замінюється на умовну оцінку  $h^2$ . Таким чином, друге рівняння дозволяє прогнозувати  $h^2$  в момент часу  $t+1$  ( $j=1$ ), потім в момент часу  $t+2$  ( $j=2$ ) і т.д.

7. Двофакторна модель УАРУГ. Припустимо, що моделі умовних середніх мають такий вигляд:

$$s(k) = \alpha_0 + \alpha_1 s(k-1) + \varepsilon_s(k), \quad f(k) = \beta_0 + \beta_1 f(k-1) + \varepsilon_f(k).$$

Рівняння умовної дисперсії та коваріації мають наступний вигляд:

$$h^2(s(k)) = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon^2(s(k-1)) + \alpha_2 h^2(s(k-1)),$$

$$h^2(f(k)) = \beta_0 + \beta_1 \varepsilon^2(f(k-1)) + \beta_2 h^2(f(k-1)),$$

$$\text{cov}[s(k), f(k)] = \gamma_0 + \gamma_1 \varepsilon(s(k-1)) + \gamma_2 \text{cov}[s(k-1), f(k-1)].$$

Рівняння корекції похибки, що впливає із наявності коінтеграції:

$$\begin{aligned} s(k) &= \alpha_0 + \alpha_1 [(s(k-1) - \lambda f(k-1)) + \varepsilon_s(k)], \\ f(k) &= \beta_0 + \beta_1 [(s(k-1) - \lambda f(k-1)) + \varepsilon_f(k)]. \end{aligned}$$

Коефіцієнт хеджування при використанні двофакторної моделі:

$$\hat{b}^*(k) = \frac{\text{cov}[s(k), f(k)]}{\hat{h}^2(f)}.$$

Перевагою двофакторної моделі УАРУГ з використанням коефіцієнта хеджування є те, що він визначається на основі дисперсій та коваріацій, що змінюються в часі.

#### 8. Статична регресійна модель.

Для того щоб порівняти якість функціонування регресійних УАРУГ моделей, описаних вище, використовується статична регресійна модель, де середнє і дисперсія незмінні у часі. Вона має такий вигляд:

$$fp(k) = a_0 + u(k) u(k)F(k-1) \sim N(0; \omega^2).$$

Дисперсія  $\omega^2$  незмінна й має бути додатною. Для моделювання збурень використовується гаусівська випадкова величина.

**Крок 7.** Визначення способу вилучення або моделювання тренду включає в себе визначення порядку інтегрованості процесу або можливість описання тренду поліноміальною функцією, експоненціальною, логарифмічно або іншими функціями. Після вилучення тренду переходимо до кроку 9.

**Крок 8.** Для коінтегрованих процесів будується модель корекції похибок і переходимо до кроку 10.

**Крок 9.** Будується модель часового ряду та обчислюються критерії адекватності отриманої моделі і переходимо до кроку 10.

## Критерії адекватності моделі

Критерії адекватності моделі дозволяють оцінити окремо значущість коефіцієнтів математичної моделі в статистичному сенсі, визначити інтегральну похибку моделі стосовно вихідного часового ряду, встановити наявність кореляції між значеннями похибки моделі (нагадуємо, що вони повинні бути не корельованими), а також визначити ступінь адекватності моделі фізичному процесу в цілому. У цю множину входять такі статистичні параметри:

1.  **$t$  – статистика Стьюдента.** Значимість кожного коефіцієнта регресії в статистичному сенсі визначають за допомогою  $t$  – статистики, що, як правило, обчислюється всіма пакетами статистичної обробки даних за формулою:

$$t_a = \frac{\hat{a} - a_0}{SE_a},$$

де  $\hat{a}$  – оцінка коефіцієнту, яка отримана за допомогою пакета;  $a_0$  – нуль-гіпотеза у відношенні значення цього коефіцієнту (звичайно  $a_0 = 0$ );  $SE_a$  – стандартна похибка оцінки коефіцієнта, що обчислюється пакетом. Очевидно, що чим менше значення стандартної похибки, тим кращою є оцінка коефіцієнта для моделі.

Для визначення значущості оцінки коефіцієнта необхідно знати довжину вибірки  $N$ , кількість оцінюваних параметрів  $p$  і задатися рівнем значущості  $\alpha$  (зазвичай задаються  $\alpha = 1\%$ ,  $\alpha = 5\%$  або  $\alpha = 10\%$ ). Рівень значущості, рівний  $5\%$ , означає, що при оцінюванні регресії ми допускаємо, що помилкове прийняття рішення стосовно значущості оцінок можливо у  $5\%$  випадків. Ці параметри дозволяють вибрати по таблицях значення  $t_{крит}$ . Якщо  $-t_{крит} < t_a < t_{крит}$ , то нуль-гіпотеза про незначущість коефіцієнта приймається; у протилежному випадку вона відхиляється і коефіцієнт вважається значущим. Оскільки значення статистики  $t_a$  обернено пропорційне стандартній похибці  $SE_a$ , то чим більшим буде значення  $t_a$ , тим вищою буде значущість конкретного коефіцієнта.

2. **Коефіцієнт детермінації  $R^2$ .** За міру інформативності часового ряду часто використовують його дисперсію. Коефіцієнт  $R^2$  – це відношення дисперсії тієї частини часового ряду основної змінної, що

описується отриманим рівнянням, до вибіркової дисперсії цієї змінної. Він обчислюється за формулою:  $R^2 = \frac{\widehat{\text{var}}(y)}{\text{var}(y)}$ .

Очевидно, що для адекватної моделі коефіцієнт детермінації повинен прямувати до одиниці, тобто:  $R^2 \rightarrow 1$ .

3. **Сума квадратів похибок моделі**  $\sum e^2(k)$ , тобто

$$SSE = \sum_{k=1}^N [\widehat{y}(k) - y(k)]^2,$$

де  $\widehat{y}(k) = \widehat{a}_0 + \widehat{a}_1 \widehat{y}(k-1) + \widehat{a}_2 \widehat{y}(k-2) + \widehat{b}_1 x(k) + b_2 z(k)$ ;  $y(k)$  – вимірювання;  $N$  – довжина вибірки. Очевидно, що з можливих кандидатів необхідно вибирати ту модель, для якої  $\sum e^2(k)$  приймає мінімальне значення.

4. **Інформаційний критерій Акайке (AIC)**. Цей критерій враховує суму квадратів похибок, кількість вимірів  $N$  і кількість оцінюваних параметрів моделі  $p$ :

$$AIC = N \ln \left[ \sum_{k=1}^N e^2(k) \right] + 2p.$$

Очевидно, що для кращої моделі критерій має менше значення, оскільки він залежить від суми квадратів похибок (СКП). Проте, крім СКП, даний критерій враховує довжину вибірки і кількість оцінюваних параметрів, що робить його інформативнішим.

5. **Статистика Дарбіна-Уотсона (Durbin-Watson)**. Статистика Дарбіна-Уотсона обчислюється за формулою:

$$DW = 2 - 2\rho,$$

де  $\rho$  – коефіцієнт кореляції між сусідніми значеннями випадкової змінної  $\varepsilon(k) \approx e(k)$ , тобто  $\rho = \text{cov}[e(k)] = E[e(k)e(k-1)]$ .

Цей параметр дозволяє визначити ступінь корельованості похибок моделі. При повній відсутності кореляції між похибками  $DW = 2$ , це найбільше прийнятне значення даного параметра.

6. **Статистика Фішера  $F$** , яка визначає ступінь адекватності моделі в цілому. Для адекватної моделі виконується умова:

$$F > F_{крит}$$

де  $F_{крит}$  визначається по таблиці аналогічно  $t$  – статистиці. Значення  $F$  пропорційно  $R^2/(1-R^2)$ , де  $R^2$  – коефіцієнт детермінації. Таким чином, більшому значенню  $F$  відповідає модель вищого ступеня адекватності.

7. **Коефіцієнт Тейла** є дуже важливим індикатором точності моделі та її сумісності:

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i)^2 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i)^2}}$$

За побудовою, його величина знаходиться між 0 і 1. Якщо  $U=1$ , модель не може бути використана для прогнозу. Прогнозовані, на основі отриманої моделі, і реальні ряди некорельовані. У протилежному випадку, якщо  $U=0$ , прогнозовані ряди співпадають з реальними рядами і модель ідеально описує дані.

Цей коефіцієнт може бути розкладений на суму відношення упередженості  $U^M$ , відношення варіацій  $U^S$  і відношення коваріацій  $U^C$ . Відношення упередженості

$$U^M = \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

використовується для перевірки наявності систематичних відхилень для середніх реальних і прогнозованих рядів. Або, інакше кажучи, чи модель весь час завищує прогноз. Чим менша величина  $U^M$ , тим краща модель. Якщо  $U^M = 0$ , то в прогнозованих значеннях відсутня упередженість і модель високоякісна.

$U^S$  – відношення варіацій, яке визначається так:

$$U^S = \frac{(\sigma_{actual} - \sigma_{fitted})^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}.$$

Відношення варіацій використовується для перевірки того, що модель має достатньо динамічних властивостей для поглинання варіацій реальних рядів. Наприклад, модель може забезпечити систематично менші коливання, ніж коливання реальних рядів. Аналогічно  $U^M$ , менші значення  $U^S$  є індикатором меншого зміщення.

$U^C$  – відношення коваріацій, яке визначається так:

$$U^C = \frac{2(1-\rho)(\sigma_{actual} - \sigma_{fitted})^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}.$$

Відношення коваріацій  $U^C$  показує, наскільки корельованими є прогнозовані та реальні ряди. Рівність  $U^C = 0$  є свідченням того, що прогнозовані і реальні ряди ідеально корельовано.

Три зазначені статистики пов'язані між собою таким чином:

$$U^C + U^M + U^S = 1.$$

**Крок 10.** На основі обраної моделі, будується функція прогнозування. Обчислюється прогноз поведінки ряду та визначаються оцінки точності прогнозу.

Для оцінювання якості моделі необхідно визначити, наскільки добре модель відтворює реальні часові ряди. Завжди рекомендується робити повторний (ретроспективний) прогноз після моделювання. Формальними критеріями оцінки якості прогнозу є такі.

- формальні статистики;
- поворотні точки (точки перегину);
- чутливість до зміни початкових даних;
- чутливість до зміни коефіцієнтів.

### **Критерії вибору кращого прогнозу (формальні статистики)**

1. Середньоквадратична похибка (СКП):

$$СКП = \sqrt{\frac{1}{S} \sum_{i=1}^S (y(k+s) - \hat{y}(k+s, k))^2}.$$

2. Середня похибка прогнозу (СП):

$$СП = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S y(k+s) - \hat{y}(k+s, k).$$

3. Середня похибка в процентах:

$$СПП = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S \frac{y(k+s) - \hat{y}(k+s, k)}{y(k+s)} \times 100\%.$$

4. Середня абсолютна похибка у процентах:

$$АСПП = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S \frac{|y(k+s) - \hat{y}(k+s, k)|}{|y(k+s)|} \times 100\%$$

5. Максимальна абсолютна похибка (МАП):

$$МАП = \max \{ |y(k+1) - \hat{y}(k+1, k)|, \dots, |y(k+s) - \hat{y}(k+s, k)| \}.$$

6. Мінімальна абсолютна похибка (МіАП):

$$МіАП = \min \{ |y(k+1) - \hat{y}(k+1, k)|, \dots, |y(k+s) - \hat{y}(k+s, k)| \}.$$

Оцінка моделей за точками перегину є важливим показником, оскільки деякі моделі можуть мати більшу точність, але можуть погано спрацьовувати при прогнозуванні змін трендів або циклів. Інші моделі можуть бути менш точними, але можуть проявляти більш багатий динамічний характер. Підсумовуючи можна говорити про компроміс між точністю і динамічними властивостями. На жаль, не існує формульного тесту цих властивостей. Проте візуальна перевірка прогнозованих і реальних рядів швидко визначає, чи включає модель точки перегину [7].

Іншим важливим тестом якості моделі є аналіз чутливості до початкових (стартових) даних. Якщо модель дає результати, в цілому грубо незалежні від початкових даних, то така модель вважається якісною.

**Крок 11.** Якщо точність прогнозу не задовольняє особу, що приймає рішення, то уточнюються вхідні дані і переходимо до кроку 1. Інакше, процес закінчується.

## 7.4 Приклад реалізації СППР на основі часових рядів

Реалізація СППР при прогнозуванні динаміки часових рядів розглянемо у вигляді послідовності необхідних етапів відповідно до розробленого алгоритму.

### Етап I. Ідентифікація часового ряду

На цьому етапі вибирається модель, яка з найбільшим ступенем адекватності описує часовий ряд.

### Етап II. Вибір методів прогнозування

На даному етапі вибирається кращий метод прогнозування для наявного часового ряду. Методи прогнозування на основі різницевих рівнянь розглянуті у підрозділі 7.2.

### Етап III. Вибір методів попередньої обробки даних

Попередня обробка та аналіз даних включає в себе: нормування, логарифмування, заповнення пропусків, згладжування екстремальних адитивних значень і таке інше.

### Етап IV. Вибір методів оцінювання параметрів моделей

Для лінійних та квазілінійних моделей:

- метод найменших квадратів (МНК) та його рекурсивна версія (РМНК);
- метод максимальної правдоподібності (ММП) та його рекурсивна версія;
- метод допоміжної змінної (МДЗ).

Для нелінійних моделей:

- нелінійний метод найменших квадратів (НМНК);
- метод максимальної правдоподібності (ММП);
- узагальнений метод моментів (УММ);
- метод Монте Карло для Маяковських ланцюгів.

### Етап V. Вибір критеріїв вибору кращих моделей з множини оцінюваних кандидатів.

На даному етапі вибираються відомі та формуються нові критерії добору кращих моделей. Критерії адекватності моделей розглянуті на Кроці 9 алгоритму процесу прогнозування в СППР, що наведений в підрозділі 7.3.

### Етап VI. Вибір методів обчислення якості прогнозу

Оцінка якості прогнозу може бути виконана за методами Кроку 10



алгоритму процесу прогнозування, що розглянутий у підрозділі 7.3.

### Етап VII. Розробка функціональної структури системи та інтерфейсу

Розглянута СППР при прогнозуванні часових рядів представляє собою прототип СППР універсального типу, яка проектується на основі технічного завдання конкретного замовника. Однак, створений прототип є функціонально повним і цілісним програмним продуктом, який містить необхідні складові для підтримки прийняття рішень при прогнозуванні динаміки змінних процесу, що моделюється. Структурна схема СППР зображена на рис. 7.2.

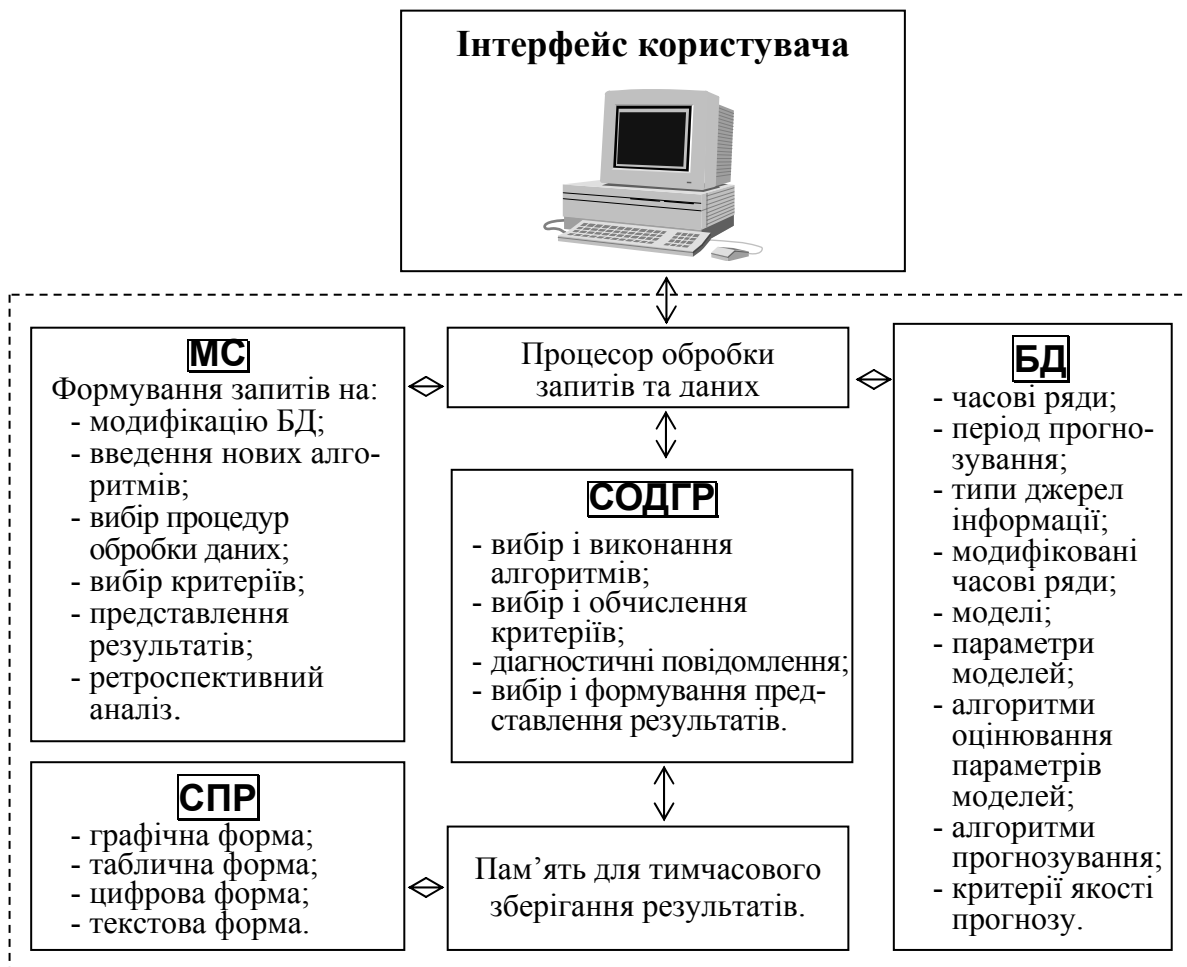


Рис. 7.2 Структурна схема СППР

Реалізована СППР є найбільш простою з погляду архітектури, тому її впровадження може бути доцільним в організаціях, що не ставлять перед собою глобальних завдань і що мають відносно невисокий рівень розвитку інформаційних технологій. Архітектура створеної СППР складається з таких рівнів:

1. завантаження і обробка даних;
2. аналіз даних;
3. побудова та вибір кращої моделі;
4. прогнозування.

Перший рівень надає можливість завантаження даних шляхом імпорту із текстового файлу чи ручним вводом. Після чого можливе перетворення даних для усунення їх надлишковості та підготовка даних до аналізу;

Другий рівень забезпечує можливість візуальної оцінки даних, проведення статистичного та кореляційного аналізу.

Третій рівень надає засоби для побудови моделей авторегресії із ковзним середнім. Він надає можливість оцінити параметри якості моделі для вибору кращої.

Четвертий рівень реалізує динамічне та статистичне прогнозування на базі створених моделей.

### Діаграма класів СППР

Відображення взаємозв'язків між окремими компонентами СППР, опис їх внутрішньої структури та типи відношень зручно розглянути в термінології класів об'єктно-орієнтованого проектування [11]. На рис.7.3 представлена діаграма основних класів розробленої СППР.

Головним класом на діаграмі є клас *BasicForm*, оскільки він реалізує головне вікно програми. Також важливими класами є класи *DataClass* та *GlobalDataTables*, що виступають в якості накопичувачів даних в процесі роботи програми. Розглянемо кожний клас докладніше.

**Клас *DataClass*** використовується для зберігання завантажених часових рядів, надає методи доступу та редагування даних.

Атрибутами класу виступають наступні параметри:

- *countAllRows* – вказує кількість завантажених рядів за час роботи програми;
- *dataAr* – ступінчатий масив для збереження завантажених рядів;
- *nameAr* – масив імен завантажених рядів.

Методи класу:

- *AddDataAr(string, double[])* – додає ряд в масив *dataAr*;
- *AddElements(int,int)* – додає вказану кількість невизначених елементів у кінець вказаного ряду;
- *CountRows()* – повертає кількість завантажених рядів;
- *DelDataAr(int)* – видаляє вказаний ряд;
- *DelElement(int,int)* – видаляє вказаний елемент із вказаного ряду;

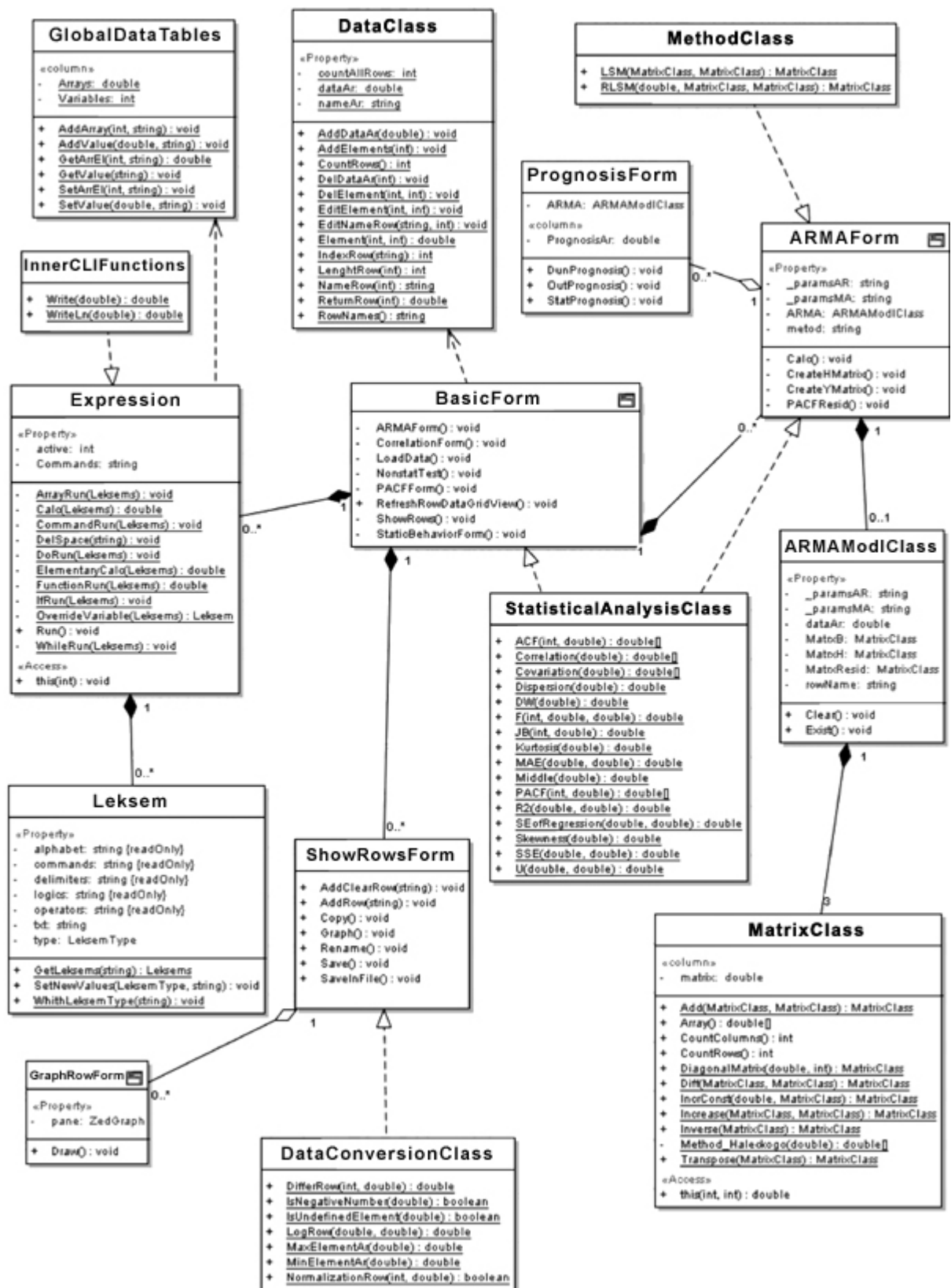


Рис. 7.3 Діаграма класів СППР

- `EditElement(int,int,double)` – присвоює нове значення елементу ряду;
- `EditNameRow(int,string)` – змінює ім'я ряду;
- `Element(int,int)` – повертає значення заданого елементу ряду;
- `IndexRow(string)` – повертає індекс ряду по його імені;
- `LenghtRow(int)` – повертає довжину вказаного ряду;
- `NameRow(int)` – повертає ім'я ряду по його індексу;
- `ReturnRow(int)` – повертає масив елементів ряду;
- `RowNames()` – повертає масив імен усіх рядів.

**Клас *BasicForm*** утворює головне вікно програми з якого розпочинають свій життєвий цикл об'єкти усіх інших класів.

Методи цього класу наступні:

- `LoadData ()` – зчитує дані із текстового файлу та зберігає їх;
- `NonstatTest()` – виконує тест на не стаціонарність ряду;
- `RefreshRowDataGridView()` – оновлює вікно;
- `StaticBehaviorForm()` – викликає вікно із статистичними характеристиками ряду;
- `ARMAForm()` – викликає вікно для побудови АРКС моделі;
- `CorrelationForm()` – викликає вікно із коваріаційною та кореляційною матрицями;
- `CorrelationForm()` – викликає вікно із графіками АКФ та ЧАКФ;
- `ShowRows()` – викликає віно перегляду та редагування ряду.

**Клас *ShowRowsForm*** використовується для перегляду елементів рядів та їх редагування.

Методи класу:

- `AddClearRow(string)` – додає пустий ряд;
- `AddRow(int)` – додає уже існуючий ряд;
- `Copy(int)` – копіює ряд;
- `Del(int)` – видаляє ряд;
- `Graph(int[])` – графічне представлення ряду;
- `Rename(int)` – перейменовує ряд;
- `Save(int)` – зберігає внесені зміни;
- `SaveInFile(int)` – зберігає ряд у текстовий файл.

**Клас *GraphRowForm*** виконує графічне представлення даних ряду. Атрибут `pane` – містить криві, що відображаються. Метод `Draw()` – відображає задані криві у вікні.

**Клас *DataConversionClass*** містить методи обробки рядів:

- `DifferRow(double[],int)` – обчислює різниці заданого порядку;

- IsNegativeNumber(double[]) – вказує, чи містить ряд від’ємні елементи;
- IsUndefinedElement(double[]) – вказує, чи містить ряд невизначені елементи;
- LogRow(double[], double) – логарифмує ряд;
- MaxElementAr(double[]) – повертає максимальний елемент ряду;
- MinElementAr(double[]) – повертає мінімальний елемент ряду;
- NormalizationRow(double[]) – нормує ряд.

**Клас** *StatisticalAnalysisClass* містить методи обчислення статистичних показників:

- ACF(double[],int) – обчислює АКФ;
- Correlation(double[][]) – обчислює кореляцію;
- Covariation(double[][]) – обчислює коваріацію;
- Dispersion(double[]) – обчислює дисперсію;
- DW(double[]) – обчислю статистику Дарбіна-Уотсона;
- F(double[]) – обчислює F-статистику;
- JB(double[]) – обчислює статистику Жака-Бера;
- Kurtosis(double[]) – обчислює куртозис (ексцес);
- MAE(double[]) – обчислює середню абсолютну похибку у відсотках;
- Middle(double[]) – обчислює середнє;
- PACF(double[],int) – обчислює ЧАКФ;
- R2(double[]) – обчислює коефіцієнт детермінації;
- SeofRegression(double[]) – обчислює середньоквадратичну похибку;
- Skewness(double[]) – обчислює коефіцієнт асиметрії;
- SSE(double[]) – обчислює суму квадратів похибок;
- U(double[]) – обчислює коефіцієнт Тейла.

**Клас** *ARMAForm* утворює вікно для побудови та вибору кращої моделі.

Атрибути:

- *\_paramsAR* – порядок AP;
- *\_paramsMA* – порядок KC;
- *ARMA* – клас побудованої моделі;
- *Method* – метод обчислень параметрів.

Методи:

- *Calc()* – обчислення параметрів моделі;
- *CreateHMatrix()* – створення матриці H;
- *CreateYMatrix()* – створення матриці Y;
- *PACFResid()* – обчислення ЧАКФ залишків.

**Клас *MethodClass*** містить методи обчислення коефіцієнтів моделі:

- LSM() – реалізує МНК;
- RLSM() – реалізує РМНК.

**Клас *PrognosisForm*** утворює вікно для прогнозування.

Атрибути:

- ARMA – клас побудованої моделі;
- PrognosisAr – масив прогнозованих значень.

Методи:

- DunPrognosis() – динамічне прогнозування;
- StatPrognosis() – статичне прогнозування;
- OutPrognosis() – виведення прогнозованих значень.

**Клас *ARMAModlClass*** створений для збереження моделі АРКС.

Атрибути:

- \_paramsAR – порядок АР;
- \_paramsMA – порядок КС;
- dataAr – вхідний ряд даних;
- MatrxB – матриця параметрів моделі;
- MatrXH – матриця H;
- MatrXResid – матриця залишків;
- rowName – ім'я ряду.

Методи:

- Clear() – очищує всі атрибути;
- Exist() – вказує чи існує модель.

**Клас *MatrixClass*** створений для роботи з матрицями. Атрибут matrix – зберігає двохвимірний масив даних.

Методи:

- Add(MatrixClass, MatrixClass) – обчислює суму двох матриць
- Array() – повертає масив даних, що представляє матрицю;
- CountColumns() – кількість стовпців матриці;
- CountRows() – кількість рядів матриці;
- DiagonalMatrix(double) – створює діагональну матрицю;
- Diff(MatrixClass, MatrixClass) – виконує віднімання двох матриць;
- IncrConst(MatrixClass, double) – перемножує матрицю на число;
- Increase(MatrixClass, MatrixClass) – перемножує дві матриці;
- Inverse(MatrixClass) – повертає обернену матрицю;
- Method\_Халецького() – реалізує метод Халецького;
- Transpose(MatrixClass) – транспонує матрицю.

**Клас** *Leksem* створений для визначення та збереження окремої лексеми.

Атрибути:

- Alphabet – алфавіт;
- Commands – набір допустимих команд;
- Delimiters – набір допустимих розділювачів;
- Logics – набір допустимих логічних команд;
- Operators – набір допустимих операторів;
- Txt – текстове представлення лексеми;
- Type – тип лексеми.

Методи:

- GetLeksems(string) – розбиває текст команди на лексеми;
- SetNewValues(string,LeksemType) – змінює лексему;
- WhithLeksemType() – повертає тип лексеми.

**Клас** *Expression* виконує команди користувача.

Атрибути:

- Active – індекс активної команди;
- Commands – масив команд.

Методи:

- ArrayRun() – виконує команду оголошення масиву;
- Calc() – виконує обчислення виразу;
- CommandRun() – виконує обчислення команди;
- DelSpace() – видаляє пробіли із тексту команди;
- DoRun() – виконує цикл do {...}while(...);
- ElementaryCalc() – обчислює елементарний вираз, що не містить змінних, функцій та дужок;
- FunctionRun() – команда виконання функції;
- IfRun() – виконання команди умовного оператора if-else;
- OverrideVariable() – заміну у виразі змінні та функції на їх абсолютні значення;
- Run() – запуск команди;
- WhileRun() – виконання циклу while() {}.

**Клас** *GlobalDataTables* зберігає усі змінні та масиви.

Атрибути:

- Arrays – таблиця масивів;
- Variables – таблиця змінних.

Методи:

- AddArray(string,int) – добавляє новий масив;
- AddValue(string,double) – добавляє нову змінну;

- GetArrEl(string,int) – повертає елемент масиву;
- GetValue(string) – повертає значення змінної;
- SetArrEl(string,int,double) – встановлює значення елементу масиву;
- SetValue(string,double) – встановлює значення змінної.

**Клас *InnerCLIFunctions*** містить додаткові методи:

- Write(Leksem) – виводить дані на консоль;
- WriteLn(Leksem) – виводить дані на консоль і переміщує курсор у новий рядок.

### **Функціональні можливості СППР**

Функціональна схема розробленої СППР представлена на рис. 7.4.

#### **Завантаження даних**

Завантаження даних до програми можливе двома способами:

1. Головне меню «Ряд» → «Завантажити». Після чого вибрати текстовий файл з даним. Необхідною умовою успішного виконання команди є розділення цілої та дробової частини комою. А також запис даних у файлі у один стовпчик.
2. Головне меню «Ряд» → «Додати пустий ряд». Після чого вказати ім'я та розмірність ряду.

Також через головне меню «Ряд» можна копіювати, видаляти та зберігати ряд даних у текстовий файл.

#### **Редагування та попередня обробка даних**

Щоб відкрити ряд для перегляду та редагування достатньо двічі натиснути на ньому ліву кнопку мишки, чи виконати команду меню «Ряд» → «Показати». Після чого відкриється вікно для маніпулювання даними, в якому можна виконувати такі функції:

- додавати чи видаляти елементи ряду;
- відкривати чи створювати нові ряди;
- нормувати чи логарифмувати дані;
- обчислювати різниці заданого порядку;
- будувати графіки рядів даних;
- змінювати ім'я ряду;
- зберігати внесені значення у програму чи у текстовий файл.

#### **Графічне представлення даних**

Графічне представлення рядів можливе за допомогою вибору в меню «Графік» вікна «Перегляду та редагування ряду» (рис. 7.5).



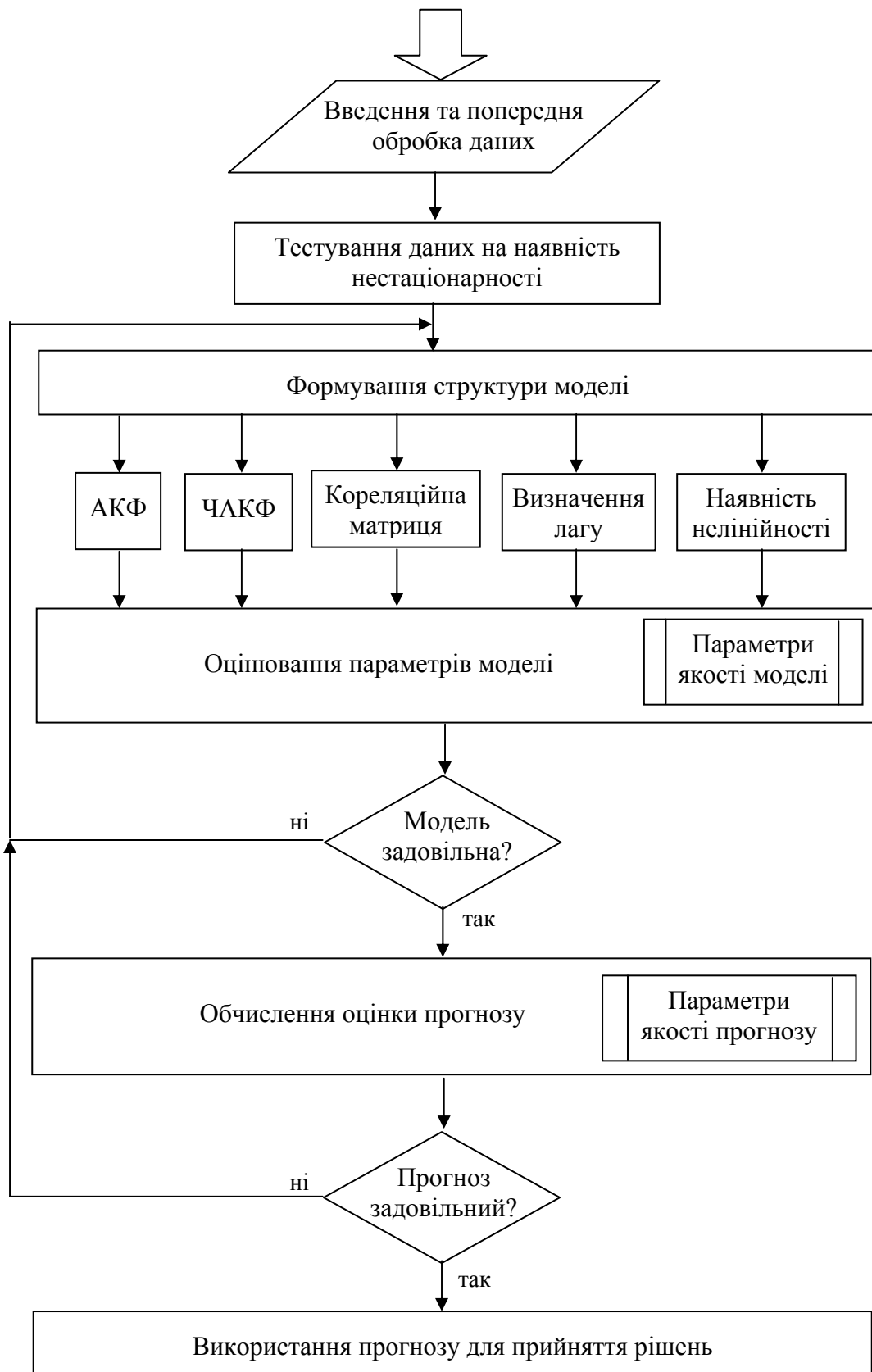


Рис.7.4 Функціональна схема СПДР

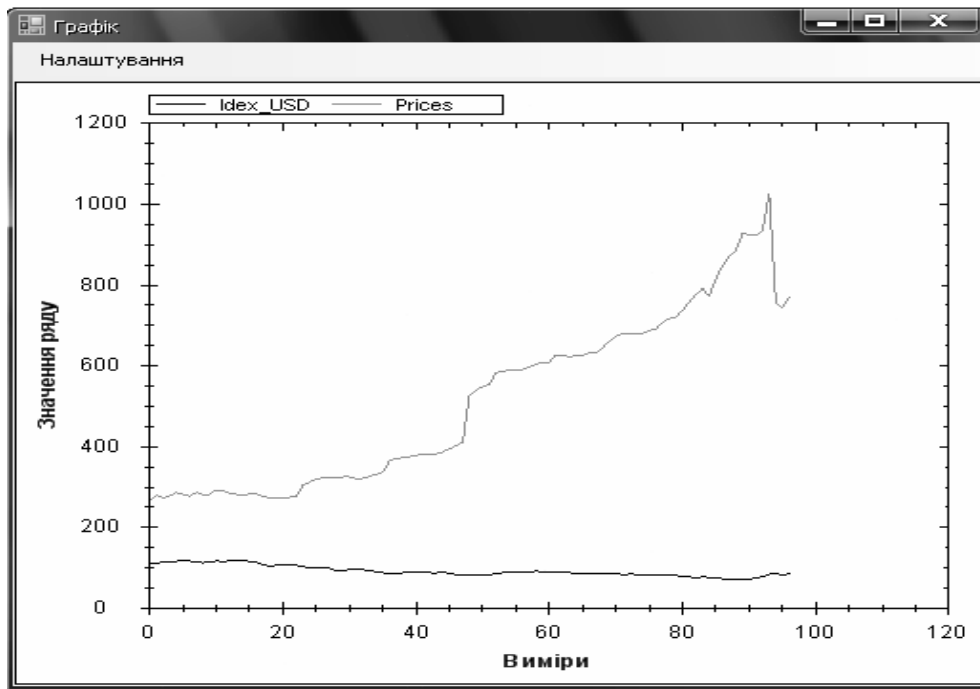


Рис. 7.5 Графічне представлення рядів даних

У вікні «Графік» за допомогою консольного меню можливе редагування масштабу зображення, збереження у файл чи роздрукування на принтері. А також за допомогою головного меню «Налаштування» можливо змінювати імена та колір кривих, тип ліній та точок.

### Аналіз даних

Аналіз даних здійснюється через меню «Аналіз» головного вікна програми, що надає можливість:

- обчислення описових статистик;
- обчислення АКФ та ЧАКФ;
- обчислення коваріаційної та кореляційної матриці;
- проведення тесту на стаціонарність/нестаціонарність ряду.

### Побудова та вибір кращої моделі АРКС

На рис. 7.6 представлено вікно побудови моделі, в якому є можливість вибирати ряд, за яким будується модель, параметри які будуть оцінюватись, а також метод оцінки параметрів. Після побудови моделі через меню «Дані» доступні такі операції:

- оцінити характеристики моделі;
- переглянути матрицю  $H$ ;
- зберегти залишки моделі для тесту на гетероскадестичність.

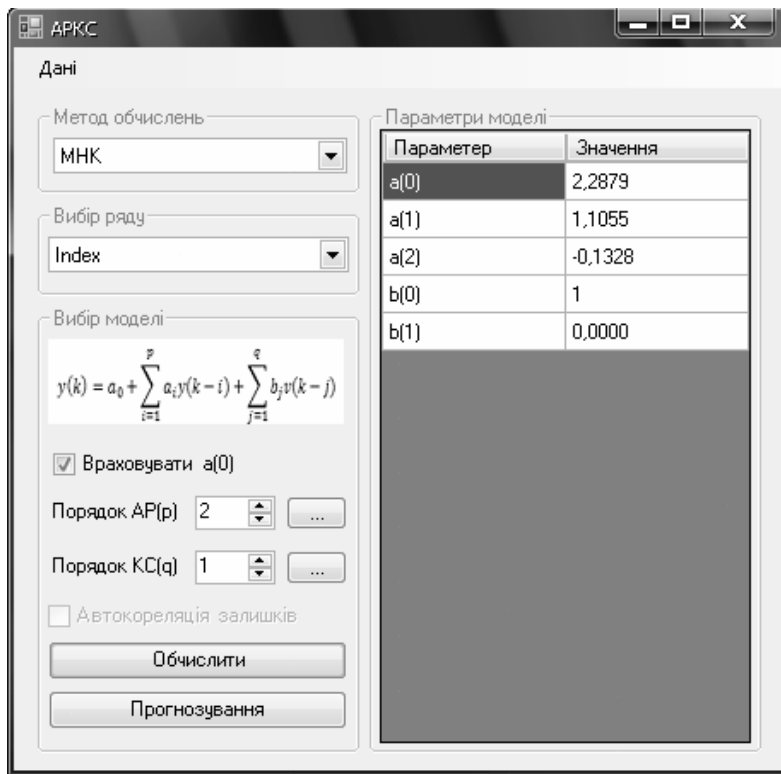


Рис. 7.6 Вікно побудови моделі АРКС

## Прогнозування

Після побудови та вибору моделі стає доступним заключний етап аналізу – прогнозування. У вікні для прогнозування (рис. 7.7) вибирається тип прогнозу: статичний чи динамічний; і „вікно прогнозу” – початкова та кінцева точки прогнозу. Після обчислення прогнозних результатів для користувача доступне графічне представлення вхідних та прогнозованих даних для візуального порівняння.

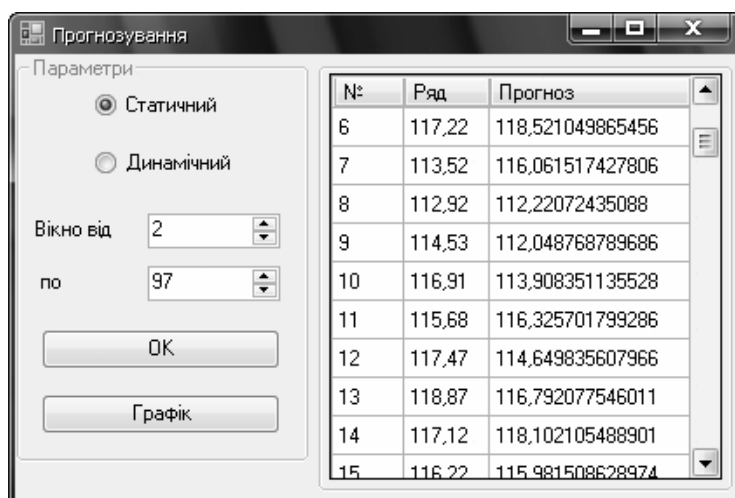


Рис. 7.7 Вікно прогнозування

## Командний блок СППР

Для покращення та розширення можливостей редагування часових рядів в СППР реалізовано модуль *Командного блоку*, який відображається в головному вікні системи та складається з двох частин:

- консолі, що виводить команди та результати їх виконання;
- текстового поля для вводу команд.

Завдяки наявності циклів, функцій та масивів режим командного блоку надає можливість швидко формувати нові чи редагувати вже існуючі елементи ряду за допомогою обчислення довільної математичної формули, що вводить користувач.

Синтаксис команд, що можуть вводиться до командного блоку, є надзвичайно простим та легким для користувача. Послідовні команди необхідно розділяти крапкою з комою. Всі пробіли при виконанні команд будуть проігноровані і не є значимими. Також реалізовано синтаксичний аналізатор команд, який є регістронезалежним, тобто не розрізняє верхній та нижній регістри.

Алфавіт мови командного блоку (допустимі символи):

- символи латинського алфавіту: `qwertyuiopasdfghjklzxcvbnm`
- оператори: `+/*^=|!&><`
- розділювачі: `.;(){}[]`.

Оголошувати змінні не потрібно. За замовчанням тип усіх змінних – `double`, а початкове значення за замовченням – нуль. Логічні вирази обчислюються за принципом, що нуль – це `false`, а усі значення відмінні від нуля – `true`.

Оголошення масиву: **array** *ідентифікатор* [ *розмірність масиву* ];

Звернення до елемента масиву: *ідентифікатор* [ *індекс елемента* ];

Виклик функції: *ідентифікатор* ( *парм.1* , *парм.2* , .. );

Цикл while: **while** ( *вираз* ) { *ком.1*; *ком.2*; .. };

Цикл do: **do** { *ком.1*; *ком.2*; .. } **while** ( *вираз* );

Оператор if-else: **if** ( *вираз* ) { *ком.1*; *ком.2*; .. } **else** { *ком.1*; *ком.2*; .. };

Інші команди: **return, continue, break**

Вбудовані функції:

- **Write**(*змінна/число/вираз*) – виводить дані на консоль;
- **WriteLn**(*змінна/число/вираз*) – виводить дані на консоль зміщує курсор на новий рядок;
- **Set**(*індекс ряду; індекс елемента; значення*) – встановлює нове значення елемента числового ряду;
- **Get**(*індекс ряду; індекс елемента;*) – повертає значення елемента ряду;
- **Del**(*індекс ряду; індекс елемента;*) – видаляє елемент заданого ряду;

- **Add**(індекс ряду; кількість нових невизначених елементів) – додає задану кількість невизначених елементів в кінець заданого ряду;
- **Abs**(число) – повертає модуль числа;
- **Log**(число, базис логарифму) - повертає логарифм числа;
- **Exp**(число) – підносить експоненту до заданого степеня;
- **Cos**(радіани) – обчислює косинус кута заданого в радіанах;
- **Sin**(радіани) – обчислює синус кута заданого в радіанах;
- **Tan**(радіани) – обчислює тангенс кута заданого в радіанах.

Текст, що вводиться в текстове поле командного блоку, потрапляє до синтаксичного аналізатору інтерпретатора командного блоку. Після зчитування команди аналізатором видаляються із неї усі пробіли. Далі команда розбивається на лексеми, з якими в подальшому працює інтерпретатор. Блок-схема розбиття команд синтаксичним аналізатором на лексеми зображена на рис. 7.8.

Групи лексем:

- Оператори: +/\*^=
- Змінні – повинні розпочинатися із латиської літери, а також містити лише латинські символи та цифри.
- Розділювачі: ;(){}[].
- Команди: if,else,do,while,array,return,continue,break
- Числа
- Масиви – імя масива повинне відповідати формату змінної і закінчуватися розділювачами [ ]. Наприклад : a[1], b111[10].
- Логічні оператори: !,!=,==,|,&,<=,>=,<,>
- Функції – імя функції повинне відповідати формату змінної і закінчуватися розділювачами (). Наприклад: write(10).

Можливі варіанти початку команди:

- із змінної;
- із масиву;
- із функції;
- із команди.

Обчислення виразів складається із таких етапів:

1. Заміна усіх змінних, масивів та функцій їх значеннями.
2. Перевірку на наявність мінуса на початку виразу.
3. Обчислення усіх виразів, що дані в дужках.
4. Обчислення кінцевого елементарного вираження, що не містить змінних, масивів, функцій та дужок в порядку пріоритетності операторів.



Усі змінні зберігаються у глобальній таблиці змінних «Variables». Усі масиви зберігаються у глобальній таблиці масивів «Arrays».

### Приклад застосування СППР для моделювання та прогнозування ВВП України

Розглянемо приклад застосування розробленої СППР для дослідження та прогнозування ВВП України. За значеннями поквартальних показників ВВП за допомогою СППР побудуємо авторегресійну модель і зробимо однокроковий статичний прогноз.

За графічним представленням даних можна зробити припущення про наявність тренду (рис. 7.9). Результати тесту Дікі-Фуллера (рис. 7.10) підтверджують таку гіпотезу, тому перед подальшими дослідженнями та моделюванням варто виконати попередню обробку даних, щоб привести ряд до стаціонарного виду. Для цього обчислимо перші різниці і отримаємо стаціонарний ряд з яким будемо працювати в подальшому (рис.7.11).

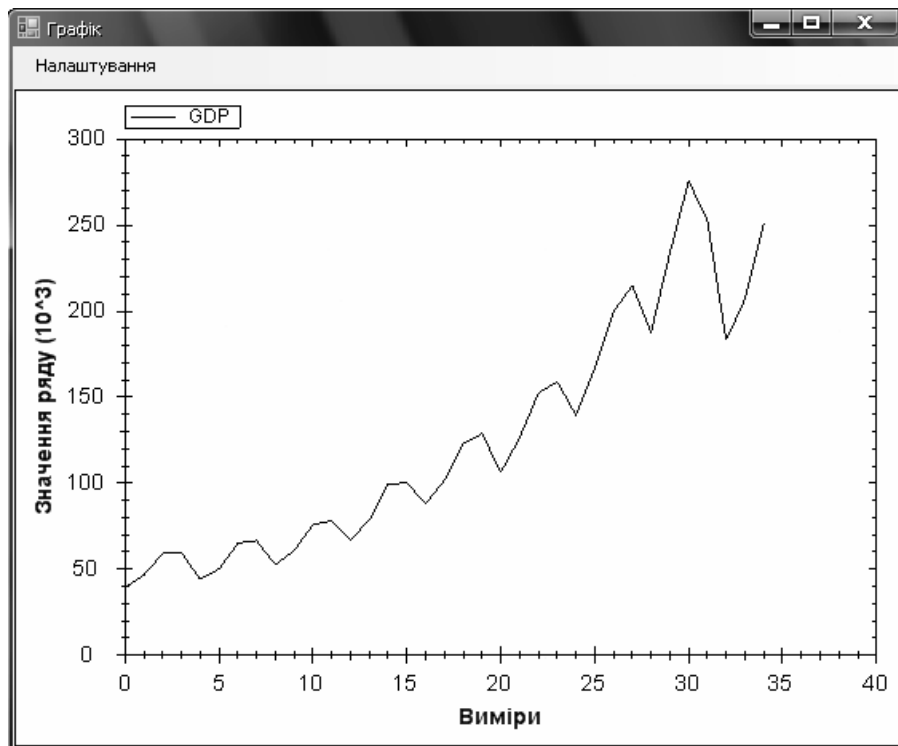


Рис. 7.9 Поквартальні показники ВВП України з 2001 року, у мільйонах гривень

Тест Дікі-Фуллера. Ряд "GDP"		
Тобч.	Ткр. при 5%	Ткр. при 1%
1,111	-1.94	-2.57

Рис.7.10 Результати тесту на стаціонарність ряду

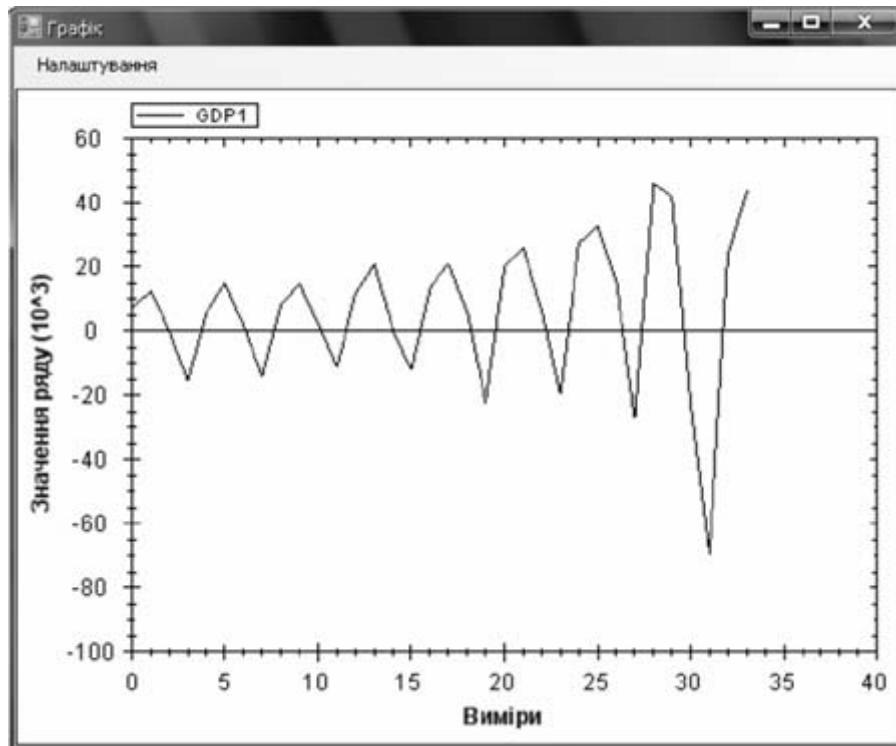


Рис. 7.11 Ряд ВВП України після взяття перших різниць

Після розрахунків АКФ та ЧАКФ (рис.7.12) для подальшого аналізу виберемо такі моделі АРКС:

$$1) y_1(k) = a_2 * y_1(k-2) + a_5 * y_1(k-5) + e(k) + b_3 * e(k-3) + b_4 * e(k-4) + b_5 * e(k-5)$$

$$2) y_1(k) = a_2 * y_1(k-2) + a_4 * y_1(k-4) + a_5 * y_1(k-5) + e(k) + b_1 * e(k-1)$$

де

$$y_1(k) = ВВП(k) - ВВП(k-1)$$



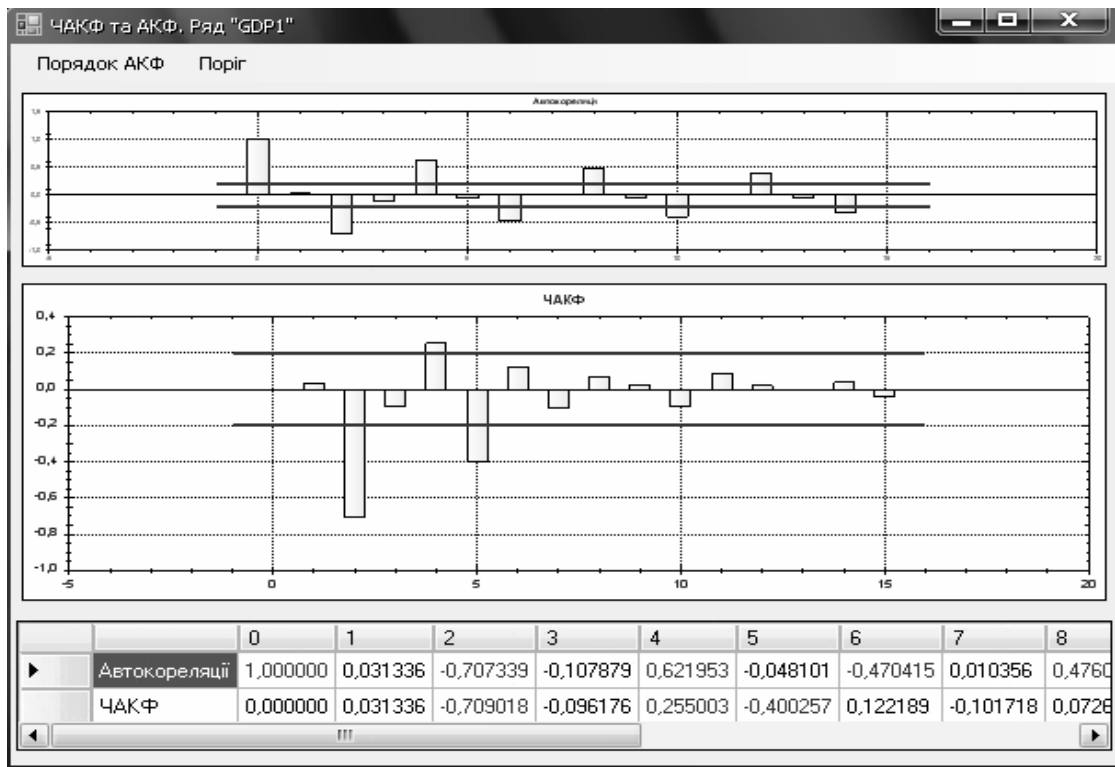


Рис.7.12 АКФ та ЧАКФ ВВП після взяття перших різниць

Після обчислення характеристик вибраних моделей (рис. 7.13) остаточно зупиняємось на другому рівнянні АРКС(5,1), що краще описує наш процес:

$$y_1(k) = a_2 * y_1(k-2) + a_4 * y_1(k-4) + a_5 * y_1(k-5) + e(k) + b_1 * e(k-1)$$

де

$$y_1(k) = ВВП(k) - ВВП(k-1)$$

Оцінені параметри обраної моделі АРКС(5,1) за методами МНК та РМНК наведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1

**Оцінка параметрів моделі АРКС(5,1)**

Коефіцієнт моделі	Оцінка в СППР, метод МНК	Оцінка в СППР, метод РМНК
a <sub>2</sub>	-0,3258	-0,3258
a <sub>4</sub>	0,9875	0,9875
a <sub>5</sub>	-0,1574	-0,1574
b <sub>1</sub>	0,6493	0,6493

Параметри якості моделі.		Параметри якості моделі.	
Коэф. детермінації	0,6528	Коэф. детермінації	0,9872
СКП	18602,8407	СКП	11781,0849
DW	2,2125	DW	0,8660
F-статистика	1,8798	F-статистика	230,6912
Кр. Тейла	0,3970	Кр. Тейла	0,2325

а)АРКС(5,5)

б) АРКС(5,1)

Рис.7.13 Характеристики обраних моделей

В таблиці 7.2 представлені результати прогнозування ВВП за вибраною моделлю АРКС(5,1).

Таблиця 7.2

**Результати прогнозування ВВП України**

Вимір	Реальне значення, млн. грн	СППР			
		МНК		РМНК	
		Прогноз, млн. грн	Похибка, млн. грн	Прогноз, млн. грн	Похибка, млн. грн
2008-4	252 670	268 803	-16 133	268 803	-16 133
2009-1	183 217	210 871	-27 654	210 871	-27 654
2009-2	207 096	242 582	-35 486	242 570	-35 474
2009-3	250 614	265 792	-15 178	265 788	-15 174
2009-4		214 168		214 171	
<b>Сер. абсолютна похибка</b>			-18 890		-18 887
<b>Сер. Абсолютна похибка, %</b>			11,2%		11,2%

### Контрольні задачі і запитання

1. Для чого необхідні прогнози?
2. В чому полягає різниця між умовними та безумовними статистичними характеристиками випадкових процесів?
3. Вкажіть, які *умовні* та *безумовні* статистичні характеристики використовуються при виконанні статистичного аналізу випадкових процесів?
4. Розкрийте процес прогнозування без знаходження розв'язку рівнянь.
5. Опишіть процедури побудови функції прогнозування на основі розв'язку різницевого рівняння.
6. Сформулюйте припущення, на яких ґрунтується побудова функції прогнозування з мінімумом дисперсії.
7. Наведіть алгоритм процесу аналізу та прогнозування на основі часових рядів.
8. Поясніть здійснення перевірки процесу на стаціонарність за допомогою тесту Дікі – Фуллера. Який тип нестаціонарності аналізується в даному випадку?
9. Що таке гетероскедастичність і де вона може зустрічатись?
10. Опишіть відомі вам тести на гетероскедастичність процесу.
11. Сформулюйте статистичні критерії перевірки моделі на адекватність – коефіцієнт детермінації і статистика Дарбіна-Уотсона?
12. В чому суть статистики Фішера?
13. Що означає термін «перенавчання моделі»?
14. Які існують критерії вибору кращої оцінки прогнозу процесу?
15. Чому для оцінювання ступеня адекватності моделі і якості прогнозу не можна використовувати по одному статистичному критерію?

## РОЗДІЛ 8

### ПОБУДОВА СППР НА ОСНОВІ МЕРЕЖ БАЙЄСА

#### 8.1 Вступ до мереж Байєса

Байєсові мережі (БМ) знаходять все ширше застосування в інформаційних системах обробки статистичних, даних, представлених часовими рядами і часовими перерізами, а також якісними даними, представленими експертними оцінками, лінгвістичними змінними, інтервальними значеннями і т. ін. Судячи з числа публікацій, саме широке застосування БМ знайшли у розв'язанні задач медичної діагностики, де вони допомагають ставити та уточнювати діагнози самих різних хвороб в умовах неточної та неповної інформації [5, 18]. Відомі застосування БМ у системах технічної діагностики – система моніторингу космічного корабля багаторазового використання, діагностика двигунів різних типів та призначення, аналіз стану технологічних процесів і технічних систем [58, 62]. Широке застосування знаходять БМ в системах класифікації даних різної природи, системах автоматичного розпізнавання мовних сигналів, маркетингу і бізнесі, а також у багатьох інших сферах діяльності [5, 8, 58, 62]. Загалом БМ дає можливість встановити причинно-наслідкові зв'язки між подіями та визначити ймовірності настання тієї чи іншої ситуації при отриманні нової інформації стосовно зміни стану будь-якого вузла (змінної) мережі. Ступінь успішності застосування даного методу моделювання та формування статистичного висновку залежить від вміння коректно сформулювати постановку задачі, вибрати змінні процесу, які в достатній мірі характеризують його динаміку або статику, зібрати статистичні дані та використати їх для навчання мережі, а також коректно сформулювати результат – висновок за допомогою побудованої мережі.

Побудова БМ пов'язана з необхідністю послідовного розв'язання декількох задач, зокрема це задачі обчислювального характеру, що зустрічаються при навчанні мережі. В загальному випадку навчання мережі відноситься до  $NP$ -повних задач, тобто об'єм обчислень зростає поліноміально із збільшенням кількості вузлів (змінних) мережі [51, 52].

Даний розділ присвячено розробці практичної методики побудови байєсових мереж, яка може бути використана при наявності достатньої статистичної інформації стосовно досліджуваної системи, необхідної для побудови БМ. Пропонована методика може бути використана також тими дослідниками, хто вже має уяву про мережі, але не має достатнього досвіду щодо їх побудови та застосування. Спочатку розглянемо загальні питання стосовно використання теореми Байєса, а потім перейдемо до

загальних принципів побудови та навчання БМ на основі експериментальних (статистичних) даних.

**Постановка задачі.** Необхідно розробити методику побудови (формування структури) БМ у вигляді спрямованого ациклічного графа, який призначений для моделювання та візуалізації інформації щодо конкретної задачі навчання мережі на основі наявної інформації та формування статистичного висновку – прийняття рішення щодо поставленої задачі. БМ можна розглядати як модель представлення ймовірнісних залежностей (взаємозв'язків) між його вершинами. Зв'язок  $A \rightarrow B$  називають причинним, якщо подія  $A$  є причиною виникнення  $B$ , тобто якщо існує механізм впливу значень змінної  $A$  на значення, які приймає змінна  $B$ . БМ називають причинною (каузальною) тоді, коли всі її зв'язки є причинними.

Формально, БМ – це трійка  $N = \langle V, G, J \rangle$ , першою компонентою якої є множина змінних  $V$ ; другою – спрямований ациклічний граф  $G$ , вузли якого відповідають випадковим змінним модельованого процесу;  $J$  – спільний розподіл ймовірностей змінних  $V = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ . При цьому стосовно множини змінних виконується марковська умова, тобто кожна змінна мережі не залежить від усіх інших змінних, за винятком батьківських попередників цієї змінної.

Спочатку ставиться задача обчислення значень взаємної інформації між усіма вершинами (змінними) мережі. Потім необхідно знайти оптимальну структуру мережі з використанням за критерій якості оцінку опису мережі мінімальної довжини (ОМД), значення якої аналізується і оновлюється на кожній ітерації алгоритму навчання.

**Теорема Байєса і формування висновку на її основі.** Ймовірність одночасної появи двох незалежних подій  $D$  і  $S$  визначається за виразом:

$$p(D, S) = p(D)p(S).$$

Якщо події  $D$  і  $S$  залежні, то поява однієї з них дає деяку інформацію про можливість появи іншої:  $p(D, S) = p(D)p(S | D)$ , де  $p(S | D)$  – ймовірність появи події  $S$  при умові, що вже мала місце подія  $D$ . Наприклад, подію  $D$  можна інтерпретувати як захворювання, а  $S$ , як симптом. Якщо є інформація про те, що пацієнт має деяке захворювання, то можна присвоїти вищу ймовірність появи визначеного симптому. Враховуючи комутативність наведеного вище виразу, можна записати:

$$p(D, S) = p(S)p(D | S) = p(D)p(S | D),$$

а звідси маємо просту форму теорему Байєса (ТБ):

$$p(D|S) = \frac{p(D)p(S|D)}{p(S)}.$$

Теорему Байєса можна розглядати як механізм формування висновку (прийняття рішення). Припустимо, що розглядається проста задача постановки діагнозу. В даному випадку маємо:  $p(D|S)$  – ймовірність захворювання при наявності симптому  $S$ , тобто це подія, відносно якої необхідно сформулювати висновок;  $p(D)$  – ймовірність захворювання на конкретну хворобу в межах деякої популяції, – цю величину можна оцінити на основі аналізу історії розвитку цієї популяції;  $p(S|D)$  – ймовірність появи симптому, якщо пацієнт вже хворий. Останню величину можна оцінити за допомогою даних, взятих з історій хвороб. Ймовірність появи даного симптому  $S$  у вибраній популяції позначимо через  $p(S)$ ; цю величину також можна обчислити на основі статистичних даних, але в цьому, як правило, немає необхідності (покажемо це нижче).

Припустимо, що змінна захворювання  $D$  має два стани (або може приймати два можливих значення):  $D_t$  – істинне значення ймовірності, яке означає, що пацієнт має хворобу;  $D_f$  – неістинне (протилежне) значення. Ці два значення ймовірності дають в сумі одиницю незалежно від того, яке значення приймає  $S$ :

$$p(D_t|S) + p(D_f|S) = 1.$$

Застосуємо до останньої рівності теорему Байєса:

$$\frac{p(D_t)p(S|D_t)}{p(S)} + \frac{p(D_f)p(S|D_f)}{p(S)} = 1$$

або

$$p(S) = p(D_t)p(S|D_t) + p(D_f)p(S|D_f).$$

Тобто знаючи оцінку  $p(S)$ , її можна виключити з подальшого розгляду. В даному прикладі змінна  $D$  має тільки два стани, але, очевидно, що  $p(S)$  можна виключити з розгляду при довільному числі станів  $D$ .

Теорему Байєса можна розглядати як вираз (механізм), який об'єднує «ап'юріорну» та «правдоподібну» інформацію, запишемо її у вигляді:

$$p(D|S) = \alpha p(D)p(S|D),$$

де  $\alpha = 1/p(S)$  – нормуюча константа. Тепер  $p(D)$  можна розглядати як апріорну інформацію, оскільки вона була відома до отримання будь-яких вимірів;  $p(S|D)$  – правдоподібна інформація, оскільки ми отримуємо її з аналізу (вимірів) симптомів.

В деяких випадках ми можемо обчислити апріорні ймовірності на основі статистичних даних. Наприклад, апріорну ймовірність появи захворювання можна визначити в результаті ділення числа випадків захворювання на загальне число пацієнтів, які проходять огляд. Однак, в більшості випадків це неможливо зробити внаслідок суб'єктивних труднощів отримання статистичних даних, але апріорні знання можна представити у інших формах. Розглянемо ілюстративний приклад з розпізнавання образів.

**Приклад 8.1.** Розглянемо задачу розпізнавання двох кіл у цифровому образі, які мають бути розташовані на визначеній відстані одне від одного. Алгоритми розпізнавання ґрунтуються, як правило, на обчисленні множини ознак та їх порівняння з відомими. Для розпізнавання зображення кіл можна скористатись багатьма ознаками, але для прикладу виберемо простий варіант розпізнавання. Наприклад, розробимо алгоритм розпізнавання двох кіл в даному образі, які мають однакові радіуси та знаходяться на деякій відстані  $S$  одне від одного. Якщо вдається знайти два суміжних кола, то далі необхідно встановити, чи є ці кола саме тими, які ми шукаємо?

Припустимо, що центри кіл знаходяться на відстані  $S = 2(r_i + r_j)$ , де  $r_i, r_j$  – радіуси кіл, знайдених в образі. Для простоти приймемо, що радіуси однакові. Для кожної пари кіл, знайдених в цифровому образі, обчислимо міру  $M$  наближення до шуканої пари кіл за виразом:

$$M = \frac{|r_i - r_j|}{r_i} + \frac{|S - 2(r_i + r_j)|}{r_i}.$$

Очевидно, що  $M = 0$  при ідеальному узгодженні міри з вибраною парою кіл. Міру  $M$  можна перетворити за деякою логікою у ймовірність, наприклад, за допомогою розподілу ймовірностей. Таким чином можна знайти суб'єктивну оцінку ймовірності за допомогою обчислених значень міри  $M$ .

Альтернативною стратегією є застосування об'єктивних методів. Для цього необхідно виконати деякі експерименти. Для даного прикладу необхідно знайти розміри фігур (кіл) для множини фотографій. Для кожного виміру параметрів двох кіл обчислюємо міру  $M$ , а також

запитуємо експерта – чи представляє вибрана пара кіл шукані кола? На основі цього експерименту можна побудувати гістограму та відповідний дискретний розподіл.

**Правдоподібність.** Як правило, апріорні ймовірності ґрунтуються на фактах, які знову і знову підтверджуються з плином часу. Їх можна оцінювати на основі відомих обґрунтованих знань щодо проблеми, яка моделюється. Разом з тим, експериментальні дані містять, як правило, похибки вимірів (або похибки збору статистичних даних), що призводить до невизначеності, яку виражають через правдоподібність. В прикладі, що розглядається, ці похибки можуть бути пов'язані з методичними та обчислювальними похибками алгоритму розпізнавання образів. Алгоритм розпізнавання не може взяти і виділити коло, але він може сказати з яким ступенем наближення деяка фігура наближається до кола. Наприклад, можна підрахувати число пікселів, що формують коло. Знаючи число пікселів, можна обчислити ймовірність наближення цієї фігури до кола. Тобто правдоподібність можна обчислити за аналогією із обчисленням апріорних ймовірностей.

Тепер можна сформулювати правило прийняття рішення (висновку) щодо наявності шуканого зображення двох кіл в деякому образі:  $p(C | I) = \alpha p(C) p(I | C)$ , де  $p(C)$  – апріорна ймовірність того, що два кола представляють шукані кола; вона визначається на основі міри  $M$ , а також апріорного знання щодо перетворення  $M$  у ймовірність;  $p(I | C)$  – ймовірність отримання необхідної інформації щодо образу за умови, що два кола представляють собою шукані кола – це інформація щодо правдоподібності, отримана в процесі обробки вимірів.

**Проста мережа Байєса.** Розглянутий спрощений підхід до формування Байєсового висновку не дає можливості застосовувати його у більш складних ситуаціях обробки апріорної інформації. Так, у виразі для міри подібності деякого образу до шуканої пари кіл

$$M = \frac{|r_i - r_j|}{r_i} + \frac{|S - 2(r_i + r_j)|}{r_i}$$

обидва члени у правій частині в однаковій мірі впливають на значення  $M$ , але це не кращий спосіб формування міри. В цю міру можна ввести нові члени, які характеризують, наприклад, колір фону навколо кіл, які ми шукаємо. Тобто складнішою мірою подібності довільного образу до шуканого може бути така:



$$M = \alpha \frac{|r_i - r_j|}{r_i} + \beta \frac{|S - 2(r_i + r_j)|}{r_i} + \gamma \cdot (\text{Ознака кольору}),$$

де  $\alpha, \beta$  і  $\gamma$  – евристичні константи, які можна визначити, наприклад, експертним шляхом.

Розглянемо випадок, коли дані щодо проблеми можуть поступати з декількох джерел. Тепер теорема Байєса приймає вигляд:

$$p(D | S_1, S_2, \dots, S_n) = \frac{p(D) p(S_1, S_2, \dots, S_n | D)}{p(S_1, S_2, \dots, S_n)}.$$

В даному випадку виникає проблема оцінювання умовної ймовірності  $p(S_1, S_2, \dots, S_n | D)$  при великих значеннях  $n$ . Однак, якщо припустити незалежність подій  $S_i, i=1, \dots, n$  при відомому  $D$ , то отримаємо:

$$p(S_1, S_2, \dots, S_n | D) = p(S_1 | D) p(S_2 | D) \dots p(S_n | D).$$

В результаті подальшого нормування можна позбутися знаменника  $p(S_1, S_2, \dots, S_n)$ , що спрощує задачу формування висновку. Таким чином, отримуємо рівняння для формування висновку за теоремою Байєса:

$$p(D | S_1, S_2, \dots, S_n) = \alpha p(D) p(S_1 | D) p(S_2 | D) \dots p(S_n | D).$$

Це рівняння можна представити графічно, як показано на рис. 8.1. На графі змінні представлено колами, а стрілки вказують на зв'язок (умовні ймовірності) між незалежними і залежними змінними. Незалежні змінні називають *батьківськими* або *попередниками*, а залежні – *дитячими* або *нащадками*.

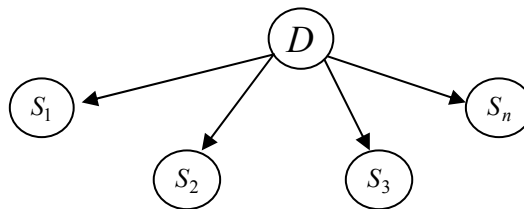


Рис. 8.1 Проста мережа Байєса

Задачу розпізнавання шуканого образу двох кіл також можна представити у вигляді простої мережі Байєса, представленої на рис. 8.2.

Зазначимо, що використання деревовидної структури дає можливість точніше виразити вплив кожного члена міри наближення деякого довільного образу до шуканого зображення. Відповідні змінні описані в табл. 8.1, а висновок можна сформулювати за виразом:

$$p(M | S, D, F) = \alpha p(M) p(S | M) p(D | M) p(F | M).$$

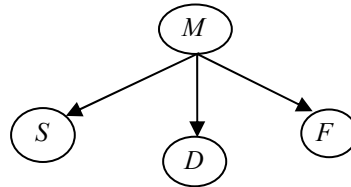


Рис. 8.2 Проста мережа Байєса для розпізнавання шуканого образу

Таблиця 8.1

**Описання змінних простої мережі Байєса  
для розпізнавання образу**

Змінна	Інтерпретація	Тип	Значення
<i>M</i>	міра подібності до шуканого образу	дискретна (2 знач.)	істина або фальш
<i>S</i>	відстань між центрами кіл	неперервна	$(S - 2(r_i + r_j)) / r_i$
<i>D</i>	різниця в розмірі кіл	неперервна	$ (r_i - r_j) / r_i $
<i>F</i>	колір фону навколо кіл	дискретна (20 знач.)	за наближеною гістограмою пікселів для відтінків кольорів

За оцінку кольору фону навколо кіл, які представляють шуканий образ, можна взяти гістограму пікселів для відтінків кольорів в безпосередній близькості до кіл. Це може бути дискретна змінна, яка приймає обмежене число значень. З іншого боку, відстань між очами – це неперервна змінна, хоча точність її виміру можна обмежити точністю розміру пікселя. Можна дещо змінити вираз для визначення ступеня рознесення кіл у просторі, наприклад, можна ввести додатні та від’ємні значення (шляхом видалення модуля):

$$\text{Рознесення кіл} = \frac{S_i - 2(r_i + r_j)}{r_i} = \frac{2r_i - 2r_i - 2r_j}{r_i} \approx -2,$$

при  $r_i \approx r_j$  та  $S_i = 2r_i$ . Це приведе до того, що міра рознесення кіл буде змінюватись приблизно від  $-2,0$  (кола розташовані дуже близько,  $S_i = 2r_i$ ) до  $2$  (кола знаходяться далеко одне від одного,  $S_i = 3,0r_i$ ). Діапазон значень змінної „рознесення кіл” можна поділити на будь-яке число станів, але для ілюстрації зупинимось на таких 7 станах:

$$\{ \text{менше } -2,0 \}, \{ -2,0 \div (-1,5) \}, \{ -1,5 \div (-1,0) \}, \{ -1,0 \div (-0,5) \}, \\ \{ -0,5 \div 0 \}, \{ 0 \div 0,5 \}, \{ \text{більше } 0,5 \}$$

В залежності від конкретної постановки задачі кількість станів змінної можна визначати різними способами.

Кожній дузі мережі Байєса ставиться у відповідність матриця зв'язку – матриця умовних ймовірностей. Матриця, яка зв'язує вузол  $D$  з вузлом  $M$  для кожної пари станів має наступний вигляд:

$$\mathbf{P}(D | M) = \begin{bmatrix} p(d_1 | c_1) & p(d_1 | c_2) \\ p(d_2 | c_1) & p(d_2 | c_2) \\ p(d_3 | c_1) & p(d_3 | c_2) \\ p(d_4 | c_1) & p(d_4 | c_2) \end{bmatrix}$$

Значення елементів матриць умовних ймовірностей можна знайти експериментально. Для цього необхідно мати результати великого числа дослідів з відомими значеннями всіх змінних. Їх можна отримати шляхом цифрової обробки реальних образів для вузлів-нащадків (іншими словами листових вузлів)  $S, D$  і  $F$  плюс експертний висновок щодо вузла  $M$ .

Отримані таким чином матриці зв'язку представляють собою об'єктивні ймовірності, які визначаються так:

$$p(d_3 | c_1) = (\text{Число разів появи в образі } d_3 \text{ і } c_1) / \\ (\text{Загальне число разів появи } c_1)$$

Очевидно, що навіть для даного простого прикладу кількість значень умовних ймовірностей буде значним. Тому для отримання прийнятних оцінок умовних ймовірностей необхідно мати великі масиви даних.

Мережу Байєса, що розглядається в даному прикладі, називають по різному: класифікатор Байєса, наївний класифікатор Байєса та проста мережа Байєса. Це проста і зручна форма мережі, яка знаходить застосування у багатьох практичних задачах. Для того щоб скористатись

цією мережею, необхідно задати значення змінних, представлених вузлами. Задавання значень вузлам (змінним) називають інстанціюванням. Формування висновку за допомогою мережі, представленої на рис. 8.2, можливе після того, як задані значення змінних  $S$ ,  $D$  і  $F$  за допомогою інформації (вимірів), що міститься в образі, та вироблених правил дискретизації змінних, як показано вище. Для отримання висновку необхідно перемножити значення всіх умовних ймовірностей для кожного стану  $M$ , які беруть з матриць зв'язку. Далі необхідно нормувати результат таким чином, щоб сума умовних ймовірностей дорівнювала 1. Таким чином отримаємо ймовірність появи шуканого образу з двох кіл в експериментальних даних.

Звичайно, що змінні, які входять до мережі, можуть бути взаємозалежними. Так, для прикладу з розпізнаванням зображення двох кіл, змінні  $S$  = “рознесення кіл” та  $D$  = “різниця в розмірі кіл” можуть бути в деякій мірі корельованими. Зокрема, можна виставити контраргументи проти того, що  $S$  і  $D$  – це дійсно ті змінні, які можна використати для встановлення факту наявності двох шуканих кіл в деякому образі. Тобто ідея розпізнавання може бути сформульована дещо по іншому.

Розглянемо ускладнену мережу, представлену на рис. 8.3. Ця структура представляє собою кращу модель процесу розпізнавання, оскільки вона містить нову семантичну одиницю (вузол) „кола”. Тобто такий елемент може бути виявлений в образі, але він не обов'язково зумовлений появою шуканого зображення. Тепер вузол „кола” можна розглядати як загальну причину введення вузлів  $S$  = „рознесення кіл” та  $D$  = „різниця в розмірі кіл”, що дає можливість не розглядати проблему їх можливої залежності.

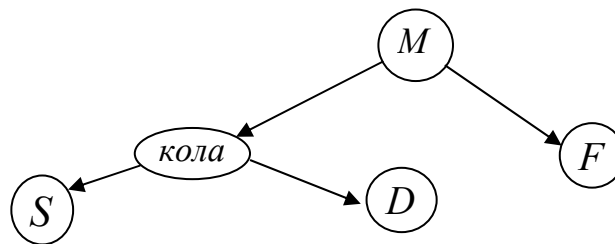


Рис. 8.3 Байєсове дерево прийняття рішень

На рис. 8.3 вузли  $M$  і  $Кола$  мають матрицю зв'язку  $\mathbf{P}(Кола | M)$ ; вузли  $M$  і  $F$  – матрицю  $\mathbf{P}(F | M)$ ; вузли  $Очі$  і  $S$  – матрицю  $\mathbf{P}(S | Кола)$ , а вузли  $Кола$  і  $D$  – матрицю  $\mathbf{P}(D | Кола)$ . Для нового вузла необхідно встановити число його станів. В самому простому випадку – це дихотомічна змінна із двома станами, але в даному випадку краще ввести

три таких стани:  $o_1 = \text{”ймовірно це не шукані кола”}$ ;  $o_2 = \text{”це можуть бути шукані кола”}$  та  $o_3 = \text{”ймовірно це шукані кола”}$ . Значення елементів матриці зв'язку можна знайти за експериментальними даними, але в даному випадку необхідно отримати експертну оцінку стосовно значення нетермінального вузла  $O$  та вузла  $M$ , за яким формується гіпотеза.

Продемонструємо роботу мережі, починаючи з вузла  $O$  („кола”). За теоремою Байєса маємо:

$$p(O | S, D) = \frac{p(O) p(S | O) p(D | O)}{p(S) p(D)}.$$

Однак, тут виникає проблема визначення ймовірності  $p(O)$  – апіорної ймовірності появи шуканих кіл у образі. У даному випадку  $O$  є проміжною змінною, що не вимірюється, але ймовірності її значень необхідно знати. Ми можемо обчислити правдоподібність значення  $O$  за умови, що  $S$  і  $D$  отримують деякі значення, тобто можна записати:

$$l(O | S, D) = \frac{p(S | O) p(D | O)}{p(S) p(D)},$$

або у простішій формі:

$$l(O) = \alpha p(S | O) p(D | O).$$

Як і раніше, значення  $p(S)$  і  $p(D)$  можна виключити з розгляду шляхом нормування суми значень  $l(O)$  до одиниці. Обчислена таким способом правдоподібність – це ймовірність, яка обчислена за припущенням, що апіорні ймовірності кожного стану змінної  $O$  є однаковими, тобто  $p(o_1) = p(o_2) = p(o_3) = 1/3$ . Тепер для кореневого вузла  $M$  можна записати:

$$p(M | O, F) = \frac{p(M) p(O | M) p(F | M)}{p(O) p(F)},$$

або простіше:

$$p(M | O, F) = \alpha p(M) p(O | M) p(F | M).$$

Якщо відоме значення (вимір)  $F$ , наприклад,  $F = f_5$ , то з матриці зв'язку можна визначити  $p(F | M)$ . Однак ми не маємо значення стану змінної  $O$ , а тільки оцінку правдоподібності для неї:  $l(O)$ , яка є елементом розподілу можливих станів змінної  $O$ . Для того щоб знайти

оцінку  $p(O|M)$ , необхідно знайти середнє цього розподілу; це можна зробити так:

$$\begin{aligned} p(o|m_1) &= p(o_1|m_1)l(o_1) + p(o_2|m_1)l(o_2) + p(o_3|m_1)l(o_3), \\ p(o|m_2) &= p(o_1|m_2)l(o_1) + p(o_2|m_2)l(o_2) + p(o_3|m_2)l(o_3). \end{aligned}$$

Тепер можна обчислити розподіл ймовірностей для  $M$  :

$$\begin{aligned} p'(m_1) &= p(m_1|O, f_5) = \alpha p(m_1) \{ p(o_1|m_1)l(o_1) + p(o_2|m_1)l(o_2) + \\ &\quad + p(o_3|m_1)l(o_3) \} p(f_5|m_1) , \\ p'(m_2) &= p(m_2|O, f_5) = \alpha p(m_2) \{ p(o_1|m_2)l(o_1) + p(o_2|m_2)l(o_2) + \\ &\quad + p(o_3|m_2)l(o_3) \} p(f_5|m_2) , \end{aligned}$$

де  $p'$  – середня апостеріорна ймовірність, тобто ймовірність прийняття змінною деякого значення за умови, що відома деяка інформація (в даному випадку це значення  $F, S$  і  $D$ ).

Хоча ми не маємо апріорної ймовірності для вузла  $O$ , її можна оцінити за допомогою апріорної (або апостеріорної) ймовірності для  $M$  та матриці зв'язку  $\mathbf{P}(O|M)$ . У векторній формі це рівняння має вигляд:  $\mathbf{p}(O) = \mathbf{P}(O|M)\mathbf{p}(M)$ .

На відміну від наведеної вище теореми Байєса (у скалярній формі), це векторне рівняння, тобто  $p(o_1) \neq p(o_1|m_2)p(m_2)$ . Припустимо, що  $\mathbf{p}(M) = \{0,4 \ 0,6\}$ ; це означає, що

$$\mathbf{p}(O) = \begin{bmatrix} p(o_1|m_1) & p(o_1|m_2) \\ p(o_2|m_1) & p(o_2|m_2) \\ p(o_3|m_1) & p(o_3|m_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,4 \\ 0,6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,4 p(o_1|m_1) + 0,6 p(o_1|m_2) \\ 0,4 p(o_2|m_1) + 0,6 p(o_2|m_2) \\ 0,4 p(o_3|m_1) + 0,6 p(o_3|m_2) \end{bmatrix}.$$

Оскільки суми елементів стовпчиків матриці зв'язку дорівнюють 1, то цей результат відноситься також до обчислених значень  $\mathbf{p}(O)$ .

Тепер можна обчислити розподіл ймовірностей для значень станів змінної  $O$ , за умови, що є виміри, скажемо,  $\{s_3, d_2\}$  :

$$\begin{aligned} p(o_1|s_3, d_2) &= \alpha p(o_1) p(s_3|o_1) p(d_2|o_1), \\ p(o_2|s_3, d_2) &= \alpha p(o_2) p(s_3|o_2) p(d_2|o_2), \\ p(o_3|s_3, d_2) &= \alpha p(o_3) p(s_3|o_3) p(d_2|o_3), \end{aligned}$$

а той факт, що  $p(o_1 | s_3, d_2) + p(o_2 | s_3, d_2) + p(o_3 | s_3, d_2) = 1$ , дозволяє виключити з розгляду  $\alpha$ . Очевидно, що наведена процедура обчислення ймовірностей та формування висновку є досить складною і громіздкою, а при збільшенні розмірів мережі вона стає недосяжною для сприймання. Тобто виникає необхідність розробки спеціальних методів та відповідних обчислювальних алгоритмів для виконання подібних розрахунків. Розглянемо таку задачу в наступному розділі.

## 8.2 Евристичний метод побудови мережі Байєса

Побудову БМ можна виконати простим перебором множини усіх можливих нециклічних графічних моделей та вибрати з них ту, що з максимальною адекватністю відповідає експериментальним (навчальним) даним. Ця задача є *NP*-складною, оскільки при повному переборі кількість

всіх моделей дорівнює  $3^{\frac{n \cdot (n-1)}{2} - k_{cycle}}$ , де  $n$  – число вершин;  $k_{cycle}$  – число моделей з циклами. Число усіх можливих нециклічних моделей можна порахувати за рекурсивною формулою Робінсона, запропонованою в 1976 році [62]:  $f(n) = \sum_{i=1}^n (-1)^{i+1} \cdot C_n^i \cdot 2^{i \cdot (n-i)} \cdot f(n-i)$ , де  $n$  – число вершин, а  $f(0) = 1$ .

Виконати повний перебір можливих структур моделей можна тільки для мереж, які містять не більше семи вузлів. Якщо кількість вузлів перевищує 7, то виконати простий перебір практично неможливо, оскільки при виконанні обчислень на звичайних персональних комп'ютерах не вистачає обчислювальних ресурсів. Тому для побудови мережі пропонується спрощений евристичний метод [42], який полягає у виконанні таких кроків: (1) обчислення так званої взаємної інформації між усіма вершинами за допомогою експериментальних даних; (2) виконання цілеспрямованого пошуку з використанням оціночної функції на основі принципу опису мінімальної довжини (ОМД); (3) повторення ітерацій до отримання структури мережі заданої якості.

Для оцінювання ступеня залежності двох довільних випадкових змінних  $x^i$  і  $x^j$  Чау і Ліу [5] запропонували використовувати значення взаємної інформації  $MI(x^i, x^j)$ , яка обчислюється за виразом:

$$MI(x^i, x^j) = \sum_{x^i, x^j} p(x^i, x^j) \cdot \log \left( \frac{p(x^i, x^j)}{p(x^i) \cdot P(x^j)} \right).$$

За своєю суттю взаємна інформація є деяким аналогом кореляції, але за змістом – це оцінка кількості інформації, що міститься в змінній  $x^i$  про змінну  $x^j$ . Взаємна інформація приймає невід’ємні значення,  $MI(x^i, x^j) \geq 0$ , а у випадку, якщо вершини  $x^i$  і  $x^j$  є повністю незалежними одна від одної, то  $MI(x^i, x^j) = 0$ , оскільки  $p(x^i, x^j) = p(x^i) \cdot P(x^j)$  і

$$\log\left(\frac{p(x^i, x^j)}{p(x^i) \cdot P(x^j)}\right) = \log\left(\frac{p(x^i) \cdot p(x^j)}{p(x^i) \cdot p(x^j)}\right) = \log(1) = 0.$$

У випадку, коли мережа Байєса складається з  $N$  вершин, для обчислення  $MI(x^i, x^j)$  для всіх можливих пар  $x^i$  і  $x^j$  необхідно виконати  $\frac{N \cdot (N - 1)}{2}$  обчислень, при цьому  $MI(x^i, x^j) = MI(x^j, x^i)$ .

### **Принцип формування опису БМ мінімальної довжини (ОМД)**

Згідно з теорією кодування Шеннона, за умови відомого розподілу  $P(X)$  випадкової величини  $X$  довжина оптимального коду для передачі конкретного значення  $x$  через канал зв’язку прямує до значення  $L(x) = -\log P(x)$ . Ентропія джерела  $S(P) = -\sum_x P(x) \cdot \log P(x)$  є

мінімальною очікуваною довжиною закодованого повідомлення. Будь-який інший код, який ґрунтується на неправильному представленні про джерело повідомлення, призведе до більшої очікуваної довжини повідомлення. Іншими словами, чим кращою є модель джерела, тим компактнішими можуть бути закодовані дані.

В задачі навчання мережі джерелами даних є деяка невідома істинна функція розподілу  $P(D|h_0)$ , де  $D = \{d_1, \dots, d_N\}$  – набір даних;  $h$  – гіпотеза щодо ймовірнісного походження даних;  $L(D|h) = -\log P(D|h)$  – емпіричний ризик, який є адитивним щодо числа спостережень і пропорціональним емпіричній похибці. Відмінність між  $P(D|h_0)$  і модельним розподілом  $P(D|h)$  за мірою Кульбака-Леблера визначається так:



$$\begin{aligned}
|P(D|h) - P(D|h_0)| &= \sum_D P(D|h_0) \cdot \log \frac{P(D|h_0)}{P(D|h)} = \\
&= \sum_D P(D|h_0) \cdot |L(D|h) - L(D|h_0)| \geq 0
\end{aligned}$$

тобто це різниця між очікуваною довжиною коду даних, отриманою за допомогою гіпотези та мінімально можливою довжиною. Ця різниця є завжди невід'ємною і дорівнює нулю лише у випадку повного співпадання двох розподілів. Іншими словами, гіпотеза буде тим кращою, чим коротшою є середня довжина коду даних [5]. Принцип ОМД у своєму нестрогому і найбільш загальному формулюванні проголошує: *з множини можливих моделей-кандидатів необхідно вибрати ту, яка дозволяє описати дані найбільш коротко і без втрат інформації* [5, 42].

У загальному вигляді задача формування ОМД формулюється так: спочатку задається множина навчальних даних  $D = \{d_1, \dots, d_n\}$ ,  $d_i = \{x_i^{(1)} x_i^{(2)} \dots x_i^{(N)}\}$  (нижній індекс – номер спостереження, а верхній – номер змінної),  $n$  – число спостережень; кожне спостереження складається з  $N$  ( $N \geq 2$ ) змінних  $X^{(1)}, X^{(2)}, \dots, X^{(N)}$ . Кожна  $j$ -я змінна ( $j = 1, \dots, N$ ) має  $A^{(j)} = \{0, 1, \dots, \alpha^{(j)} - 1\}$  ( $\alpha^{(j)} \geq 2$ ) станів, а кожна структура  $g \in G$  БМ представляється  $N$  множинами предків ( $\Pi^{(1)}, \dots, \Pi^{(N)}$ ), тобто для кожної вершини  $j = 1, \dots, N$ ,  $\Pi^{(j)}$  – це множина батьківських вершин, така, що  $\Pi^{(j)} \subseteq \{X^{(1)}, \dots, X^{(N)}\} \setminus \{X^{(j)}\}$  (вершина не може бути предком самої себе, тобто петлі у графі відсутні). Таким чином, ОМД структури  $g \in G$  при заданій послідовності з  $n$  спостережень  $x^n = d_1 d_2 \dots d_n$  обчислюється за виразом:  $L(g, x^n) = H(g, x^n) + \frac{k(g)}{2} \cdot \log(n)$ , де  $k(g)$  – кількість незалежних умовних ймовірностей у мережевій структурі  $g$ , а  $H(g, x^n)$  – емпірична ентропія:

$$H(g, x^n) = \sum_{j \in J} H(j, g, x^n), \quad k(g) = \sum_{j \in J} k(j, g),$$

де ОМД  $j$ -ї вершини обчислюється за виразом:  $L(j, g, x^n) = H(j, g, x^n) + \frac{k(j, g)}{2} \cdot \log(n)$ ;  $k(j, g)$  – кількість незалежних

умовних ймовірностей  $j$ -ї вершини:  $k(j, g) = (\alpha^{(j)} - 1) \cdot \prod_{k \in \phi(j)} \alpha^k$ , де

$\phi(j) \subseteq \{1, \dots, j-1, j+1, \dots, N\}$  – така множина, що  $\Pi^{(j)} = \{X^{(k)} : k \in \phi(j)\}$ .

Емпірична ентропія  $j$ -ї вершини обчислюється за виразом:

$$H(j, g, x^n) = \sum_{s \in \mathcal{S}(j, g)} \sum_{q \in A^{(j)}} -n[q, s, j, g] \cdot \log \frac{n[q, s, j, g]}{n[s, j, g]},$$

$$n(s, j, g) = \sum_{i=1}^n I(\pi_i^{(j)} = s); \quad n[q, s, j, g] = \sum_{i=1}^n I(x_i = q, \pi_i^{(j)} = s),$$

де  $\pi^{(j)} = \Pi^{(j)}$  означає  $X^{(k)} = x^{(k)}, \forall k \in \phi(j)$ ; функція  $I(E) = 1$  коли предикат  $E = true$ , в протилежному випадку  $I(E) = 0$ .

Простий алгоритм навчання БМ з використанням ОМД будується так: циклічно виконується перебір всіх можливих нециклічних мережевих структур. В  $g^*$  зберігається оптимальна мережева структура. Оптимальною структурою буде та, для якої функція  $L(g, x^n)$  приймає найменше значення.

### Простий алгоритм навчання БМ з використанням ОМД

1.  $g^* \leftarrow g_0 (\in G)$ ;
2. для  $\forall g \in G - \{g_0\}$ : якщо  $L(g, x^n) < L(g^*, x^n)$  то  
 $g^* \leftarrow g$ ;
3. за розв'язок приймається  $g^*$ .

**Приклад використання методу ОМД.** Нехай є 10 спостережень для навчання БМ (табл. 8.2).

Таблиця 8.2

### Десять спостережень для навчання БМ

$n$	$X^{(1)}$	$X^{(2)}$	$X^{(3)}$
1	0	1	1
2	1	0	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	0	1	1

$n$	$X^{(1)}$	$X^{(2)}$	$X^{(3)}$
6	0	1	1
7	1	0	1
8	1	0	0
9	0	1	1
10	1	1	1

У випадку повного перебору всіх можливих структур необхідно розглянути 25 структур. Після того, як будуть розглянуті всі 25 структур, за оптимальну буде вибрана структура, зображена на рис. 8.4.

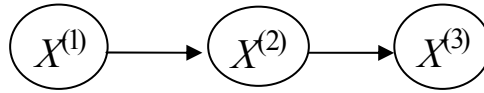


Рис. 8.4 Оптимальна структура, що відповідає табл. 8.3

Довжина опису цієї структури обчислюється таким чином. Вершина  $X^{(1)}$  не має предків, тобто  $\Pi^{(1)} = \{\}$ . Емпірична ентропія обчислюється за виразом:

$$H(j=1, g) = -5 \cdot \log\left(\frac{5}{10}\right) - 5 \cdot \log\left(\frac{5}{10}\right) = 6,9315,$$

а кількість незалежних умовних ймовірностей дорівнює  $k(j=1, g) = 2 - 1 = 1$ . Таким чином, довжина опису вершини  $X^{(1)}$  дорівнює  $L(1, g) = 6,9315 + \frac{1}{2} \cdot \log(10) = 8,0828$ . При обчисленні можна використовувати логарифм  $s$  будь-якою основою; в даному прикладі використано основу  $e = 2,7183$ , тобто натуральний логарифм.

Вершина  $X^{(2)}$  має одного предка  $X^{(1)}$ , тобто  $\Pi^{(2)} = \{X^{(1)}\}$ . Емпірична ентропія:

$$H(j=2, g) = \left(-0 \cdot \log\left(\frac{0}{5}\right) - 5 \cdot \log\left(\frac{5}{5}\right)\right) + \left(-4 \cdot \log\left(\frac{4}{5}\right) - 1 \cdot \log\left(\frac{1}{5}\right)\right) = 2,502,$$

а кількість незалежних умовних ймовірностей:  $k(j=2, g) = (2 - 1) \cdot 2 = 2$ . Довжина опису вершини  $X^{(2)}$  дорівнює:

$$L(2, g) = 2,502 + \frac{2}{2} \cdot \log(10) = 4,8046 \text{ (табл. 8.3 – 8.5).}$$

Таблиця 8.3

Таблиця значень параметрів вершини  $X^{(1)}$ 

$X^{(1)}$	$n[q,s,j,g]$	$n[s,j,g]$
0	5	10
1	5	

Таблиця 8.4

Таблиця значень параметрів вершини  $X^{(2)}$ 

$X^{(1)}$	$X^{(2)}$	$n[q,s,j,g]$	$n[s,j,g]$
0	0	0	5
0	1	5	
1	0	4	5
1	1	1	

Таблиця 8.5

Таблиця значень параметрів вершини  $X^{(3)}$ 

$X^{(2)}$	$X^{(3)}$	$n[q,s,j,g]$	$n[s,j,g]$
0	0	3	4
0	1	1	
1	0	0	6
1	1	6	

Вершина  $X^{(3)}$  має одного предка  $X^{(2)}$ , тобто  $\Pi^{(3)} = \{X^{(2)}\}$ ; емпірична ентропія:

$$H(j=3, g) = \left( -3 \cdot \log\left(\frac{3}{4}\right) - 1 \cdot \log\left(\frac{1}{4}\right) \right) + \left( -0 \cdot \log\left(\frac{0}{6}\right) - 6 \cdot \log\left(\frac{6}{6}\right) \right) = 2.2493,$$

а кількість незалежних умовних ймовірностей:  $k(j=3, g) = (2-1) \cdot 2 = 2$ .

Довжина опису вершини  $X^{(3)}$  дорівнює:

$$L(3, g) = 2.2493 + \frac{2}{2} \cdot \log(10) = 4.5519.$$

Тобто довжина опису структури  $g$ , представленої на рис. 5.4, складає:

$$H(g, x^n) = \sum_{j=1}^3 H(j, g, x^n) = 17,4393.$$

### Евристичний алгоритм побудови мережі Байєса

#### Вхідні дані

Навчальна вибірка  $D = \{d_1, \dots, d_n\}$ ,  $d_i = \{x_i^{(1)} x_i^{(2)} \dots x_i^{(N)}\}$  (нижній індекс – номер спостереження, а верхній – номер змінної),  $n$  – число спостережень;  $N$  – число вершин (змінних).

#### Перший етап

Для всіх пар вершин обчислюють значення взаємної інформації  $Set\_MI = \{MI(x^i, x^j); \forall i, j\}$ . Після цього елементи множини  $Set\_MI$  упорядковують за спаданням:

$$Set\_MI = \{MI(x^{m_1}, x^{m_2}), MI(x^{m_3}, x^{m_4}), MI(x^{m_5}, x^{m_6}), \dots\}.$$

#### Другий етап

**Крок 1.** З множини значень взаємної інформації  $Set\_MI$  вибирають перші два максимальних значення  $MI(x^{m_1}, x^{m_2})$  і  $MI(x^{m_3}, x^{m_4})$ . За отриманим значенням  $MI(x^{m_1}, x^{m_2})$  і  $MI(x^{m_3}, x^{m_4})$  будується множина моделей  $G$  вигляду:

$\{ (m_1 \rightarrow m_2; m_3 \rightarrow m_4), (m_1 \rightarrow m_2; m_3 \leftarrow m_4), (m_1 \leftarrow m_2; m_3 \leftarrow m_4), (m_1 \leftarrow m_2; m_3 \rightarrow m_4), (m_1 \leftarrow m_2; m_3 \text{ не залежить від } m_4), (m_1 \rightarrow m_2; m_3 \text{ не залежить від } m_4), (m_1 \text{ не залежить від } m_2; m_3 \rightarrow m_4), (m_1 \text{ не залежить від } m_2; m_3 \leftarrow m_4), (m_1 \text{ не залежить від } m_2; m_3 \text{ не залежить від } m_4) \}$ .

Запис вигляду  $m_i \rightarrow m_j$  означає, що вершина  $x^{m_i}$  є предком вершини  $x^{m_j}$ .

**Крок 2.** Виконується пошук серед множини моделей  $G$ . У параметрі  $g^*$  зберігається оптимальна мережева структура. Оптимальною структурою буде та, у якій найменше значення функції;  $L(g, x^n)$  – ОМД

структури моделі при заданій послідовності з  $n$  спостережень  $x^n = d_1 d_2 \dots d_n$ .

1.  $g^* \leftarrow g_0 (\in G)$ ;
2. для  $\forall g \in G - \{g_0\}$ : якщо  $L(g, x^n) < L(g^*, x^n)$  то  $g^* \leftarrow g$ ;
3. на виході  $g^*$  – шукане рішення.

**Крок 3.** Після того як знайдено оптимальну структуру (структури)  $g^*$  з  $G$ , з множини значень взаємної інформації  $Set\_MI$  вибирають максимальне значення:  $MI(x^{i\_next}, x^{j\_next})$ . За отриманим значенням  $MI(x^{i\_next}, x^{j\_next})$  і структурою (структурами)  $g^*$  будується множина моделей  $G$  вигляду:  $\{(g^*; i\_next \rightarrow j\_next), (g^*; i\_next \leftarrow j\_next), (g^*; i\_next \text{ не залежить від } j\_next)\}$ . Перейти на **крок 2**.

**Умова закінчення процедури пошуку.** Евристичний пошук продовжується до тих пір, поки не буде виконано аналіз визначеної кількості елементів множини або ж всіх  $\frac{N \cdot (N - 1)}{2}$  елементів множини  $Set\_MI$ . Як показує практика, у більшості випадків немає смислу виконувати аналіз більше половини (тобто  $\frac{N \cdot (N - 1)}{4}$ ) елементів множини  $Set\_MI$ .

**Вихід:** оптимальна структура (структури)  $g^*$ .

### Методи оцінки якості навчання БМ

Для оцінювання якості навчання БМ можна використати кількість зайвих, відсутніх та реверсованих дуг у навченій мережі у порівнянні з оригінальною БМ. За міру похибки навчання можна використати структурну різницю або перехресну ентропію (*cross entropy*) між навченою БМ та оригінальною мережею. Для обчислення *структурної різниці* застосовують формулу симетричної різниці структур [5]:

$$\begin{aligned} \delta &= \sum_{i=1}^n \delta_i = \sum_{i=1}^n \text{card}(\Pi^{(i)}(B) \Delta \Pi^{(i)}(A)) = \\ &= \sum_{i=1}^n \text{card}(\left( (\Pi^{(i)}(B) \setminus \Pi^{(i)}(A)) \cup (\Pi^{(i)}(A) \setminus \Pi^{(i)}(B)) \right)) \end{aligned}$$

де  $B$  – навчена БМ;  $A$  – оригінальна БМ;  $n$  – кількість вершин мережі;  $\Pi^{(i)}(B)$  – множина предків  $i$ -ї вершини навченої мережі  $B$ ;  $\Pi^{(i)}(A)$  – множина предків  $i$ -ї вершини оригінальної мережі  $A$ ;  $card(\xi)$  – потужність скінченої множини  $\xi$ , яка визначається кількістю елементів, що належать множині  $\xi$ .

*Перехресна ентропія* – це відстань між розподілами навченої БМ та оригінальної БМ. Якщо  $p(v)$  – спільний розподіл оригінальної БМ, а  $q(v)$  – спільний розподіл навченої БМ, то перехресна ентропія обчислюється так [5]:

$$\begin{aligned} H(p, q) &= \sum_v p(v) \cdot \log \frac{p(v)}{q(v)} = \\ &= \sum_{j \in J} \sum_{s \in S(j, g)} \sum_{a \in A^{(j)}} p(X^{(j)} = a | \Pi^{(j)} = s) \cdot \log \frac{p(X^{(j)} = a | \Pi^{(j)} = s)}{q(X^{(j)} = a | \Pi^{(j)} = s)}. \end{aligned}$$

### 8.3 Практичне застосування мереж Байєса

**Приклад 8.2.** Прогнозування Нью-Йоркського біржового композитного індексу.

За даними, представленими на сайті Нью-Йоркської фондової біржі <http://www.nyse.com> сформована навчальна вибірка. На рис. 8.5 представлена БМ (вона описує композитний індекс), яка побудована за навчальною вибіркою з 500 значень. Варто відзначити, що при первісному аналізі розглядалось більша кількість індексів, але в моделі представлені найбільш значущі індекси для множини навчальних даних, за якими будувалася БМ. На рис. 8.6 представлена загальна структурна схема динамічного прогнозування композитного індексу БМ. При побудові БМ використано евристичний метод побудови, алгоритм якого докладно наведено вище. Для формування ймовірнісного висновку застосовувався алгоритм формування ймовірнісного висновку у БМ на основі навчальних даних, який розглянуто в роботі [5]. Наведемо деякі терміни, що мають відношення до задачі.

*Композитний індекс* – відображає зміни курсів всіх акцій, розміщених на Нью-Йоркській фондовій біржі, що включають у себе більше 1500 найбільших американських компаній.

*Фінансовий індекс* – відображає зміни курсів акцій непривілейованих акції фінансового сектора США та сільськогосподарських підприємств.

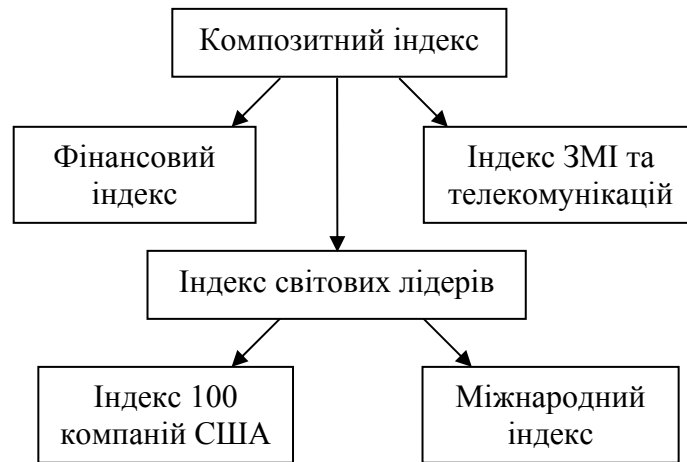


Рис. 8.5 БМ для опису композитного індекса Нью-Йоркської фондової біржі

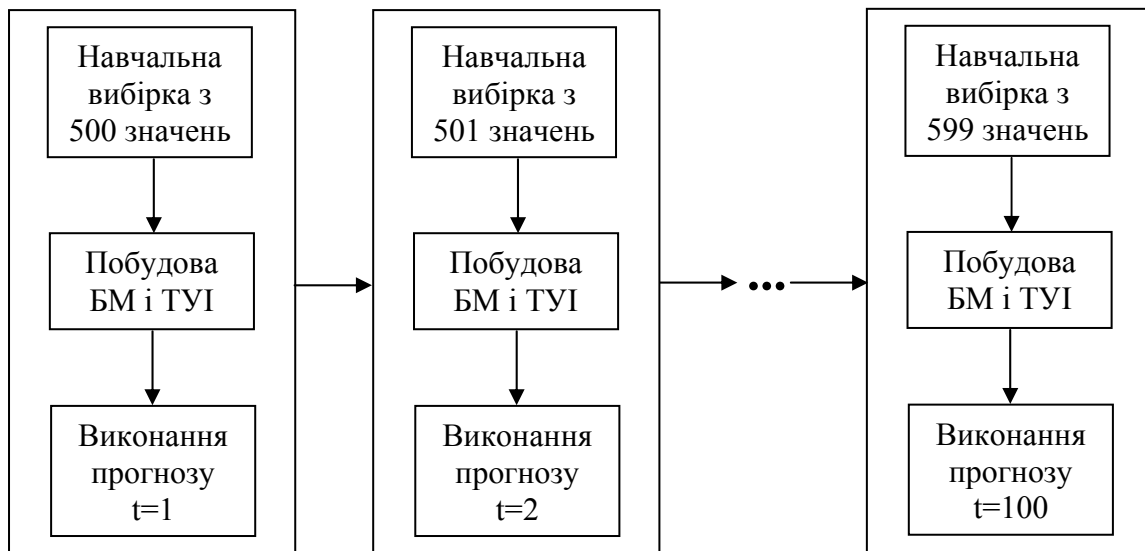


Рис. 8.6 Структурна схема послідовності прогнозування композитного індексу мережею Байеса

*Індекс ЗМІ та телекомунікацій* – відображає зміни 100 компаній лідерів із сектора ЗМІ та телекомунікацій.

*Індекс світових лідерів* – відображає зміни курсу непривілейованих акцій 200 найбільших компаній світу (включаючи 100 найбільших компаній США).

*Індекс 100 компаній США* – відбиває зміни курсів непривілейованих акцій 100 найбільших компаній США із загальною капіталізацією 6,7 трильйонів доларів.



*Міжнародний індекс* – відбиває зміни курсів непривілейованих акцій 100 найбільших компаній світу не із США із загальною капіталізацією 5,1 трильйона доларів.

При виконанні обчислювального експерименту виконано 100 ітерацій алгоритму прогнозування композитного індексу. В 96% випадків було точно спрогнозовано зростання або спадання значення композитного індексу; у 52% випадків прогнозне та реальне значення відхилення композитного індексу від значення в попередній момент часу повністю збіглися. На рис. 8.7 показана діаграма зміни прогнозного та реального відхилень композитного індексу на перших 50 часових інтервалах.

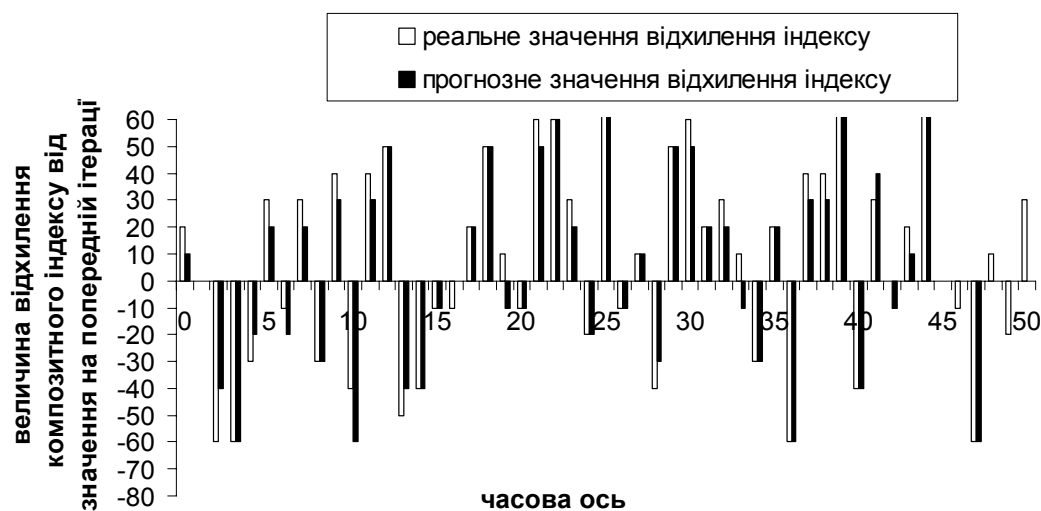


Рис. 8.7 Діаграма зміни прогнозованого та реального відхилень композитного індексу на 50 часових інтервалах

### Приклад 8.3. Застосування БМ для постановки діагнозу.

На рис. 8.8 наведена медична БМ, яка показує зв'язок між захворюваннями пацієнта, хірургічним втручанням і станом здоров'я. Ця БМ побудована на основі відомої комп'ютерної бази даних [http://www.umdnj.edu/idsweb/idst6122/data/patlos\\_sample.sav](http://www.umdnj.edu/idsweb/idst6122/data/patlos_sample.sav), яка складається з інформації про 1481 пацієнта із серцево-судинними захворюваннями. При побудові структури БМ, представленої на рис. 8.8, виконано аналіз 686 структур на 90 ітераціях евристичним методом [5] за 1 хвилину 11 секунд.

Застосовуючи імовірнісний висновок [5], змодельовано декілька ситуацій. Результати моделювання представлені у вигляді табл. 8.6. Так, у випадку коли пацієнт веде здоровий активний образ життя і при цьому

ніколи не був хворим ангіною та діабетом, вірогідність того, що у нього відбудеться інфаркт міокарда дорівнює 5,28%, інакше – 97,89%.

Таблиця 8.6

**Результати моделювання за БМ,  
зображеною на рис. 8.8**

<b>Номер ситуації</b>	<b>Інстанційовані вершини</b>	<b>Ймовірність настання інфаркту міокарда</b>
1	Незгортання крові через ліки = “ Аспірин ”	73,80%
2	Незгортання крові через ліки = “ Гепарин ”	76,69%
3	Незгортання крові через ліки = “ Варфарин ”	66,63%
4	Незгортання крові через ліки = “ Ні ”	32,33%
5	Ангіна = “ Так ”	73,13%
6	Хірургічне втручання = “ Підшкірна операція коронаротромбоза на судинах ”	56,56%
7	Хірургічне втручання = “ Імплантація обхідної коронарної артерії ”	75,41%
8	Спосіб життя = “ Активний ”	55,89%
9	Спосіб життя = “ В’ялий ”	69,59%
10	Надлишкова вага = “ Ні ”	60,18%
11	Надлишкова вага = “ Так ”	74,32%
12	Діабет = “ Ні ”	62,04%
13	Діабет = “ Так ”	86,32%
14	Паління = “ Ні ”	58,23%
15	Паління = “ Так ”	77,12%
16	Незгортання крові через ліки = “ Ні ” та Ангіна = “ Ні ” та Спосіб життя = “Активний” та Надлишкова вага = “Ні” та Діабет = “ Ні ” та Паління = “ Ні ”	5,28%
17	Незгортання крові через ліки = “ Гепарин ” та Ангіна = “Так” та Спосіб життя = “В’ялий” та Надлишкова вага = “Так” та Діабет = “ Так ” та Паління = “ Так ”	97,89%

Таким чином, моделювання процесів різної природи за допомогою БМ – перспективний сучасний напрям в галузі інтелектуального аналізу даних. Основні напрями застосування: – розпізнавання образів; автоматична діагностика у медицині, технічних системах і технологічних процесах; прогнозування динаміки розвитку процесів. Головна ідея побудови БМ – коректне створення спрямованого ациклічного графа, що відображає причинно-наслідкові зв’язки процесу. Проста мережа Байєса може бути побудована на основі експертних оцінок стосовно існування

причинних зв'язків між змінними процесу та оцінок апріорних ймовірностей.

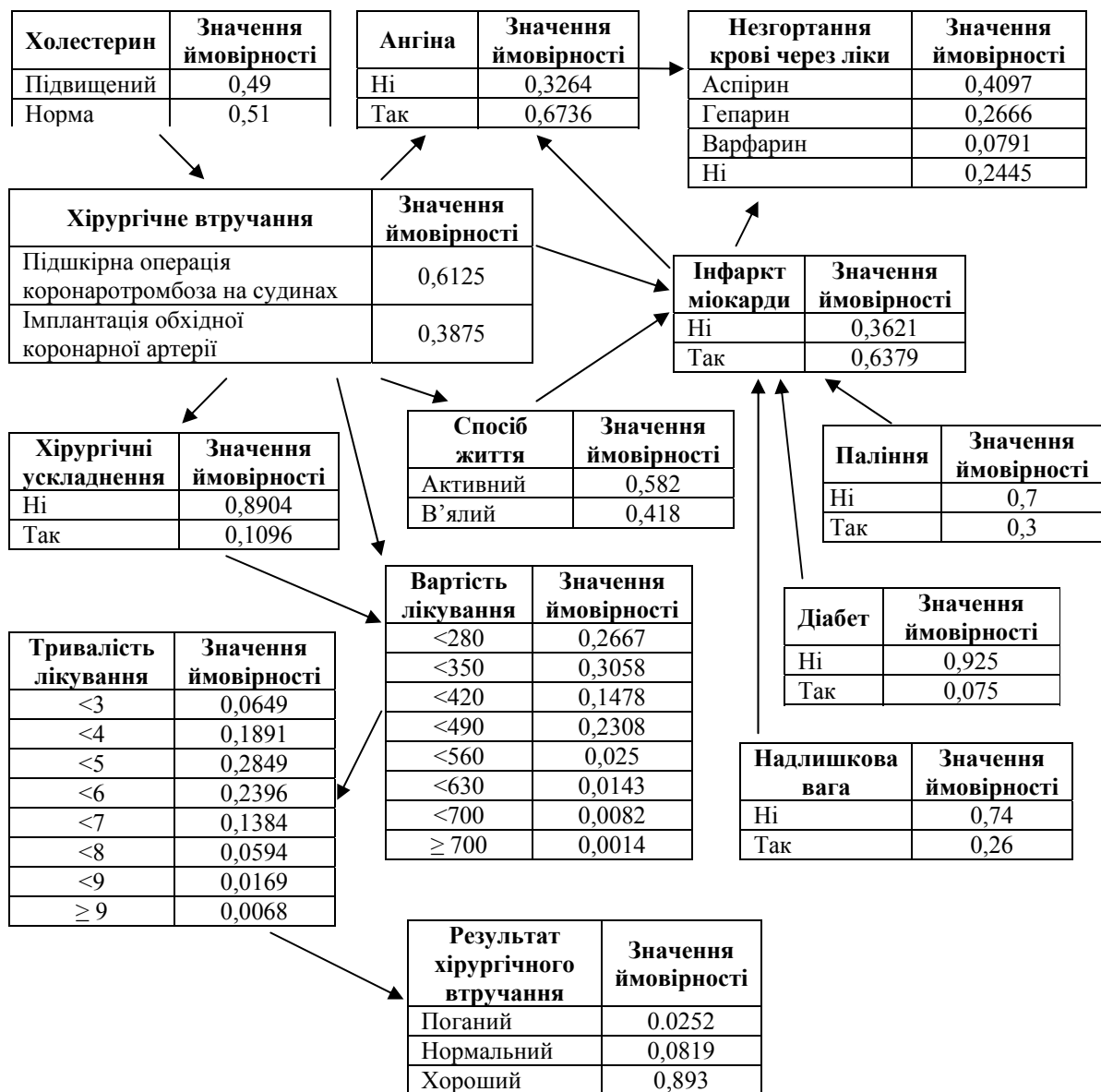


Рис. 8.8 Приклад застосування БМ у медицині

Однак у складних випадках структура мережі ґрунтується на використанні значних об'ємів експериментальних даних, на основі яких формуються зв'язки між змінними і таблиці умовних ймовірностей. За допомогою чисельних експериментів встановлено, що швидкість побудови оптимальної БМ за евристичним методом залежить, головним чином, від кількості вершин у мережі.

Якщо число вершин (вузлів) мережі перевищує 7, то виконати простий перебір варіантів структури практично неможливо. Тому запропоновано метод побудови структури на основі евристичного підходу, який ґрунтується на обчисленні взаємної інформації. Наведений вище ітераційний алгоритм евристичного методу побудови БМ дозволяє значно зменшити обчислювальну складність побудови БМ. Показано, що у більшості випадків навчання мережі немає необхідності виконувати аналіз більше половини елементів множини даних. За міру якості побудованої мережі використано структурну різницю, яка представляє собою ціле число – це кумулятивна величина, яка враховує відсутні, зайві та реверсовані дуги спрямованого ациклічного графа. Наведені приклади застосування методу побудови мережі свідчать про його високу ефективність в смислі оптимізації структури.

#### **8.4 Інформаційні СППР на основі мереж Байєса**

Для прийняття обґрунтованих об'єктивних рішень на всіх рівнях управління виробничими, фінансово-економічними та іншими процесами довільної природи необхідно впроваджувати комп'ютерні інформаційні системи у всі ланки ділових стосунків між суб'єктами господарювання. Сучасна економічна та соціально-політична обстановка характеризується швидкими змінами ринкової та регуляторної інформації, яка стосується асортименту і якості продукції, балансу попиту і пропозиції, кон'юнктури ринку, рівня оподаткування і т. ін. Однак, рівень автоматизації обробки даних практично на всіх рівнях реалізації виробничих процесів характеризується, на сьогодні, досить низькими показниками. Відсутність інформаційних систем широкого профілю призводить до неможливості застосування сучасних інтелектуальних методів і систем до аналізу та моделювання ситуацій, прогнозування подальшого розвитку процесів та формування оптимальних або раціональних управлінських рішень.

Умовою успішного застосування сучасних технологій обробки даних і прийняття рішень є чітке усвідомлення задач, які має розв'язати підприємство в процесі розробки та впровадження інформаційно-аналітичних систем (ІАС) або систем підтримки прийняття рішень. В роботі [43] розглянуто основи побудови ІАС для накопичення та обробки економетричних даних та створення на їх основі СППР. Однак, в цій роботі наведено тільки відомі класичні методи статистичної обробки даних. В роботі [35] розглянуто основні принципи побудови СППР з акцентуванням на відповідних інформаційних технологіях.

Типова схема процесу автоматизації обробки даних і підтримки прийняття рішень на підприємстві виглядає на перший погляд тривіально і включає такі етапи: (1) автоматизація окремої сфери діяльності

підприємства; (2) автоматизація суміжних сфер; (3) повна автоматизація бізнес-системи [35]. Ключовим моментом цього процесу є зростаюча складність та ієрархічність переходу від попереднього до наступного етапу. Саме внаслідок несумісності розроблених систем в одній сфері з аналогічними розробками у суміжних галузях найчастіше призводить до зупинки діяльності на першому етапі. Наприклад, на розробці і впровадженні системи автоматизації бухгалтерської діяльності. Автоматизація всієї галузі (галузей) в цілому ставить додаткові задачі, наприклад, розв'язання проблеми забезпечення надійності та конфіденційності інформації при розподілі ролей між ланками підприємства та розширення ролі типової облікової інформаційної системи до рівня потужної системи підтримки прийняття рішень. Виходом з цієї ситуації є створення єдиної інформаційної системи підприємства, яка має можливість інтегрування в галузеву систему. Це означає, що має існувати єдина база даних (БД) з уніфікованими форматами представлення даних, мають бути спроектовані і створені сучасні адаптивні інтерфейси для роботи з БД та системою в цілому, а також має бути створена СППР, яка використовує інформацію з цієї бази даних [12, 23]. При такому підході створюються сприятливі умови для отримання інформації в стандартизованому представленні, що дає можливість обробляти її сучасними аналітичними методами. Таким чином можна створити реальні передумови для впровадження в діяльність підприємства формалізованих СППР на основі сучасних методів побудови математичних моделей і прийняття рішення. Надалі ті ж дані і алгоритмічні процедури можуть стати основою для бази знань потужнішої інтелектуальної системи – експертної системи для широкого кола задач на галузевому рівні. Таким чином, повноцінна комп'ютеризація діяльності суб'єкта бізнесу спирається на ядро ІАС у вигляді бази даних, інтерфейсної частини для організації інтерактивної взаємодії користувач-комп'ютер, належної множини процедур для обробки даних і системи представлення результатів у зручній для сприйняття формі.

Ставиться задача побудови комп'ютерної інформаційної системи для оцінювання і прогнозування стану підприємства на основі сучасних ймовірнісних методів моделювання процесів та формування статистичного висновку (прийняття рішень). Для розв'язання задачі необхідно синтезувати модель у вигляді мережі Байєса на множині зв'язаних подій  $X_i, i=1, \dots, n$  з відомими апіорними ймовірностями, тобто створити методику побудови ациклічного графа  $G$ , що характеризується множиною ймовірнісних параметрів  $B$ ; дослідити характеристики отриманої мережі з метою її подальшого застосування до аналізу та оцінювання стану бізнес-процесів на виробництві. При цьому вважаємо,

що на події  $X_i, i=1, \dots, n$  можуть впливати невизначеності різного характеру і природи; також існують дані, що описують події, зв'язані з виробничою діяльністю підприємства.

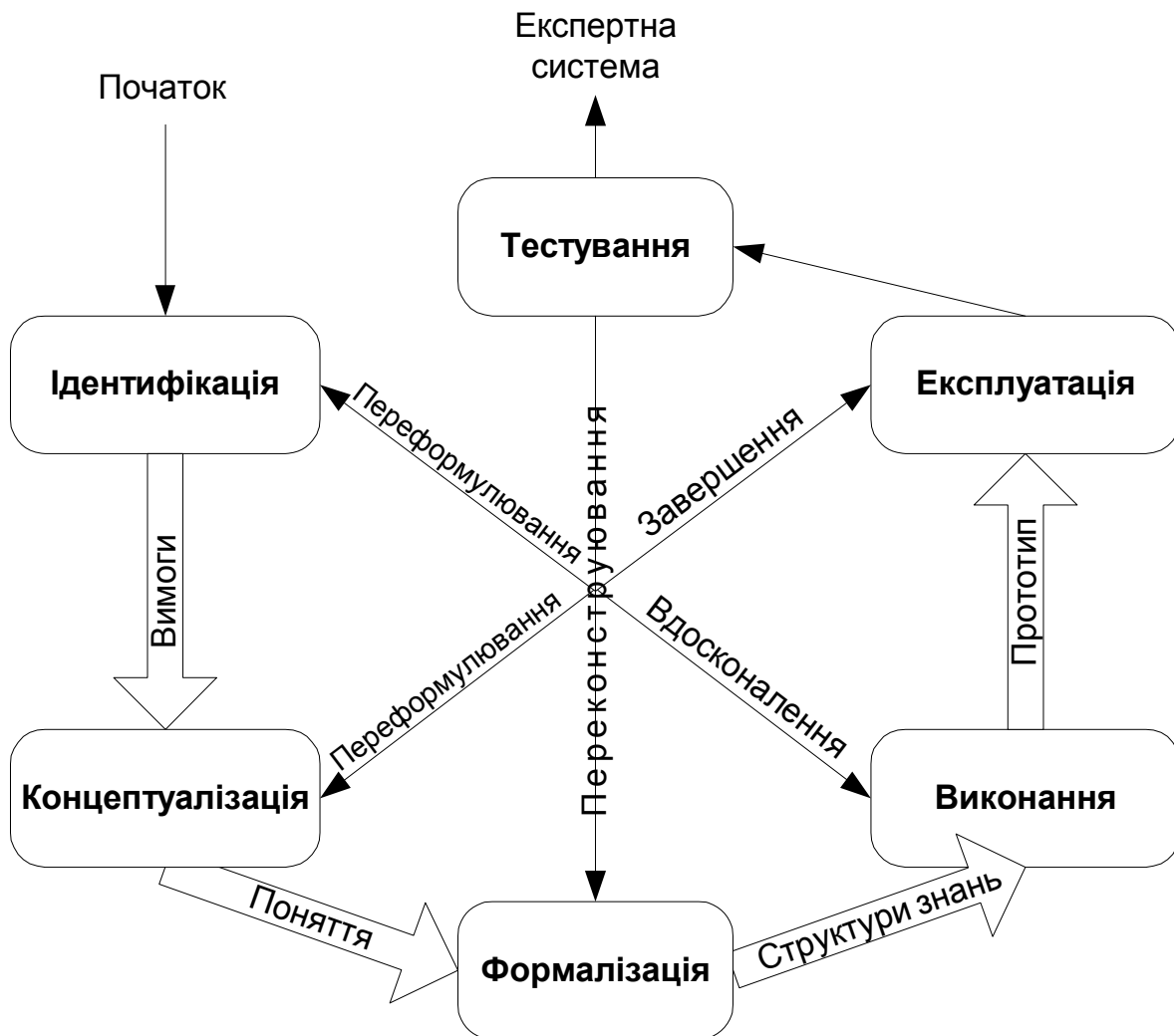


Рис. 8.9 Технологія розробки ЕС

**Розробка інформаційної СППР на основі мережі Байєса.** Актуальним напрямом розвитку СППР є інтелектуалізація процесів обробки даних. Інтелектуалізація СППР означає надання користувачеві принципової можливості отримувати нову інформацію на основі поглибленого інтелектуального аналізу даних за множиною взаємодоповнюючих методів і використовувати цю інформацію разом з накопиченими професіоналами досвідом і знаннями. Крім того, інтелектуалізація означає активне застосування методів обробки даних, що ґрунтуються на нейронних і байєсівських мережах, деревах рішень, методах нечіткої логіки, м'яких обчисленнях і т. ін. Під інформаційною

СППР будемо розуміти комп'ютерну інформаційну систему, яка надає будь-яку допомогу ОПР при прийнятті рішень виробничого або ділового характеру. Тобто це допомога у аналізі (в тому числі візуальному) даних, у пошуку кращих моделей процесів, в обчисленні альтернативних рішень і т. ін.

Різновидністю СППР є експертні системи (ЕС) [18], які поєднують у собі можливості комплексного використання експертних оцінок та результатів аналітичної обробки даних. Існують певні технології розробки ЕС, що складаються з таких шести етапів (рис. 8.9): ідентифікація, концептуалізація, формалізація, реалізація, тестування і дослідно-експериментальна експлуатація.

На етапі ідентифікації визначаються задачі, які підлягають розв'язанню, виявляються проміжні цілі розробки, визначаються експерти за напрямом і типи користувачів.

Етап концептуалізації призначений для змістовного аналізу проблемної області, виявлення наявної інформації та визначення множини альтернативних методів розв'язання поставлених задач.

На етапі формалізації обирається інструментарій і визначаються способи зберігання та представлення всіх типів знань, формалізуються основні поняття, визначаються способи інтерпретації знань, моделюється робота системи, оцінюється адекватність понять, методів розв'язання, засобів подання і маніпулювання знаннями.

На етапі виконання здійснюється наповнення експертом бази знань. Розповсюджені такі підходи до розробки ЕС: системи на основі правил, системи з використанням нейронних мереж та нечіткої логіки (або нейронечіткі системи), експертні системи на основі мереж довіри Байєса (МБ) та інші.

**Системи на основі МБ.** Мережі довіри Байєса, або просто байєсівські мережі, складаються з множини вузлів і сукупності спрямованих ребер, що з'єднують ці вузли між собою [5, 51]. Ребра визначають причинно-наслідкові зв'язки у предметній області, що більшою частиною не завжди визначені однозначно. Вірогідність твердження (або події) представляється за допомогою ймовірностей. Концепція байєсових мереж полягає у оновленні ймовірностей подій (станів процесу або системи) при надходженні додаткової інформації. Математичним підґрунтям цього процесу обробки даних є теорема Байєса. На відміну від систем, заснованих на правилах, метод оновлення ймовірностей у байєсових мережах є фундаментальним і, якщо модель та інформація коректні, то нові ймовірності будуть обчислені також коректно (стосовно аксіом класичної теорії ймовірностей) [51].

Інформацію може отримувати кожний вузол (змінна) мережі, оскільки оновлення ймовірностей інваріантне стосовно напряму розповсюдження інформації ребрами мережі. Таким чином, БМ значно розширює можливості аналізу даних та прийняття рішень, оскільки дозволяє робити прямий і зворотний логічний висновок. Крім того, одночасне введення інформації про стани декількох вузлів не змінює алгоритму обробки даних мережі, що дає можливість виключити ситуації логічної суперечності, які часто мають місце при застосуванні інших методів. Побудова МБ вимагає докладних знань стосовно причинно-наслідкових зв'язків між подіями предметної області. Якщо система має надавати можливість використання завчасно отриманих експертних знань, а тим більше таких, що мають інтуїтивну складову, то моделювання краще виконувати за допомогою МБ. Крім того, МБ може навчатись, тобто адаптивно корегувати ймовірності подій при отриманні нової інформації стосовно станів її вузлів. БМ в експертних системах мають такі значні переваги, як можливість чисельного трактування алгоритмів формування логічного висновку, гнучкість процесу розповсюдження інформації і врахування рівня суб'єктивізму експертів. Із сказаного випливає, що експертну систему для аналізу стану виробничого процесу доцільно будувати саме на основі мереж Байєса, які представляють собою потужний інструмент для моделювання процесів довільної природи та прийняття рішень.

МБ використовують для моделювання предметних областей, які характеризуються невизначеністю. Невизначеність може бути спричинена недостатнім розумінням предметної області, неповним знанням її стану у момент прийняття рішення (неповні дані), випадковим характером механізмів, що визначають поведінку цієї області, негативним впливом випадкових збурень або ж комбінацією вказаних факторів.

**Логічний висновок в БМ.** Логічний висновок в БМ означає обчислення умовних ймовірностей станів вибраних змінних на основі інформації про інші змінні. Ключовим поняттям обчислення ймовірностей в байєсових мережах є *процес оновлення ймовірностей*, або зміна міри довіри. Алгоритм цього процесу визначає спосіб отримання апостеріорних ймовірностей вершин мережі на основі отриманої інформації. Таким чином, оновлення міри довіри для вершин може розглядатися як синонім формування ймовірнісного висновку у мережах Байєса. По відношенню до вершини МБ *довіра* – це розподіл ймовірностей.

Нехай МБ – мережа на множині змінних  $U$ , і нехай  $e$  – множина тверджень вигляду „змінна  $A$  знаходиться у стані  $a$ ”. Таким чином,  $e$  представляє собою твердження „спільна конфігурація вершин  $A, \dots, B$



задана як  $(a, \dots, b)$ ". Необхідно знайти апостеріорний розподіл ймовірностей  $P(X|e)$  для усіх змінних  $X \in U$ .

Математично ця задача може бути розв'язана таким чином:

- використати ланцюгове правило для обчислення  $P(U)$ ;
- відокремити  $P(U, e)$  – частину  $P(U)$ , відповідну конфігурації  $(a, \dots, b)$ ;
- отримати  $P(X, e)$  шляхом маржиналізації  $P(U, e)$  для кожного  $X \in U$  (тобто для кожного стану  $x \in X$  підсумувати усі елементи  $P(U, e)$ , для яких  $X$  знаходиться у стані  $x$ );
- обчислити  $P(X|e)$ , як результат нормування  $P(X, e)$ , тобто слід розділити  $P(X, e)$  на суму всіх його членів.

Однак, зазвичай  $P(U)$  настільки об'ємна, що необхідні обчислення можуть виявитися неприйнятно великими. Відмова від використання повної ймовірності  $P(U)$  може бути здійснена при переході на послідовне застосування теореми Байєса.

Дійсно, поставлена задача знаходження ймовірностей  $P(X|e)$  на основі множини свідочтв  $e$  відносно МБ може бути представлена як задача оновлення ймовірностей на (під)мережі, до складу якої входить лише певна підмножина вузлів графу. Зменшення мережі до цієї підмножини відбувається шляхом послідовного виключення вузлів (маржиналізації) і механізму *інверсії ребер* графа на основі теореми Байєса. Приклад цього процесу продемонстровано на рис. 8.10, де показано, що для отримання розподілу  $P(C)$  вершини  $C$ , виконується послідовне звуження графа за допомогою виключення вершин (кроки 1,2,4,5) та інверсії ребер (крок 3).

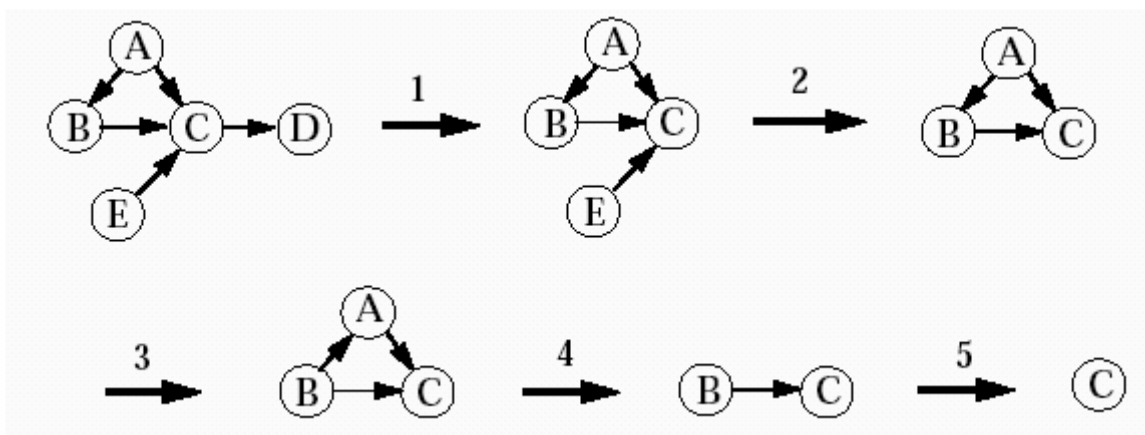


Рис. 8.10 Приклад формування ймовірнісного висновку

Сутність розповсюдження ймовірностей по мережі полягає у використанні поняття *повідомлення*, згідно з яким оновлення ймовірностей

вершин мережі здійснюється шляхом розсилання кожною вершиною мережі двох типів повідомлень про свій стан: (1) повідомлення батьківським вершинам –  $\pi$ -повідомлення; (2) повідомлення дочірнім вершинам –  $\lambda$ -повідомлення.

Міра довіри для події  $X = x$  за цим алгоритмом розраховується як нормований добуток числового еквіваленту повідомлень  $\lambda(x)$  і  $\pi(x)$ . Однак оглянемо основні концепції архітектури обміну повідомленнями для обчислення апостеріорних ймовірностей. Звернемося знову до МБ, наведеної на рис. 8.10. Якщо отримано новий розподіл  $P^*(A)$  для вершини  $A$ , то фундаментальне правило числення ймовірностей і маржиналізація можуть бути використані для обчислення нового розподілу  $B$ :

$$P^*(B) = \sum_A P(B|A)P^*(A).$$

Таким чином, розповсюдження в напрямі зв'язків досить просте. Можна розглядати це розповсюдження як повідомлення, надіслане від  $A$  до  $B$ . Це повідомлення є розподіл  $A$ , і на цій основі у вузлі  $B$  відбувається оновлення розподілу  $B$ .

Оновлення довіри відбувається і в протилежному напрямі: інформація щодо  $B$  може бути використана для зміни рівня довіри для  $A$ . У МБ інструментом розповсюдження ймовірностей у зворотному напрямі є теорема Байєса. Цю ситуацію можна розглядати як розповсюдження розподілу від  $B$  до  $A$  у вигляді повідомлення. У вузлі  $A$  це повідомлення також використовується для оновлення міри довіри.

Розглянемо МБ, граф якої є *деревом*. Повідомлення можуть надсилатися в обох напрямках, тобто вершина дерева  $X$  може надіслати повідомлення до будь-якої сусідньої вершини  $Y$ . Повідомлення, що надсилається, є поточним розподілом  $X$ , і вершина  $Y$  використовує це повідомлення для оновлення власного розподілу.

Нехай тепер вершини надсилають повідомлення не упорядковано, після чого на деякий час переходять в режим очікування. Можна довести, що у такому разі існує стан рівноваги (*стійкий стан*), в якому жодне подальше повідомлення не буде змінювати ніякого розподілу. Більше того, цього стійкого стану можна досягти після скінченної кількості пересилань повідомлень. У цьому стані кожна вершина буде зберігати коректний розподіл ймовірностей. На рис. 8.11 наведено приклад обміну повідомленнями для п'яти моментів часу, необхідних для досягнення стійкого стану дерева після введення даних про стани двох вершин.

Отже, в алгоритмі, що ґрунтується на повідомленнях, вплив кожного нового свідчення розглядається як збурення, що розповсюджується по мережі шляхом обміну повідомленнями між сусідніми вершинами. Однак

досягнення стійкого стану при застосуванні цього алгоритму, так само як і гарантія коректності результатів, вимагають існування деревоподібної структури мережі. МД має бути *полідеревом*, тобто *спрямованим ациклічним графом*, в якому між будь-якими двома вершинами існує лише один маршрут без урахування напрямку ребер. Це суттєве обмеження, оскільки переважну більшість реальних предметних областей неможливо змодельовати на графі без (неорієнтованих) циклів.

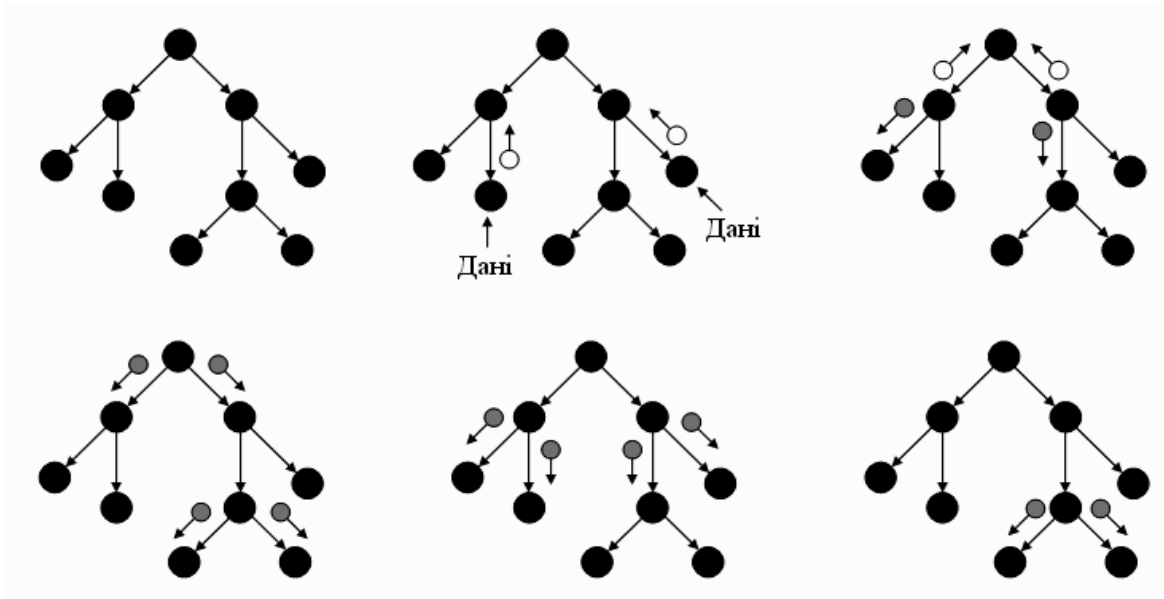


Рис. 8.11 Розповсюдження інформації через повідомлення

Для того щоб обійти це обмеження, запропоновано кілька методів. Наприклад, метод *обумовлення* (conditioning) ґрунтується на тому, що будь-яка мережа з циклом може бути зведена до полідерева перебором станів кореневої вершини циклу (послідовним обумовленням цієї вершини). Коли вершина обумовлена, тобто знаходиться у певному стані, можна вважати, що вона більше не є частиною мережі, а замість неї розглянути стільки мереж, скільки станів ця вершина має. Після цього теорема Байєса дозволить обчислити умовні ймовірності станів цієї вершини за умови, що відомі розподіли ймовірностей її сусідських (дочірніх) вершин. Таким чином, за даним методом доведеться обчислити стільки мереж, скільки станів має коренева вершина кожного циклу, а тому цей метод дуже уповільнює обчислення.

Інша ідея використовується в методі *кластеризації* [5, 58]. Метод кластеризації схожий на метод розповсюдження в деревах, описаний вище. Однак, в ролі вершин дерева у ньому виступають не окремі вершини, а їх групи (кластери). За допомогою методів теорії графів аналізуються

властивості незалежності вершин мережі і формується множина кластерів, які поєднуються у дерево. Отримане дерево має властивість *сполученого дерева*: для кожної пари  $(V, W)$  вершин дерева усі вершини маршруту між  $V$  та  $W$  містять їх перетин  $V \cap W$ . Сполучене дерево, отримане в результаті кластеризації вершин вихідного дерева, є полідеревом, і в ньому можна застосувати обмін повідомленнями. Після отримання апостеріорних ймовірностей для кластерів обчислюють ймовірності вершин вихідного дерева. Полідерево формується на основі графа, отриманого внаслідок тріангуляції. Уяву про процес формування сполученого дерева надає рис. 8.12.

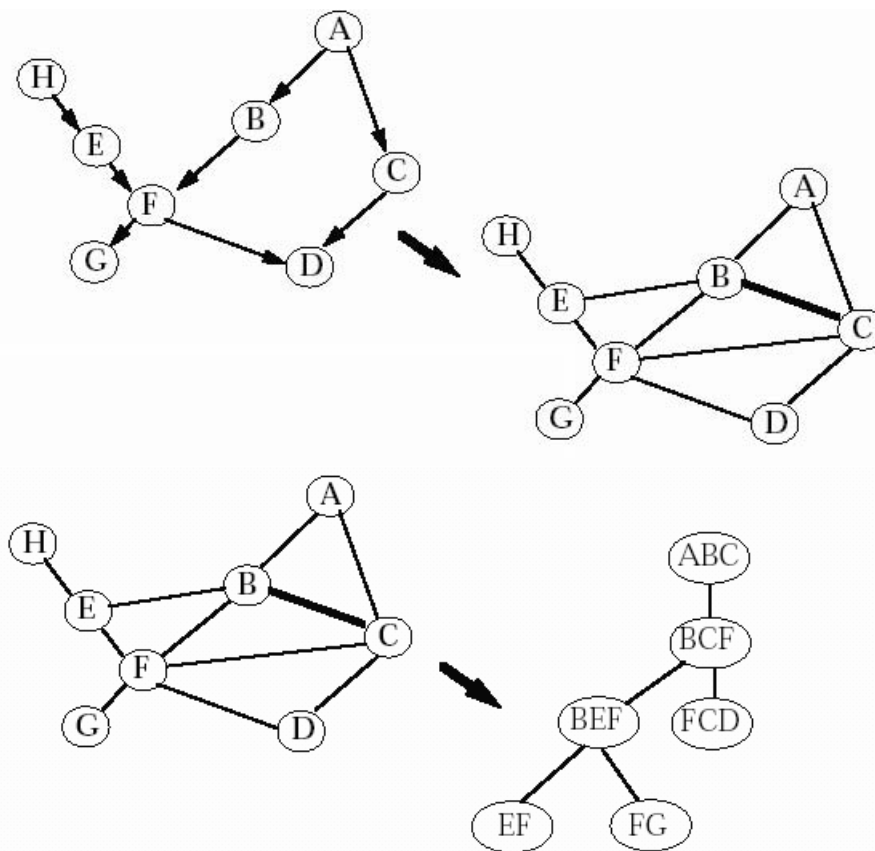


Рис. 8.12 Метод кластеризації для отримання сполученого дерева

Структура мережі найчастіше визначається експертами предметної області, хоча існують методи структурного навчання МБ на основі даних (наприклад, розглянутий вище алгоритм). Таблиці ймовірностей, навпаки, часто генеруються на основі даних за допомогою статистичних методів. Проте необхідно підкреслити, що *суб'єктивний* байесівський підхід не вимагає „об'єктивності” ймовірностей, а тому дозволяє при формуванні таблиць умовних ймовірностей спиратися на суб'єктивні оцінки експертів.

Можна зазначити, що результати логічного висновку більше чутливі до якісної структури МБ, ніж до кількісних значень ймовірностей [5].

### 8.5 Розробка експертної СППР для підприємства на основі мереж Байєса

Для суб'єктів бізнесу існує клас задач, які розв'язуються за допомогою експертів. Створюючи експертну систему для підприємства, необхідно виділити такий клас задач цієї множини, який був би практично важливим для підприємства та водночас якісно вирішувався за допомогою цього інструментарію. До таких задач можна віднести завдання стратегічного аналізу стану бізнесу, тобто порівняльного аналізу привабливості тих чи інших рішень та бізнесу в цілому.



Рис. 8.13 Оцінка стану бізнесу в рамках стратегічного аналізу

Мета стратегічного аналізу – виявити риси внутрішнього й зовнішнього середовища підприємства, які впливають на його стратегічне бачення й можливості. Оцінювання бізнесу у стратегічному менеджменті спирається на результати конкурентного і ситуаційного аналізу. Конкурентний аналіз зазвичай використовується для аналізу зовнішньої ситуації підприємства; ситуаційний аналіз стосується поточної ситуації на

підприємстві та його найближчого оточення. На рис. 8.13 представлена структура стратегічного аналізу для підприємства. Логічним виходом цього аналізу є оцінка привабливості стратегічних альтернатив (чи бізнесу в цілому).

**МБ в експертній системі.** Експертна система має реалізувати процес стратегічного аналізу у режимі консультації з користувачем, надавши йому на основі акумульованого експертного досвіду свою оцінку привабливості стратегічних альтернатив. Реалізація цієї системи на основі байєсівських мереж довіри означає, що необхідно побудувати мережу, виділивши у ній вхідні вузли (тобто такі, ймовірності станів котрих визначає користувач) і результуючі вузли. Далі, надавши станам вхідних вузлів певні значення, необхідно отримати ймовірності станів результуючих вузлів. Для задачі оцінювання стану бізнесу з позицій стратегічного аналізу природним видається виділити одну основну результуючу вершину мережі, що відображає привабливість стратегії чи бізнесу в цілому. Назвемо її *Рейтинг* (Business rating) і покладемо, що вона може знаходитися у станах *Привабливий* та *Непривабливий*.

До вхідних вузлів мережі логічно віднести такі економічні характеристики бізнесу, як очікуваний попит на продукцію підприємства, темпи зростання ринку, диференціація постачальників, спеціалізація конкурентів підприємства, наявність товарів-замінників, лояльність покупців, обсяги капіталовкладень, наявність довгострокових контрактів. Ключовими для оцінки привабливості бізнесу є також такі поняття, як прибутковість підприємства, рівень конкуренції в галузі, наявність чи відсутність надлишкового продукту, можливість подолання економічних бар'єрів входу/виходу (стратегічна гнучкість) та стабільність позиції підприємства. Економічні характеристики також доцільно виділити в окремі вершини МБ. Сукупність частини вузлів МБ визначена; їх можливі стани і стратегічне значення наведені у табл. 8.7.

Стратегічне значення розглянутих економічних показників дозволяє визначити причинно-наслідкові зв'язки між вузлами мережі, визначивши тим самим ребра мережі та їх спрямованість. Заповнення таблиць умовних ймовірностей виконується на основі експертної інформації.

**Використання статистичних даних в ЕС.** Розглянемо такі вхідні вершини побудованої мережі, як *Зростання обороту* та *Очікуваний попит*. Ці вершини, на відміну від інших, є кількісними, а не якісними, та ще й стосуються очікувань у майбутньому періоді часу, а тому навряд чи користувач експертної системи може точно визначити їх стан. Зрозуміло, що точне визначення ймовірностей станів цих вузлів на перший погляд видається складним завданням; однак, ці вершини є вхідними для ЕС і тому їх стани мають бути визначеними.

## Частина вершин МБ для оцінювання бізнесу

Вершина	Можливі стани	Стратегічне значення
Рейтинг	<i>Привабливий</i> <i>Непривабливий</i>	Результуюча вершина; визначає привабливість альтернативи чи підприємства
Затрати для входу	<i>Значні затрати</i> <i>Незначні затрати</i>	Великі затрати збільшують бар'єри входу/виходу, зменшуючи гнучкість підприємства
Спеціалізація конкурентів	<i>Інша продукція</i> <i>Така сама продукція</i>	Конкуренти з такою ж продукцією створюють більшу загрозу цінової війни
Лояльність клієнтів	<i>Звичайна</i> <i>Висока</i>	Лояльні клієнти надають можливість безпечніше варіювати стратегії
Надлишок продукції	<i>Низький</i> <i>Високий</i>	Надлишок продукції знижує рівень цін і, як наслідок, загострює конкуренцію
Очікуваний попит	<i>Очікується зменшення</i> <i>Очікується збільшення</i>	Збільшення попиту веде до зменшення надлишків і потенційного зросту прибутків

Значення станів інших вхідних вузлів можуть бути визначені в результаті простого вибору користувачем одного із станів вершини (при цьому обраний стан отримує ймовірність 1, а усі інші – 0). Для двох розглянутих вершин така методика визначення ймовірностей скоріше за все принципово неможлива. Навряд чи можна сказати, що очікується зростання попиту з ймовірністю 1. Тобто виникає питання коректного визначення відповідних ймовірностей.

База даних підприємства, як правило, містить достатньо інформації для автоматизації цього процесу. Як частина загальної інформаційної системи підприємства, БД містить великий об'єм статистичної інформації, у тому числі і про загальний оборот підприємства, і про попит на його продукцію. Якщо виконати відповідні запити до бази, то отримаємо ряди числових даних, які можна обробляти статистичними методами. Таким чином, за наявності відповідних рядів даних, можна спрогнозувати значення показників обороту і очікуваного попиту на майбутній період, а маючи ці прогностні значення, можна визначити стани вершин МБ.

**Модель виробничої діяльності підприємства.** Експертна система, в основі якої лежить модель предметної області у вигляді МБ, може бути використана для розв'язку задачі вибору оптимальної стратегії розвитку підприємства. Цілями моделювання при розробці стратегії розвитку підприємства є: оцінка поточної управлінської стратегії; визначення можливих шляхів і засобів керування розвитком підприємства; проведення порівняльного аналізу наслідків впровадження тих чи інших управлінських рішень; обрання найкращої стратегії розвитку. Для досягнення

поставлених цілей необхідно визначити критерії, які визначають ступінь ефективності стратегії, що впроваджується. Крім того, слід визначити фактори, що впливають на кінцевий результат, та їх взаємозв'язок. Основними критеріями, що визначають рівень розвитку, конкурентоспроможності та перспективності підприємства, можна назвати: цінність кадрів підприємства; рівень розвитку підприємства та фінансовий результат діяльності підприємства.

Цінність кадрів підприємства визначає рівень вмотивованості та кваліфікації працюючих. Цей критерій дозволяє оцінити якість трудових ресурсів підприємства. Рівень розвитку підприємства є показником технологічної структурованості підприємства. Цей критерій визначає ефективність внутрішньої організації підприємства та ступінь довершеності бізнес-процесів, що протікають на підприємстві. Фінансовий результат – це один з найважливіших інтегральних показників бізнес-діяльності підприємства. Він дозволяє оцінити стан підприємства на основі кількісних фінансових показників діяльності, таких, як доходи і витрати. За фактори, що впливають на значення критеріїв діяльності підприємства, можна вибрати такі укрупнені економічні показники: обсяг виробництва; виробничі фонди; невиробничі витрати; собівартість виробництва. Іншими впливовими факторами є також показники, що відносяться до трудових ресурсів підприємства – чисельність працюючих, продуктивність праці і середня заробітна плата працівників. Ці фактори прямо чи опосередковано впливають на всі критерії розвитку підприємства. При моделюванні враховано такі фактори: продуктивність праці на підприємстві, середня заробітна платня працюючих, чисельність персоналу, виробничі фонди підприємства, невиробничі витрати, обсяг та собівартість виробництва.

Для побудови відповідної байєсової мережі і подальшої роботи з нею скористаємося графічною оболонкою системи Hugin Lite 5.1. В термінології МБ вищенаведені показники та інтегральні критерії складатимуть вершини мережі, які позначимо таким чином: продуктивність праці – **ПП**; середня заробітна платня працюючих – **СЗП**; чисельність працюючого персоналу – **ЧП**; виробничі фонди підприємства – **ВФ**; невиробничі витрати – **НВ**; обсяг виробництва – **ОВ**; собівартість виробництва – **С**; цінність кадрів – **ЦК**; рівень розвитку підприємства – **РРП**; фінансовий результат – **ФР**. Врахувавши причинно-наслідкові зв'язки між наведеними факторами, можемо побудувати МБ, представлену на рис.8.14.

Надалі для кожної вершини необхідно визначити множину можливих станів. Для спрощення прийемо, що кожна з вершин може приймати лише два стани – *Збільшується* (позначення **Inc**) чи *Зменшується* (позначення **Dec**).



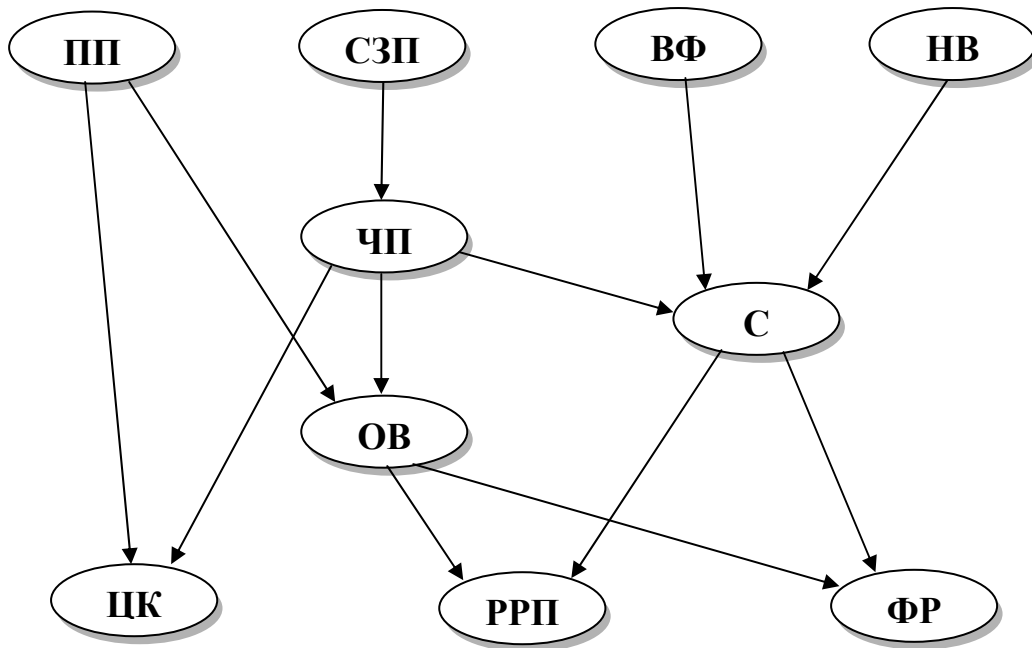


Рис. 8.14 Байєсова мережа для моделювання стратегій розвитку підприємства

Тоді результатом моделювання будуть ймовірності  $P(Inc)$  та  $P(Dec)$  для вершин **ЦК**, **РРП** та **ФР**. Наприклад, якщо в результаті моделювання деякої стратегії отримаємо, що для вершини **ЦК**  $P(Inc)=0,7$ , то це означає, що при застосуванні цієї стратегії цінність кадрів збільшиться з ймовірністю 0,7.

Останнім кроком при побудові МБ є визначення таблиць умовних ймовірностей для кожної вершини мережі. Наведемо таблицю умовних ймовірностей для вершини мережі, що відповідає обсягу виробництва. Відповідно до топології мережі, стан для цієї вершини (**ОВ**) визначається станом вершин **ЧП** і **ПП**, тобто на обсяг виробництва впливають чисельність працівників та продуктивність їх праці (рис. 8.15).

ЧП	Inc		Dec	
	Inc	Dec	Inc	Dec
Inc	0.9	0.8	0.5	0.05
Dec	0.1	0.2	0.5	0.95

Рис. 8.15 Таблиця умовних ймовірностей для вершини **ОВ**

З наведеної таблиці видно, що при зростанні чисельності працюючих і одночасному зростанні продуктивності праці обсяг виробництва буде зростати, і ймовірність цього зростання, за думкою експертів, складе 0,9. Також можна бачити, що у разі одночасного спадання кількості працюючих і зростанні продуктивності їх праці експертна оцінка ускладнена, і ймовірності зростання та спадання цього показника покладені рівними.

**Моделювання управлінських рішень.** Першим етапом роботи є аналіз поточної стратегії економічного розвитку підприємства. Апріорні ймовірності задаються для корневих вершин дерева **ПП**, **СЗП**, **ВФ** і **НВ**. Кореневі вершини дерева трактуються як об'єкти керування. Листові вершини дерева трактуються як результати моделювання. Отримані в ймовірності станів вершин представляють собою результати моделювання стратегії розвитку підприємства. Покладемо для корневих вершин мережі **ПП**, **СЗП**, **ВФ** і **НВ** значення ймовірностей  $P(Inc)=P(Dec)=0,5$ . Ініціалізація мережі, тобто розповсюдження по мережі цих ймовірностей, дає такі значення критеріїв (табл. 8.8).

Таблиця 8.8

#### Поточний стан підприємства

Вершина	ЦК	РРП	ФР
$P(Inc)$	0,5644	0,5345	0,5223

Таким чином, експертна оцінка поточної стратегії дає початкові значення критеріїв розвитку, з якими можна порівнювати результати моделювання інших стратегій. Наступним етапом аналізу є моделювання впровадження у виробництво інших стратегічних рішень. У відповідності із розробленою моделлю виділимо три можливих стратегії.

**Стратегія 1: інтенсифікація виробництва.** Ця стратегія припускає досягнення бажаних критеріїв розвитку підприємства шляхом підвищення продуктивності праці персоналу. Комплекс заходів щодо інтенсифікації передбачає впровадження прогресивних технологій виробництва, збільшення норми виробітки на одного працюючого, зростання частки наукомістких високотехнологічних операцій у виробничому циклі, тощо.

В рамках побудованої моделі впровадження цієї стратегії означає варіювання (підвищення) ймовірності  $P(Inc)$  для вершини **ПП**. Серед інших розглянутих стратегій – стимулювання персоналу і зменшення втрат. Отже, для моделювання стратегії розвитку підприємства по черзі встановимо  $P(Inc)=1$  для вершини **ПП**,  $P(Inc)=1$  для вершини **СЗП** і

$P(Dec)=1$  для вершин **НВ**, залишаючи ймовірності інших вершин незмінними (табл. 8.9).

Таким чином, отримані ймовірності збільшення критеріїв розвитку підприємства у разі застосування тієї чи іншої стратегії. Наступним і останнім етапом моделювання є визначення найкращої стратегії, яку слід рекомендувати управлінському персоналу підприємства.

Таблиця 8.9

**Результати моделювання на мережі**

Стратегія	Значення $P(Inc)$ для критерію		
	ЦК	РРП	ФР
№1	0,5712	0,5801	0,5793
№2	0,5700	0,5570	0,5628
№3	0,5644	0,6335	0,5975

**Вибір оптимальної стратегії розвитку підприємства.** Для прийняття управлінського рішення необхідно визначити інтегральний критерій розвитку підприємства для кожної стратегії, краще значення якого і визначить оптимальну стратегію з числа розглянутих. Розрахунок інтегрального критерію пропонується виконати на основі наступних міркувань. Нехай при моделюванні розглядаються  $K$  критеріїв і  $S$  стратегій розвитку підприємства. В результаті моделювання кожної стратегії на байєсівській мережі отримані значення ймовірностей збільшення критеріїв  $p_{ks}$ ,  $k=1..K$ ,  $s=1..S$  і відомі початкові значення  $p_{k0}$  для поточного стану підприємства. Тоді для кожної стратегії розраховується зважений показник збільшення критеріїв розвитку підприємства:

$$p_s = \sum_{k=1}^K w_k p_{ks}, \quad s = 0..S,$$

де  $w_k$  – ваговий коефіцієнт, що визначає важливість збільшення  $k$ -го критерію розвитку для підприємства,  $\sum_{k=1}^K w_k = 1$ . Зважений показник  $p_s$  можна розглядати як ймовірність збільшення деякого інтегрального критерію розвитку підприємства, тобто  $p_s$  – це величина, яка характеризує ймовірність загального поліпшення рівня розвитку, конкурентоспроможності та перспективності підприємства при впровадженні  $s$ -ої стратегії. Інтегральний критерій розвитку підприємства

може бути знайдений як відношення зваженого показника  $p_s, s = 1..S$  до показника поточного стану  $p_0$ :  $I_s = \frac{p_s}{p_0}, s = 1..S$ , і тоді за оптимальну

стратегію  $s^{opt}$  слід приймати таку, для якої інтегральний критерій розвитку має найбільше значення:

$$s^{opt} = \arg \max_{s=1..S} I_s.$$

В нашій моделі  $K = 3, S = 3$ , величини  $p_{ks}, k = 1..K, s = 1..S$  наведені в табл. 8.9, величини  $p_{k0}$  – в табл. 8.8. Будемо вважати, що на даному етапі розвитку підприємства цінність кадрів, рівень розвитку виробництва і фінансовий результат однаково важливі для управлінського персоналу; тоді  $w_1 = w_2 = w_3 = \frac{1}{3}$ . Тепер, відповідно до наведених вище формул, отримуємо:

$$p_1 = 0.5769, p_2 = 0.5633, p_3 = 0.5985, p_0 = 0.5404;$$

$$I_1 = \frac{0.5769}{0.5404} = 1.07, I_2 = \frac{0.5633}{0.5404} = 1.04, I_3 = \frac{0.5985}{0.5404} = 1.11;$$

$$s^{opt} = \arg \max_{s=1..S} I_s = s_3.$$

Отже оптимальною стратегією розвитку підприємства є стратегія № 3 – зменшення витрат. При запровадженні цієї стратегії цінність кадрів на підприємстві збільшиться з ймовірністю 0,56, рівень розвитку виробництва – з ймовірністю 0,63 і фінансовий результат – з ймовірністю 0,6.

Таким чином, мережа Байєса, як потужний високоресурсний ймовірнісний інструмент моделювання процесів різної природи та прийняття рішень, дає можливість враховувати структурні і статистичні невизначеності досліджуваних процесів. Запропонована в розділі послідовність побудови байєсівських мереж довіри може бути використана при моделюванні соціально-економічних процесів на будь-якому рівні функціонування держави, а також для описання динаміки і статички технічних систем. Основні проблеми, пов'язані з побудовою таких мереж, полягають у визначенні апіорних ймовірностей подій та оптимізації топології мережі. Процес розповсюдження ймовірностей по мережі реалізується шляхом послідовного застосування теореми Байєса або за допомогою алгоритму генерування і аналізу двох типів повідомлень стосовно стану батьківських і дочірніх вершин, які уточнюють апостеріорні розподіли ймовірностей подій (вершин). Однак, досягнення стійкого стану мережі при застосуванні алгоритму, що ґрунтується на

повідомленнях, вимагає щоб мережа мала деревовидну структуру. Цього обмеження можна уникнути за допомогою методів обумовлення та кластеризації. Останній приводить до побудови полідера, для вершин якого можна обчислити апостеріорні ймовірності.

Побудована мережа Байєса для розв'язання задачі оцінювання привабливості стратегій розвитку малого бізнесу. Таблиці умовних апіорних ймовірностей якісних вершин заповнені за допомогою експертної інформації, а кількісних вершин – за допомогою статистичних даних (зростання обороту і очікуваний попит). Тобто значення умовних ймовірностей для кількісних вершин отримано на основі відповідних рядів статистичних даних і частотних ймовірностей. В цілому МБ для оцінювання стратегій розвитку підприємства складається з 10 вершин, які забезпечили моделювання декількох стратегій розвитку, зокрема, інтенсифікацію та зменшення витрат на виробництво. Для розглянутого прикладу кращою виявилась стратегія зменшення витрат.

### **Контрольні задачі і запитання**

1. Дайте означення поняттю «мережа Байєса».
2. Поясніть процедуру формування висновку на основі теореми Байєса.
3. Опишіть наївний класифікатор Байєса.
4. Наведіть недоліки звичайних процедур обчислення ймовірностей та формування висновку.
5. Розкрийте принцип формування опису мережі Байєса мінімальної довжини.
6. Опишіть алгоритм методу опису мінімальної довжини.
7. Сформулюйте евристичний алгоритм побудови мережі Байєса.
8. Наведіть методи оцінювання якості навчання мережі Байєса.
9. Які недоліки і переваги мають мережі Байєса?
10. Опишіть технологію розробки експертних систем.
11. Сформулюйте структуру мережі Байєса для моделювання стратегій розвитку підприємства.

## РОЗДІЛ 9

### ПОБУДОВА СППР НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ

#### 9.1 Методи експертних оцінок для розв'язання задач прийняття рішень

Прийняття рішень, як вже досліджено, представляє собою вибір найбільш преференційного варіанту рішення із множини допустимих альтернатив або упорядкування множини рішень. Задача вибору варіантів, та як більш складна і охоплююча задача – задача розподілу ресурсів, постають споконвічними проблемами, з якими стикається людство у всіх сферах свого буття. Ресурсами можуть виступати технічні засоби, людські резерви, ділянки частотного, часового та просторового діапазонів, кількість каналів зв'язку, інформаційні сигнали, фінансові активи і кошти, нематеріальні активи, енергоносії тощо.

**Змістовне формулювання задачі.** Існує деякий фіксований граничний обсяг ресурсів, призначений для розподілу. Є множина проектів, які розглядаються як кандидати на використання цих ресурсів. Загальний обсяг необхідних ресурсів для всіх проектів може перевищувати наявний граничний обсяг. **Необхідно** вибрати із множини усіх проектів-кандидатів деякій набір проектів, задоволення яких ресурсами забезпечить найбільш раціональне використання наявного обсягу ресурсів.

Проблема розподілу ресурсів по суті представляє собою вибір у певному сенсі „кращих” з наявних варіантів кандидатур на одержання ресурсів, що звичайно здійснюється за деяким *критерієм оптимальності* чи набором таких критеріїв за допомогою певної процедури пошуку екстремуму. Проблема розподілу ресурсів, крім власне вибору варіантів, передбачає розв'язання оптимізаційних задач щодо розподілу ресурсів при задоволенні тих чи інших обмежень задачі. Розв'язання проблеми вибору варіантів, а саме багатокритеріального вибору варіантів, є головним і необхідним стрижнем розв'язання загальної проблеми розподілу ресурсів. Проблема вибору варіантів фактично постає частиною проблеми розподілу ресурсів, проте у певних постановках може виступати окремою задачею вибору варіантів з множини допустимих альтернатив.

Таким чином, виявляється доцільним спільне дослідження проблеми розподілу ресурсів і проблеми вибору варіантів в спільній постановці проблеми розподілу ресурсів і вибору варіантів.

В сучасній теорії прийняття рішень можна виділити такі аспекти: теоретичний (доведення теорем існування, збіжності, тощо), прикладний (побудова моделей для розв'язання конкретних практичних задач) і

обчислювальний.

Проблема розподілу ресурсів під призмою теорії прийняття рішень може бути розглянута насамперед у прикладному і обчислювальному аспектах. Застосування ТПР передбачає дослідження проблеми шляхом аналізу окремих її елементів, детального ізольованого вивчення цих елементів і тільки після цього здійснюють аналіз найпростіших взаємодій між ними.

Проте теоретичні і прикладні проблеми розподілу ресурсів потребують складніших і глибоких сучасних методів та підходів, які не вкладаються в рамки однієї дисципліни; вони є міждисциплінарними і виникають на стику різних наук – ґрунтуються на системному аналізі.

Системний аналіз проявляється у всесторонньому науковому підході до прийняття рішень – системному підході, за яким вся проблема вивчається в цілому, визначаються цілі і шляхи їх реалізації із урахуванням можливих наслідків.

ТПР і системний аналіз ґрунтуються на застосуванні системного підходу, однак, якщо в ТПР і дослідженні операцій системний підхід спрямовується головним чином на аналіз зв'язків усередині системи, що призначена для вирішення певної окремої задачі, то у системному аналізі він застосовується ще й для виявлення зовнішніх зв'язків даної системи з суміжними системами, які впливають на рішення задачі [22].

Так, проблема розподілу ресурсів і вибору варіантів, задавання цілей і вибір стратегії завжди взаємопов'язані. Ресурси представляють собою свого роду „фільтр”, через який необхідно пропускати рішення. За умов неможливості раціонального розподілу наявних ресурсів, виникає необхідність перегляду цілей і стратегії до тих пір, поки не буде досягнута забезпеченість ресурсами та їх раціональний розподіл [3].

Необхідно зазначити, що при моделюванні та формальному описі систем різної природи, у функціонуванні яких приймає участь людина, наприклад економічних системах, стикаються з проблемою домінування якісних, погано визначених факторів, які виявляються у нечітких, неточних, розпливчастих властивостях процесів та явищ [3, 22].

В результаті аналізу задачі розподілу ресурсів встановлено, що для задач такого класу, особливо для задач розподілу інвестиційних ресурсів, властиві умови невизначеності, що зумовлені наявністю як внутрішніх так і зовнішніх чинників, зокрема: невизначеність цілей, структурна, ситуаційна, інформаційна, статистична і комбінаторна невизначеності, що утворюють системну невизначеність. В ТПР об'єктивну дійсність, що спричиняє невизначеність, у тому випадку коли вона постає незацікавленою інстанцією, поведінка якої невідома і яка не містить

елементу свідомої протидії цілям задачі, називають „природою”. Природа виступає у ролі керуючого рухом випадкових подій.

До розв’язання проблеми розподілу ресурсів можна підходити через розв’язання наступних задач, кожна з яких виступає окремою задачею прийняття рішень, дослідження операцій та системного аналізу: визначення цілей, критеріїв оптимальності, критеріїв і методів добору „кандидатів” на отримання ресурсів; формування множини допустимих альтернатив; порівняння та упорядкування множини альтернатив за обраними критеріями; добір кращих варіантів за критерієм оптимальності та вибір рішення.

Розв’язання задач, приналежних до класу проблем, що виникають у системах, у функціонуванні яких приймає участь людина, – класу проблем розподілу ресурсів і вибору варіантів, може бути класифіковане як погано структуроване, динамічне, рішення в умовах невизначеності, багатоосібне та, в залежності від певної ситуації, стратегічне чи тактичне.

Існуючі детерміновані підходи з використанням точних характеристик об’єктів, явищ та процесів, точних методів моделювання та прийняття рішень і процедур оптимізації не враховують зазначені фактори, тому не можуть бути успішно використані при моделюванні реальних процесів. Безперечно, для розв’язання задач зазначеного класу і прийняття рішень *слід спиратись на досвід, знання та інтуїцію фахівців-експертів* [22]. Методологія розв’язання задач за участю людини має базуватись не лише на формальних методах, а значною мірою на евристичних міркуваннях, а також на інтуїції. По-перше, це виявляється у необхідності враховувати різноманітні якісні фактори, значення яких крім як експертним чином оцінити неможливо (наприклад, соціальна значимість інвестиційних проектів). По-друге, використання відомих кількісних значень оцінок за деякими характеристиками проектів є недостатнім для такого класу задач, і потребує їх доповнення експертними оцінками. Наприклад, строк окупності 2 роки для одного проекту може виявитись задовільним, а для іншого дуже тривалим. ОПР змушені робити висновки на основі невеликого числа спостережень, які, як правило, не можуть бути відтвореними. Необхідно зазначити, що при підтримці прийняття рішень необхідно не лише вірно описати поведінку системи, але й передбачати вплив людського фактору [41].

Задачу вибору можна розв’язати, якщо у деякий спосіб виконати структурування множини альтернатив. Структурування полягає у класифікації, кластеризації чи ранжируванні альтернатив, які здійснюється за допомогою некритеріальних та критеріальних методів [1, 44]. Некритеріальні методи ґрунтуються на використанні здатності людського мозку створювати загальне уявлення про об’єкт. За цими методами



експерти виконують попарне порівняння альтернатив «в цілому», тобто порівнюють цілісні образи об'єкту [41]. Критеріальне структурування полягає у співставленні альтернатив за деяким набором кількісних та якісних критеріїв. Розв'язання реальних задач із застосуванням некритеріальних методів є практично неприйнятним, оскільки у такому випадку отримують грубі та часто недостатньо обґрунтовані рішення [34, 44, 65].

Людський вимір в СППР, наприклад при розподілі ресурсів і виборі варіантів, мають відігравати значну роль [1], внаслідок чого використання експертних оцінок у СППР має знайти достатньо широке застосування.

Більше того, як уже встановлено, розв'язок задачі здійснюється в умовах неповної, неточної і невизначеної інформації, що насамперед зумовлено постановкою задачі та її середовищем. Серед класу задач розподілу ресурсів найбільш складною постає задача розподілу інвестиційних ресурсів, оскільки вона в більшій мірі споріднена з величезною відповідальністю ОПР за прийняте рішення. Все це спричиняє необхідність застосування лише прозорих методів підтримки рішень у СППР, необхідність надання можливості ОПР безпосередньо впливати на рух процесу прийняття рішення і бути безпосередньо задіяними в процесі підготовки і прийняття рішення, більш того, рішення задачі має враховувати особисті уподобання і переваги ОПР.

Отже, застосування підходів на основі експертних оцінок виявляється не лише бажаним інструментом для одержання якісної інформації в певних класах задач, але і необхідністю для розробки практично прийнятної системної методології для реальних задач прийняття рішень в умовах невизначеностей, особливо, у стратегічних і надзвичайно важливих галузях.

*Метод експертних оцінок* відомий у зарубіжній науковій літературі як метод Дельфі [3, 22] (на честь древньогрецького оракула Delphos). Суть методу полягає у отриманні висновку групи експертів про поведінку однієї чи декількох пов'язаних характеристик досліджуваної системи.

Практичне застосування методу експертних оцінок складається з таких етапів [16, 22]:

1. Добір групи експертів-фахівців з предметної області проблеми, що розв'язується.
2. Формулювання цілей, які мають бути досягнуті в результаті вирішення проблеми.
3. Розробка спеціальної „форми опитування”, що може включати набір об'єктів, що оцінюються, набір критеріїв оцінювання, шкали оцінок тощо.
4. Опитування експертів – експертне оцінювання об'єктів з проблеми,

- що розв'язується.
5. Статистична обробка даних оцінювання для синтезу попередніх результатів.
  6. Аналіз отриманих результатів кожного експерта. Врахування експертами оцінок і висновків всієї групи.
  7. У випадку корегування своїх оцінок деякими експертами у п.6., виконання повторної обробки даних оцінювання за п.5.
  8. Повторне виконання пп. 5–7 до припинення корегування експертами своїх результатів.
  9. Отримання *консенсусного* результату. У випадку неможливості отримання такого результату, наприклад, відсутній стабільний результат при багаторазовому виконанні пп. 5–7 – повернення до п. 1, зміна складу групи експертів і повторне виконання пп. 1–9.
  10. Аналіз консенсусного результату опитування експертів для його імплементації у розв'язанні проблеми.

Застосування експертних оцінок за сучасними технологіями сполучене із використанням механізмів опису і оперування якісними неточними нечіткими поняттями.

Задача розподілу ресурсів і вибору варіантів, що розв'язується із залученням експертів формулюється таким чином.

*Постановка задачі.* Є множина запропонованих проектів  $P = \{P_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , відомі необхідні обсяги ресурсів  $b_i$  для кожного проекту  $P_i$ , задано загальне ресурсне обмеження  $B$ , що є меншим за загальний обсяг необхідних ресурсів:  $\sum_{i=1}^n b_i \geq B$ . *Необхідно* у найкращий спосіб розподілити ресурси між проектами  $P$  при задоволенні обмеженню  $B$ .

Методологія розв'язання задачі розподілу ресурсів між альтернативними проектами в умовах системної невизначеності, ґрунтується на застосуванні методів експертних оцінок. Суть її полягає у одержанні кількісних і якісних експертних оцінок проекту від групи ОПР (експертів), агрегуванні їх у єдину оцінку проекту (ступінь привабливості проекту) з аналізом погодженості експертних оцінок, та у подальшому виборі проектів відповідно до їх привабливості і розподілу ресурсів між ними. Розв'язання задачі складається з таких послідовних етапів (рис. 9.1.)

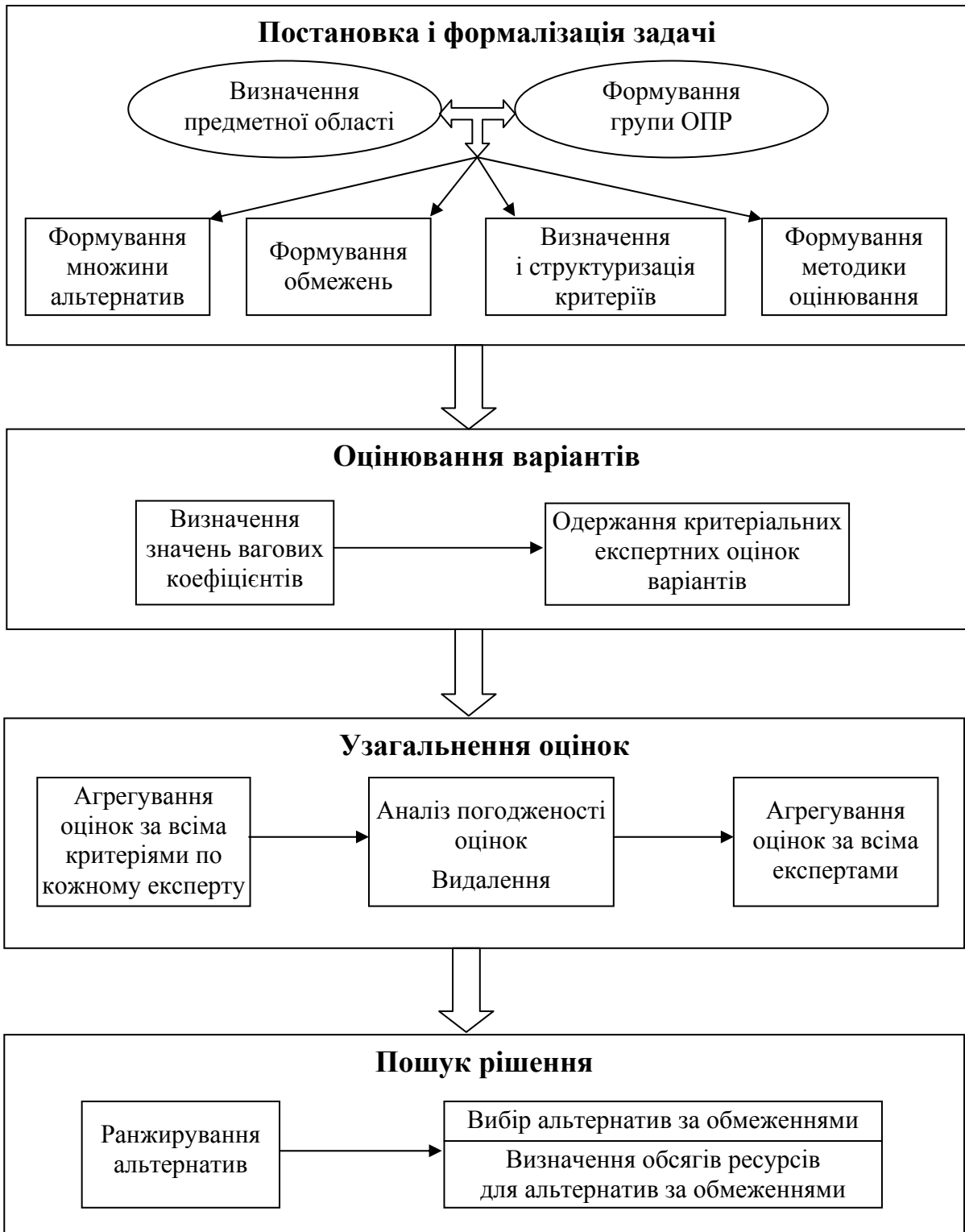


Рис. 9.1 Структура методології розв'язання задачі розподілу ресурсів і вибору варіантів

**Постановка і формалізація задачі.** Формується група ОПР – експертів у певній предметній області, що приймають участь в розв’язанні задачі,  $D = \{D_t\}$ ,  $t = \overline{1, k}$ . Постановка задачі з урахуванням створеної групи експертів трансформується в таку. **Необхідно** у найкращий, з точки зору вибраного критерію, спосіб розподілити ресурси між проектами  $P$  у відповідності до індивідуальних переваг ОПР  $D$  при задоволенні обмеження  $B$ .

*Задавання параметрів.* ОПР  $D = \{D_t\}$ ,  $t = \overline{1, k}$  для проектів  $P = \{P_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$  експертним шляхом визначають набір важливих критеріїв  $C = \{C_l\}$ ,  $l = \overline{1, h}$ , за якими буде проводитись оцінювання проектів.

Всі критерії  $C_l$  будемо вважати максимізуючими, тобто більше значення оцінки за таким критерієм є кращим з точки зору вибору проекту. Якщо деякий критерій виявиться мінімізуючим, тобто кращим з точки зору вибору проекту для інвестування є менше значення оцінки за таким критерієм, то цей критерій змінимо на зворотній.

Всі критерії структуруються в логічну ієрархічну структуру, що складається з послідовно та паралельно з’єднаних блоків, кожен з яких має на вході 5-7 докладних (конкретизуючих) критеріїв, а на виході один критерій, який узагальнює вхідні критерії даного блоку (рис. 9.2).

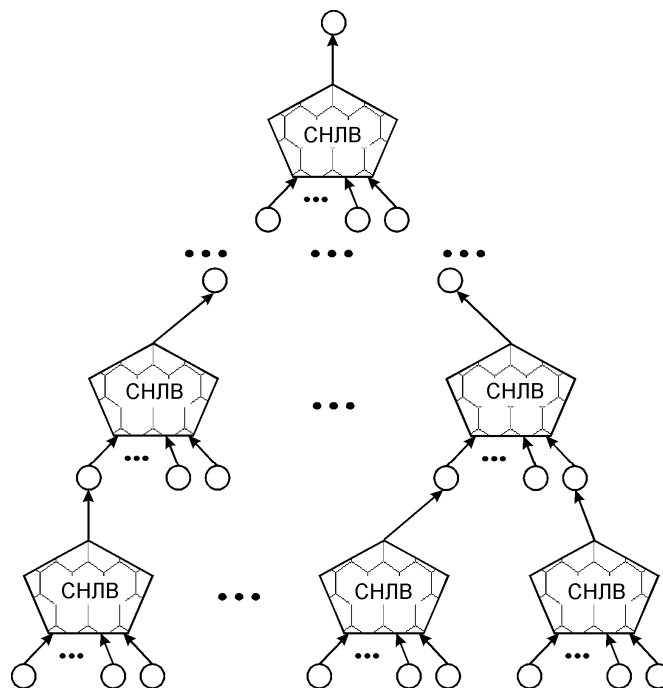


Рис. 9.2 Ієрархічна структура критеріїв оцінювання проектів

Наприклад, в задачі розподілу інвестиційних ресурсів між комерційними проектами СНЛВ початкового нижчого рівня може визначати рівень керівника *BossLevel* організації–заявника проекту за входами  $bl_1$ – *досвід роботи керівником*;  $bl_2$ – *освіта*;  $bl_3$ – *надійність*;  $bl_4$ – *комунікабельність*;  $bl_5$ – *успішність*. Вихід *BossLevel* цієї СНЛВ буде входом для СНЛВ наступного рівня, яка у свою чергу може визначати рівень *FirmLevel* організації–заявника проекту за такими входами:  $fl_1 = \text{BossLevel}$ – *рівень керівника організації*;  $fl_2$ – *активи організації*;  $fl_3$ – *пасиви організації*;  $fl_4$ – *дебіторська заборгованість організації*;  $fl_5$ – *кредиторська заборгованість організації*;  $fl_6$ – *балансовий прибуток організації*. Вихід СНЛВ *FirmLevel* буде входом СНЛВ наступного рівня, і так далі до СНЛВ найвищого останнього рівня, виходом якої буде ступінь привабливості проекту  $P_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , що аналізується.

Вся ієрархічна структура критеріїв, таким чином, збігається на верхньому рівні ієрархії в єдиний критерій: *привабливість проекту* для його вибору і надання йому ресурсів. Для розподілу ресурсів потрібні значення оцінок за докладними критеріями, саме вони і складають сформований ОПР набір критеріїв оцінювання  $C = \{C_l\}$ ,  $l = \overline{1, h}$ .

**Оцінювання варіантів.** В задачі розподілу ресурсів необхідно враховувати, що визначені критерії  $C_l$ ,  $l = \overline{1, h}$ , за якими ОПР будуть оцінювати проекти, можуть відрізнятися своєю важливістю, та в результаті мати різну вагу впливу на рішення задачі. Більше того, кожна ОПР може мати свій погляд на ранжирування та розподіл ваг критеріїв, тому логічно щоб кожна ОПР  $D_t$  надавала свої індивідуальні вагові коефіцієнти  $W_{lt}$  для кожного критерію  $C_l$ , де  $l = \overline{1, h}$ ,  $t = \overline{1, k}$ .

Окрім цього, доцільним постає врахування значимості, досвіду, рівню підготовки, посади, тощо кожної ОПР. Для цього, групою ОПР  $D = \{D_t\}$  колегіально, чи її керівником – особою, що є відповідальною за прийняте рішення, задаються вагові коефіцієнти  $V_t$  для ОПР  $D_t$ ,  $t = \overline{1, k}$  [27]. Визначення значень вагових коефіцієнтів критеріїв  $W_{lt}$  та ОПР  $V_t$  зручно проводити за допомогою геометричного прийому (наведений далі). Тут вагові коефіцієнти є чіткими, оскільки немає необхідності у їх фазифікації для використання у подальших етапах методу. Зведені до нечіткого вигляду в даному випадку вагові коефіцієнти будуть умовними нечіткими множинами, тобто такими, які визначаються чітким значенням – центром абсолютного чи відносного інтервалу, та стандартною функцією належності. Це призвело б лише до ускладнення практичної реалізації методу при відсутності поліпшення якості рішення.

Для подальшого використання вагові коефіцієнти необхідно піддати процедурі нормування:

$$W_{lt}^{norm} = W_{lt} / \left( \sum_{l=1}^h W_{lt} \right), \quad l = \overline{1, h}, \quad t = \overline{1, k}; \quad (9.1)$$

$$V_t^{norm} = V_t / \left( \sum_{t=1}^k V_t \right), \quad t = \overline{1, k}. \quad (9.2)$$

Множина критеріїв  $C = \{C_l\}$  умовно поділяється на дві підмножини. За однією підмножиною критеріїв  $C_1 = \{C_{l_1}\}$  кожному проекту  $P_i$  надаються суб'єктивні окремі експертні оцінки  $S_{ilt}$  кожною ОПР  $D_t$ . За іншою підмножиною критеріїв  $C_2 = \{C_{l_2}\}$  оцінки проектів визначаються як розраховані числові характеристики проектів, що надаються разом з проектами (наприклад, для комерційних інвестиційних проектів: рентабельність, строк окупності, тощо).

Для зручності реалізації подальших етапів і процедур оцінки кожного проекту за другою підмножиною критеріїв  $C_2$ , тобто вхідні числові характеристики проектів, будемо розглядати спільно з експертними і такими, що є однаковими для всіх ОПР.

Отже, після виконання етапу оцінювання варіантів є визначеними нормовані вагові коефіцієнти критеріїв  $W_{lt}^{norm}$  та ОПР  $V_t^{norm}$ , кожний проект  $P_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  характеризується своїм набором оцінок  $S_{ilt}$ ,  $l = \overline{1, h}$ ,  $t = \overline{1, k}$  за кожним критерієм  $C_l$  від кожної ОПР  $D_t$ .

**Узагальнення оцінок.** На даному етапі задача, що розглядається, постає задачею багатокритеріального оптимального вибору проектів, для розв'язання якої скористуємось підходом зведення її до задачі однокритеріального вибору [22, 27], тобто вибір проектів буде відбуватись за узагальненою агрегованою оцінкою кожного проекту  $P_i$  – ступенем привабливості проекту  $A_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

Необхідно зазначити, що деякі існуючі підходи [16, 22] до зваженого агрегування оцінок проектів в задачі багатокритеріального вибору мають суттєвий недолік. За такими підходами спочатку агрегують оцінки  $S_{ilt}$  деякого проекту  $P_i$  за кожним критерієм  $C_l$ ,  $l = \overline{1, h}$ , що надані всіма ОПР  $D_t$ ,  $t = \overline{1, k}$ , а потім, використовуючи вагові коефіцієнти критеріїв, отримують остаточні узагальнені оцінки для кожного проекту (рис. 9.3а).

Однак, за такої послідовності, по-перше, ускладнюється врахування

значень вагових коефіцієнтів одного критерію, що надані різними експертами, та вагових коефіцієнтів самих експертів; по-друге не враховується логічний когнітивний зв'язок значення оцінки експерта з його суб'єктивним міркуванням щодо ваги такої оцінки за даним критерієм та значеннями оцінок за іншими критеріями; по-третє відсутня методична відповідність підходу аналізу погодженості думок експертів і видалення оцінок некомпетентних експертів.

Для усунення зазначених недоліків і методичних перешкод у зведенні задачі до однокритеріальної, пропонується такий метод знаходження узагальненої оцінки привабливості  $A_i$  проекту  $P_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  (рис. 9.3б) [27]:

1. Знаходження зважених агрегованих оцінок  $A_{it}^D$  кожного проекту  $P_i$  від кожної ОПР  $D_t$ , де  $i = \overline{1, n}$ ,  $t = \overline{1, k}$ , відбувається на основі оцінок  $S_{ilt}$  ОПР  $D_t$  проекту  $P_i$  за кожним критерієм  $C_l$  та вагових коефіцієнтів  $W_{lt}$  критеріїв, де  $l = \overline{1, h}$ .
2. Знаходження остаточної узагальненої оцінки  $A_i$  кожного проекту  $P_i$ , де  $i = \overline{1, n}$ . Розраховується на основі агрегованих оцінок  $A_{it}^D$  кожного проекту  $P_i$  та вагових коефіцієнтів  $V_t$  ОПР, де  $i = \overline{1, n}$ ,  $t = \overline{1, k}$ .

За умов застосування нелінійних підходів до агрегування оцінок послідовність агрегування суттєво впливає на значення узагальненої оцінки і результат розв'язку задачі.

На жаль, традиційні методи агрегування експертних оцінок та входних параметрів проектів не прийнятні в реальних задачах розподілу ресурсів, тому для знаходження узагальнених агрегованих оцінок проектів пропонується застосовувати систему нечіткого логічного висновку.

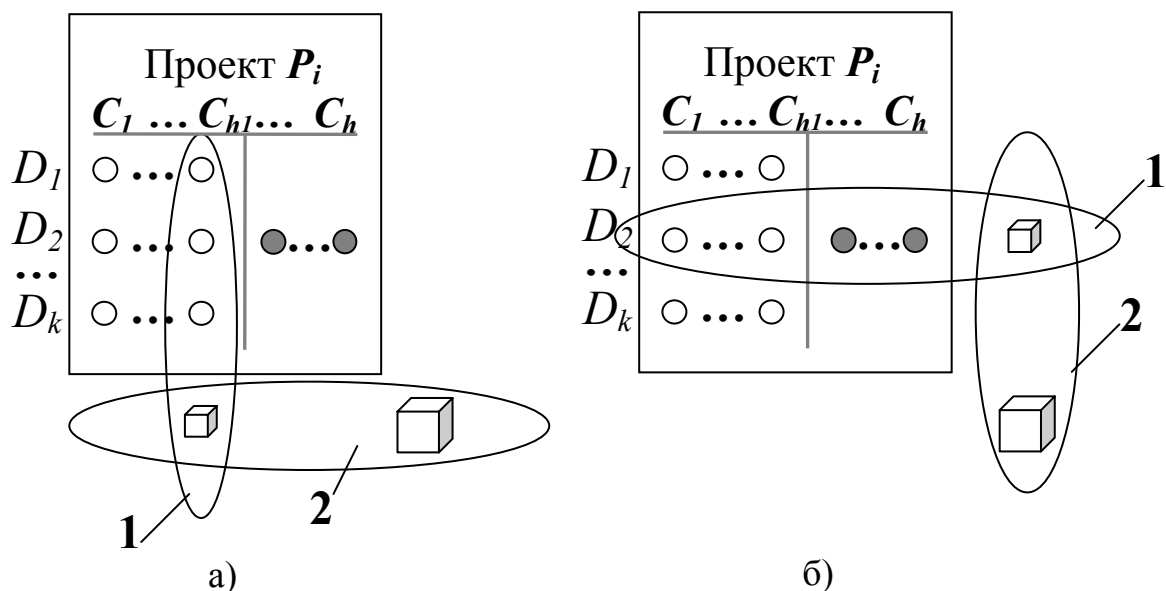
Етап зведення задачі складається з таких трьох операцій:

- операції узагальнення оцінок проектів від кожної ОПР за критеріями системою НЛВ;
- операції аналізу погодженості оцінок ОПР;
- операції агрегування оцінок проектів за ОПР.

Отже, відповідно до ієрархічної структури критеріїв відбувається послідовне багаторівневе узагальнення значення оцінок кожного проекту  $P_i$  за всіма критеріями  $C = \{C_l\}$  для кожної ОПР  $D_t$  з урахування ваг  $W_{lt}^{norm}$  критеріїв, в результаті чого для кожного проекту  $P_i$  знаходяться  $t = \overline{1, k}$  зважених агрегованих оцінок  $A_{it}^D$ .

З цією метою для кожного структурного блоку ієрархії критеріїв будується відповідна локальна система нечіткого логічного висновку, яка

має 5-7 входів і один вихід. СНЛВ нижнього, останнього рівня має своїм виходом: *ступінь привабливості проекту* на думку ОПР  $D_t$ . Необхідно зазначити, що в СНЛВ для експертних оцінок застосовуються побудовані раніше індивідуальні когнітивні ФН, а для розрахованих числових значень відповідні наметоподібні ФН.



- -  $S_{il_1}$  експертна оцінка проекту  $P_i$  від ОПР  $D_t$  за критерієм  $C_{l_1}$ .
- -  $S_{il_2}$  числова характеристика проекту  $P_i$  за критерієм  $C_{l_2}$ .
- ▣ - агреговане значення оцінок.
- ▣ - єдина узагальнена оцінка проекту  $P_i$  – ступінь його привабливості  $A_i$ .

Рис. 9.3 Схеми послідовності подвійного агрегування оцінок проектів:  
а) яка використовується; б) запропонована

За допомогою методу  $\alpha, \beta$ -коаліцій здійснюється аналіз погодженості зважених агрегованих оцінок  $A_{it}^D$ , для чого формуються коаліції ОПР зі схожими міркуваннями (оцінками) та з подальшого розгляду видаляються оцінки експертів, що входять до несуттєвих коаліцій.

Тепер всі зважені агреговані оцінки  $A_{it}^D$ , що пройшли процедуру



аналізу погодженості, для кожного проекту  $P_i$  із урахуванням ваг експертів  $V_i^{norm}$  за допомогою методу агрегування за міжгруповим консенсусом агрегуються в єдину остаточну узагальнену оцінку  $A_i$  – ступінь привабливості проекту.

**Пошук рішення.** Даний етап полягає у розв’язанні однокритеріальної задачі вибору проектів  $P_i$  за узагальненими оцінками  $A_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  та призводить до добору тих проектів, які максимізують ефективність виділення їм ресурсів, що розподіляються, та задовольняють ресурсному обмеженню  $B$ .

За узагальненими оцінками  $A_i$  проектів  $P_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  та наявними обмеженнями формулюється однокритеріальна задача оптимізації, розв’язання якої приводить до остаточного результату – розв’язання первісної задачі розподілу ресурсів і вибору варіантів.

Зазначена однокритеріальна задача формулюється в залежності від конкретної проблеми і може бути розв’язана за тим чи іншим підходом до розв’язання класичних задач лінійного програмування дослідження операцій. Для задач великої розмірності пропонується застосовувати еволюційні алгоритми. Ефективність даного підходу підтверджена численними прикладами.

Створена методологія розподілу ресурсів і вибору варіантів розроблена на принципах системності і має такі переваги: ґрунтується на спеціально розроблених методах аналізу даних, що виявляють ефективність і результативність, „прозорість” процедур для ОПР, враховують комплекс умов системної невизначеності, передбачають безпосереднє залучення експертів до процесу розв’язання задачі і врахування їх особистих уподобань та переваг, оперують кількісними і якісними даними. Крім цього, розроблена методологія є інваріантною до параметрів і обмежень задачі, масштабною та зручною для практичного використання.

## **9.2 Застосування апарату нечіткої логіки та теорії нечітких множин в СППР**

У випадках системної невизначеності, що пов’язана з нечіткими, неточними, розпливчастими властивостями процесів як, наприклад, за наявності інформаційної, ситуаційної і стратегічної невизначеностей, де не завжди можливо коректно застосувати існуючі детерміновані методи, користуються підходами до формального опису невизначених, неточних і ненадійних факторів, зокрема, до формального представлення якісних експертних оцінок. Дослідження виявили, що у мисленні людини використовуються не числа, а образи і слова [41, 61], тому відповіді

експертів у процедурах експертного опиту, тобто експертні оцінки, є якісними, що являють собою такі об'єкти нечислової природи, як градації якісних ознак, ранжирування, розбивки, результати парних порівнянь, нечіткі переваги, тощо [41, 61]. У такому разі невизначені якісні поняття представляють у вигляді інтервальних чисел або об'єктів багатозначних логік. Найбільш поширені підходи: апарат інтервальних чисел, нечітка логіка (НЛ), що ґрунтується на теорії нечітких множин (ТНМ) та логіка антонімів. Неперервнозначні чи багатозначні логіки нечітка логіка та логіка антонімів оперують приблизними міркуваннями – вони розширені від класичної Булевої логіки до обробки понять часткової істинності між “повністю хибний” до “повністю істинний”.

У задачах, в яких використовують інтервальні числа, недетерміновані коефіцієнти та невідомі постають у вигляді замкнених інтервалів можливих значень, наприклад,  $\tilde{c}_i = [c_i^l, c_i^r]$  та  $\tilde{x}_i = [x_i^l, x_i^r]$ . Такі задачі іноді розв'язують за допомогою методу імовірнісного аналізу, де інтервальне число розглядають як випадкову величину з рівномірним розподілом; або найчастіше вирішують «безпосередньо», користуючись теорією інтервальних чисел. У такому випадку інтервальну задачу методом детермінації [33] зводять до двох аналогічних задач, які визначають нижню та верхню границі вектора невідомих. Цей метод базується на теорії порівняння інтервальних чисел [33], за якою порівняння таких чисел розглядається як порівняння їх відповідних границь – нижньої та верхньої.

Для оперування як кількісними і якісними поняттями в реальних задачах, що розв'язуються за допомогою СППР, пропонується використання апарату нечіткої логіки та теорії нечітких множин, які, у найкращий спосіб є застосовними і прийнятними для класу задач розподілу ресурсів і вибору варіантів, що розглядається.

Доцільно зазначити, що виходячи з публікацій у доступних джерелах, серед неперервнозначних логік у світі немає рівних нечіткій логіці Л.Заде, як за ступенем розробленості, так і за кількістю застосувань.

Нечітка логіка і теорія нечітких множин були запропоновані Л.Заде [70] у 1965р. Назва «нечітка логіка» припускає, що ця логіка оперує наближеними поняттями; це робить її подібною до людських міркувань. Функціонал істинності в НЛ приймає значення з відрізка  $[0, 1]$ .

Нехай  $X$  – область визначення змінної  $x$ . Нечітка множина  $\tilde{A}$ , що належить  $X$ , визначається функцією належності  $\mu_{\tilde{A}} : X \rightarrow [0, 1]$  [69, 70, 71]. Значення функції  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  представляє собою значення належності величини  $x$  множині  $\tilde{A}$ . Нечітка множина  $\tilde{A}$  у загальному випадку може бути графічно проілюстрована як зображено на рис. 9.4.

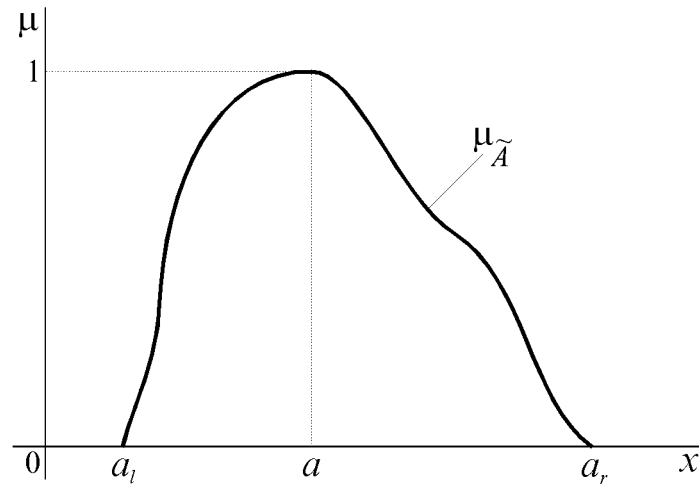


Рис. 9.4 Графічне зображення нечіткої множини  $\tilde{A}$

Носієм нечіткої множини  $\tilde{A}$  є звичайна множина з  $x \in X$ , для яких  $\mu_{\tilde{A}}(x) > 0$ , тобто інтервал  $[a_l, a_r]$  є носієм нечіткої множини  $\tilde{A}$ . Нечітка множина  $\tilde{A}$  є пустою, якщо  $\forall x \in X \quad \mu_{\tilde{A}}(x) = 0$ . Величина  $\mu_{\tilde{A}}(a) = \sup_{x \in X} \mu_{\tilde{A}}(x)$  називається висотою нечіткої множини  $\tilde{A}$ . Нечітка множина  $\tilde{A}$  є нормальною, якщо її висота дорівнює 1, тобто  $\sup_{x \in X} \mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ , та субнормальною при  $\sup_{x \in X} \mu_{\tilde{A}}(x) < 1$ . Нечітка множина  $\tilde{A}$  є унімодальною, якщо  $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$  лише для одного  $x \in X$ . Елементи  $x \in X$ , для яких  $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0,5$  називаються точками переходу нечіткої множини  $\tilde{A}$ .

Нечіткі множини часто характеризують ФН трикутного вигляду (рис. 9.5) та дзвоноподібного вигляду (рис. 9.6). Найбільш поширене застосування набула трикутна симетрична ФН (рис. 9.5), графік якої представляє собою рівнобедрений трикутник. Такий вибір спричинений легкістю сприйняття таких ФН при дослідженні задач прийняття рішень та простотою їх практичного застосування у обчислювальних алгоритмах.

Нечітка множина  $\tilde{A}$  на інтервалі  $[a_l, a_r]$  з ФН трикутного вигляду може бути параметризована трійкою чисел:  $\tilde{A} = (a_l, a, a_r)$ , тобто

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x - a_l)/(a - a_l), & a_l \leq x \leq a, \\ (x - a_r)/(a - a_r), & a \leq x \leq a_r, \\ 0, & \text{інакше.} \end{cases} \quad (9.3)$$

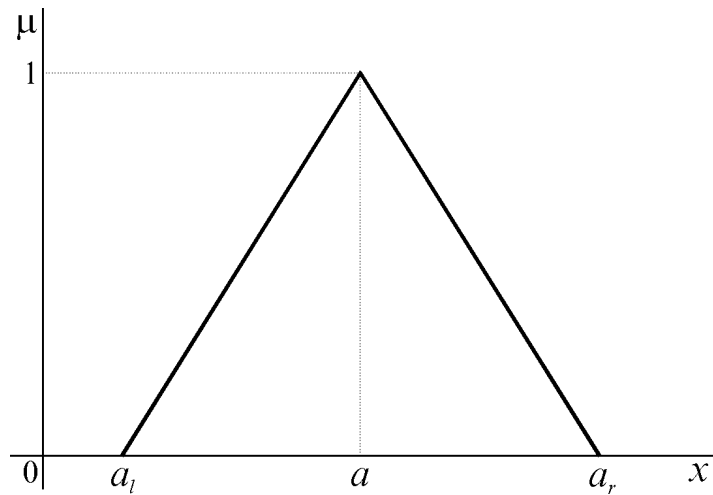


Рис. 9.5 Графік функції належності трикутного вигляду

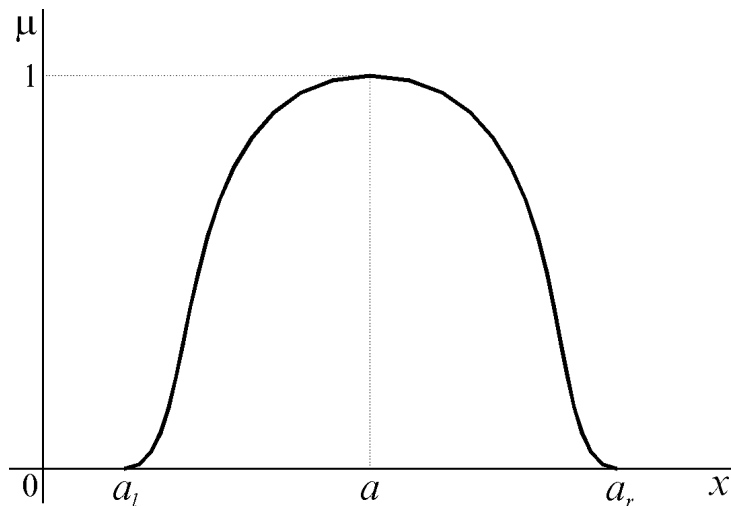


Рис. 9.6 Графік функції належності дзвоноподібного вигляду

Параметри трійки  $\tilde{A} = (a_l; a; a_r)$  мають таке призначення: параметр  $a$  визначає максимально можливий ступінь приналежності, тобто  $\mu_{\tilde{A}}(a) = 1$ , параметри  $a_l, a_r$  представляють собою ліву і праву границю носія нечіткої множини. Так, для точного значення числа  $a$  можна записати, що  $\tilde{A} = (a; a; a)$ .

### Система нечіткого логічного висновку

Нечіткий логічний висновок визначає відображення вектора вхідних даних в скалярне вихідне значення за допомогою нечітких правил. Систему НЛВ з багатовимірним виходом розглядають як набір незалежних

систем НЛВ з одновимірними виходами.

Як показано на рис. 9.7, система НЛВ складається з трьох основних компонентів: фазифікатора, механізму формування логічного висновку та дефазифікатора.

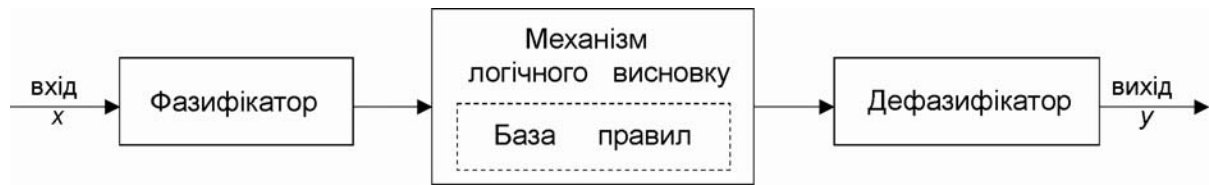


Рис. 9.7 Загальна схема системи нечіткого логічного висновку

*Фазифікатор* визначає ступінь належності вхідних значень  $x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  до нечітких множин входу – лінгвістичних змінних з відповідної лінгвістичної шкали  $T_{x_i} = \{T_{x_i}^1, T_{x_i}^2, \dots, T_{x_i}^{m_{x_i}}\}$ , де  $m_{x_i}$  – кількість лінгвістичних змінних у шкалі для  $i$ -того входу, яка, як правило, є рівною для всіх входів. Ця процедура зумовлена використанням у системі НЛВ лінгвістичних правил, вона здійснюється задля визначення ступеню істинності кожної передумови кожного правила.

Ядром механізму логічного висновку є база правил, яка містить лінгвістичні правила. Ці правила можуть бути задані експертним шляхом, чи отримані із числових статистичних даних. Механізм логічного висновку відображає вхідні нечіткі множини  $T_{x_i}^{any}$ ,  $i = \overline{1, n}$  кожного правила у вихідну  $T_y^{any}$  з набору вихідних лінгвістичних змінних  $T_y = \{T_y^1, T_y^2, \dots, T_y^{m_y}\}$ . Відмінною рисою НЛВ є те, що порядок виконання правил не впливає на результат – правила виконуються паралельно. Правила в базі правил  $Rules = \{Rule_j\}$ ,  $j = \overline{1, r}$  містяться у такому форматі [56]:

$$Rule_j = \text{"якщо } x_1 \in T_{x_1}^{any} \text{ і } x_2 \in T_{x_2}^{any} \dots \dots \text{ і } x_n \in T_{x_n}^{any}, \text{ то } y^j \in T_y^{any} \text{"} \quad (9.4)$$

Далі вихідні нечіткі множини  $y^j$  кожного правила об'єднуються в одну нечітку множину висновку  $\tilde{y}$ .

*Дефазифікатор* відображає нечітку множину висновку  $\tilde{y}$  у чітке число  $\bar{y}$ , яке і є результатом системи НЛВ для заданих вхідних значень  $x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ . Тобто діапазон вихідних значень дефазифікатор перетворює в одне

числове значення зручне для подальшого використання.

На практиці користуються такими поширеними методами дефазифікації [56, 71]: центроїдний, методи максимуму, метод центру максимумів, висотна дефазифікація.

*Центроїдний метод* (рис. 9.8) полягає у знаходженні центру ваги (центроїду), який і обирається за результат  $\bar{y}$ . Для безперервно та дискретно заданих нечітких множин, відповідно:

$$\bar{y} = \frac{\int_a^b y\mu(y)dy}{\int_a^b \mu(y)dy}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i\mu(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(y_i)}. \quad (9.5)$$

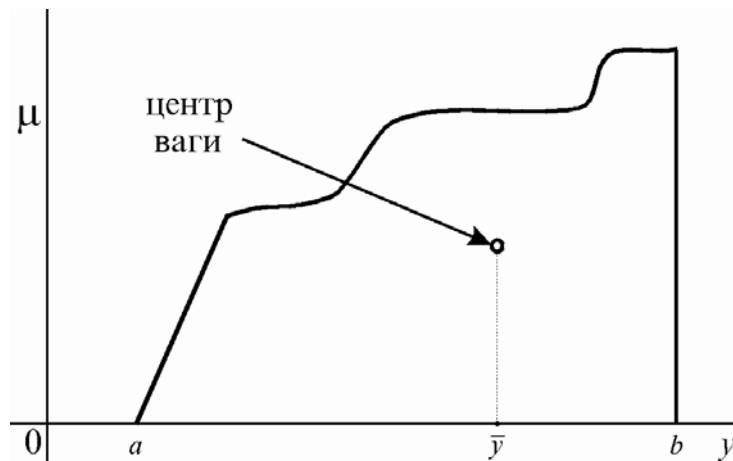


Рис. 9.8 Дефазифікація центроїдним методом

*Методи максимуму*, які графічно показані на рис. 9.9, полягають у виборі чіткого результату  $\bar{y}$  серед тих значень, для яких ступінь належності  $\mu(y)$  є найбільшою. Серед методів максимуму найпоширеніші: метод першого максимуму та метод середнього максимуму.

У *методі першого максимуму* чітке значення  $\bar{y}$  знаходять як найменше значення, при якому досягається найбільше значення ступеню належності  $\mu(y)$ :

$$\bar{y} = \min \left( y \mid \max_{[a, b]} \mu(y) \right), \quad (9.6)$$

тобто  $\bar{y} = \min_{[a_1, b_1]}(y) = a_1$ .

У методі середнього максимуму чітке значення  $\bar{y}$  знаходять, відповідно, як середнє значення з тих, при яких досягається найбільше значення ступеня належності  $\mu(y)$ . (Середній максимум на рис. 9.9 позначено через  $\bar{y}_a$ .) Для безперервно та дискретно заданих нечітких множин відповідно маємо:

$$\bar{y} = \frac{\int_{a_1}^{b_1} y dy}{\int_{a_1}^{b_1} dy}, \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i, \quad y_i \in [a_1, b_1]. \quad (9.7)$$

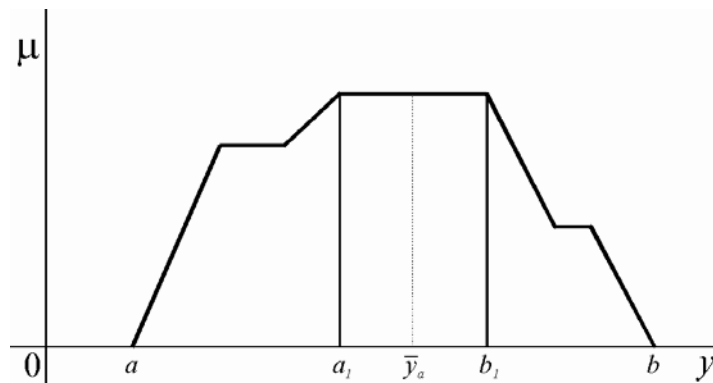


Рис. 9.9 Дефазифікація методами максимумів

Вихід методів максимумів дуже чутливий до домінуючого правила у базі правил.

У методі центра максимумів виходом  $\bar{y}$  – це середня точка між центрами областей значень  $y$ , при яких функція належності  $\mu(y)$  утворює найвищі «плато». Застосування даного методу зображено на рис. 9.10.

Метод висотної дефазифікації [56] полягає у знаходженні центроїду нечіткої множини  $\alpha$ -рівня  $\tilde{y}_\alpha$ , тобто з нечіткої множини виходу  $\tilde{y}$  до уваги приймаються лише ті значення, для яких  $\mu(y) \geq \alpha$ ,  $0 \leq \alpha \leq 1$ . Для безперервного та дискретного випадку нечітких множин відповідно:

$$\bar{y} = \frac{\int_{y \in \tilde{y}_\alpha} y \mu(y) dy}{\int_{y \in \tilde{y}_\alpha} \mu(y) dy}, \quad \tilde{y}_\alpha = \{y \mid \mu(y) \geq \alpha\}, \quad 0 \leq \alpha \leq 1; \quad (9.8)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \mu(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(y_i)}, \quad y_i \in \tilde{Y}_\alpha = \{y \mid \mu(y) \geq \alpha\}, \quad 0 \leq \alpha \leq 1. \quad (9.9)$$

При  $\alpha = 0$  з методу висотної дефазифікації (9.8), (9.9) виходить центроїдний метод (9.5).

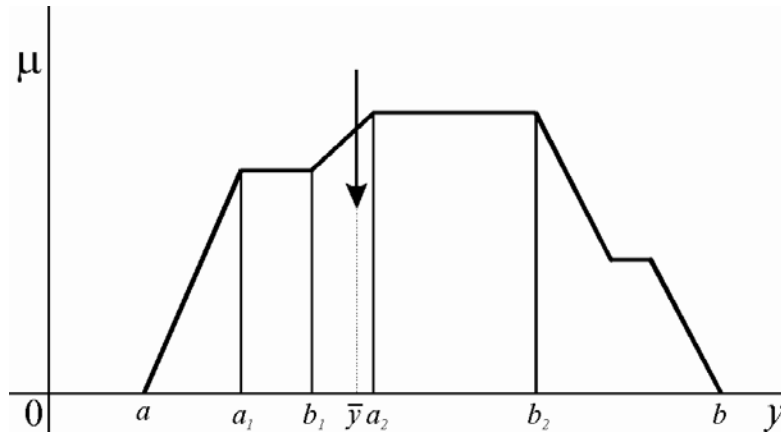


Рис. 9.10 Дефазифікація методом центра максимумів

У сучасній теорії розроблено декілька модифікацій процесу формування нечіткого логічного висновку. Розглянемо найпоширеніші з них.

Нечіткий логічний вивід *Мамдані* [60]. База правил  $\text{Rules} = \{Rule_j\}$ ,  $j = \overline{1, r}$  складається з правил у вигляді (9.4). На етапі фазифікації визначаються ступені належності вхідних значень  $x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  до нечітких множин входу, тобто визначаються ступені істинності  $\mu_i^j(x_i)$  для кожної передумови  $i$  кожного правила  $j$ . Далі для кожного правила  $j$  на основі ступенів істинності передумов  $\mu_i^j$  розраховується ступінь його виконання  $\alpha_j$ . Для цього застосовують композицію на основі оператора мінімуму:

$$\alpha_j = \min(\mu_1^j(x_1), \mu_2^j(x_2), \dots, \mu_n^j(x_n)), \quad j = \overline{1, r}. \quad (9.10)$$

Далі для кожного правила на основі ступеню виконання  $\alpha_j$ ,  $j = \overline{1, r}$  виконується імплікація, тобто розраховується результат його виконання – вихідна нечітка множина із зрізаною функцією належності  $\check{\mu}^j(y)$ ,



визначення якої також відбувається за допомогою оператора мінімуму:

$$\ddot{\mu}^j(y) = \min(\alpha_j, \mu^j(y)), \quad j = \overline{1, r}. \quad (9.11)$$

Наприкінці механізму логічного висновку вихідні нечіткі множини виконаних правил за допомогою оператора максимуму агрегуються в нечітку множину висновку  $\tilde{y}$ , функція належності якої має такий вигляд:

$$\mu_{\tilde{y}} = \max(\ddot{\mu}^1(y), \ddot{\mu}^2(y), \dots, \ddot{\mu}^r(y)). \quad (9.12)$$

На останньому етапі приведення до чіткості для знаходження остаточного результату  $\bar{y}$  користуються будь-яким з наведених вище методів дефазифікації. Нечіткий логічний вивід Мамдані для системи НЛВ з двома входами та двома виконаними правилами графічно ілюструє рис. 9.11.

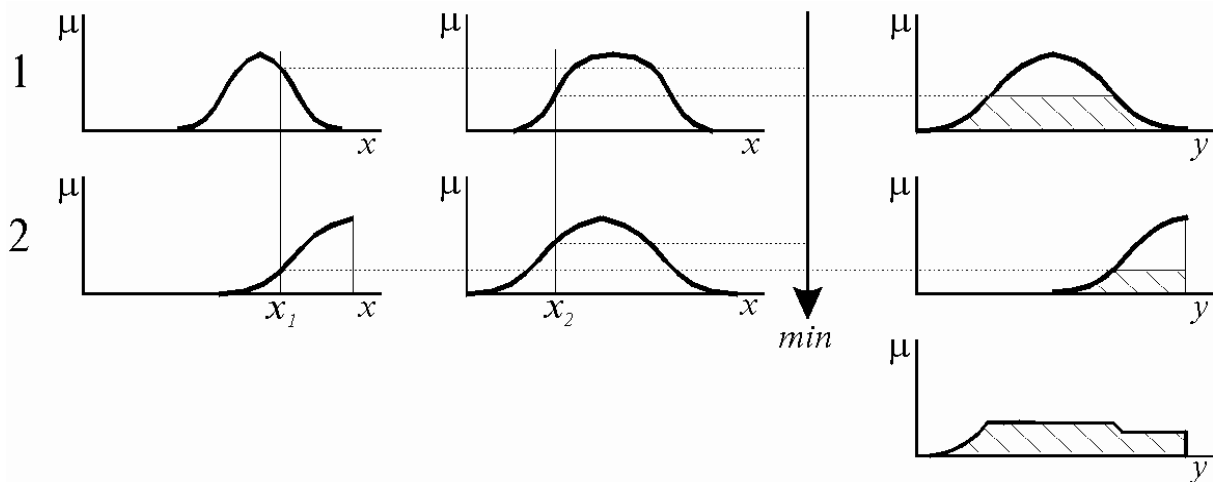


Рис. 9.11 Ілюстрація нечіткого логічного висновку Мамдані

Нечіткий логічний висновок *Ларсена* [57]. Підхід Ларсена цілком аналогічний до підходу Мамдані, але ФН  $\ddot{\mu}^j(y)$  результату виконання кожного правила розраховується на основі оператора добутку, на відміну від використання оператора мінімуму в (9.11):

$$\ddot{\mu}^j(y) = \alpha_j \cdot \mu^j(y), \quad j = \overline{1, r}.$$

Агрегування вихідних нечітких множин виконаних правил в нечітку множину висновку  $\tilde{y}$  також відбувається за (9.12).

Графічний приклад процедури нечіткого логічного висновку Ларсена

показаний на рис. 9.12.

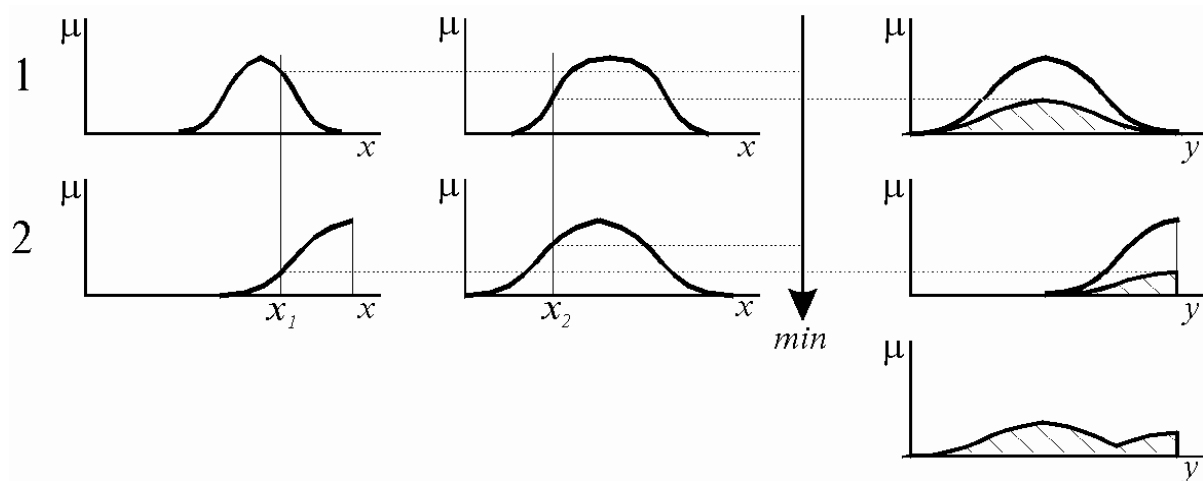


Рис. 9.12 Ілюстрація нечіткого логічного висновку Ларсена

Нечіткий логічний висновок *Цукамото* [4]. Початкові ідеї такі, як у підходах Мамдані та Ларсена, але вважається, що ФН вихідних нечітких множин  $T_y^{anu}$  є монотонними. У механізмі логічного висновку, як у Мамдані, для кожного правила спочатку розраховується ступінь його виконання  $\alpha_j$  за (9.10), а потім відразу знаходиться чітке значення  $\bar{y}^j$  результату його виконання. Чітке значення  $\bar{y}^j$  є тим, при якому ступінь належності  $\mu^j(y)$  вихідної нечіткої множини правила дорівнює ступеню його виконання  $\alpha_j$ , та знаходиться як розв'язання відповідного рівняння:

$$\bar{y}^j = \{y \mid \alpha_j = \mu^j(y)\}, \quad j = \overline{1, r}. \quad (9.13)$$

Остаточний результат логічного висновку  $\bar{y}$  розраховується як зважене середнє чітких результатів  $\bar{y}^j$  виконаних правил, тобто за дискретним варіантом центроїдного методу (9.5):

$$\bar{y} = \frac{\sum_{j=1}^r \alpha_j \cdot \bar{y}^j}{\sum_{j=1}^r \alpha_j}. \quad (9.14)$$

Процедуру нечіткого логічного висновку Цукамото ілюструє рис. 9.13.

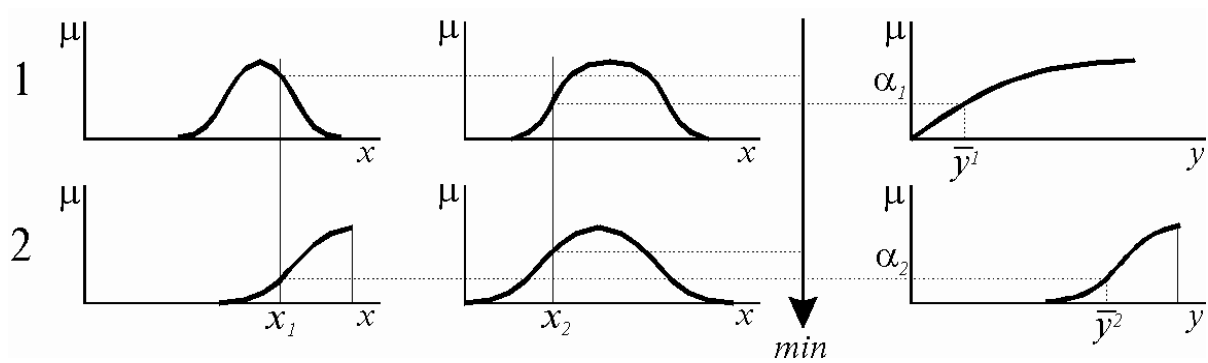


Рис. 9.13 Ілюстрація нечіткого логічного висновку Цукамото

Нечіткий логічний вивід *Сугено* [67]. База правил  $Rules = \{Rule_j\}$ ,  $j = \overline{1, r}$  складається з правил, у яких виходом є чітке значення, що визначається лінійною функцією:

$$\begin{aligned}
 Rule_j = & \text{" якщо } x_1 \in T_{x_1}^{any} \text{ і } x_2 \in T_{x_2}^{any} \dots \\
 & \dots \text{ і } x_n \in T_{x_n}^{any}, \text{ то } \overline{y^j} = \sum_{i=1}^n a_i^j x_i + c^j \text{ " ,} \quad (9.15)
 \end{aligned}$$

де  $a_i^j$  ( $i = \overline{1, n}$ ),  $c^j$  – константи.

Етап фазифікації такий, як у нечіткому висновку Мамдані. У механізмі логічного висновку для кожного правила розраховується ступінь його виконання  $\alpha_j$  за (9.10), а потім відразу знаходиться чітке значення  $\overline{y^j}$  результату його виконання, але, на відміну від Цукамото (9.13), без врахування знайдених ступенів виконання правил  $\alpha_j$ , а за формулою, що задана в кожному правилі (9.15).

Остаточний результат логічного висновку  $\overline{y}$  розраховується у той самий спосіб, що у Цукамото – як зважене середнє чітких результатів  $\overline{y^j}$  виконаних правил (9.14). На рис. 9.14 проілюстровано приклад застосування процедури нечіткого логічного висновку Сугено.

*Спрощений нечіткий логічний висновок* [67]. Даний метод по суті є методом нечіткого логічного висновку Сугено нульового порядку, тобто використовується метод Сугено з базою правил, в якій виходом кожного правила є чітке значення, що визначається константою:

$$Rule_j = " \text{якщо } x_1 \in T_{x_1}^{any} \text{ і } x_2 \in T_{x_2}^{any} \dots \\ \dots \text{ і } x_n \in T_{x_n}^{any}, \text{ то } \bar{y}^j = c^j " ,$$

де  $c^j$  – константа. Графічно процедура спрощеного нечіткого логічного висновку показана на рис. 9.15.

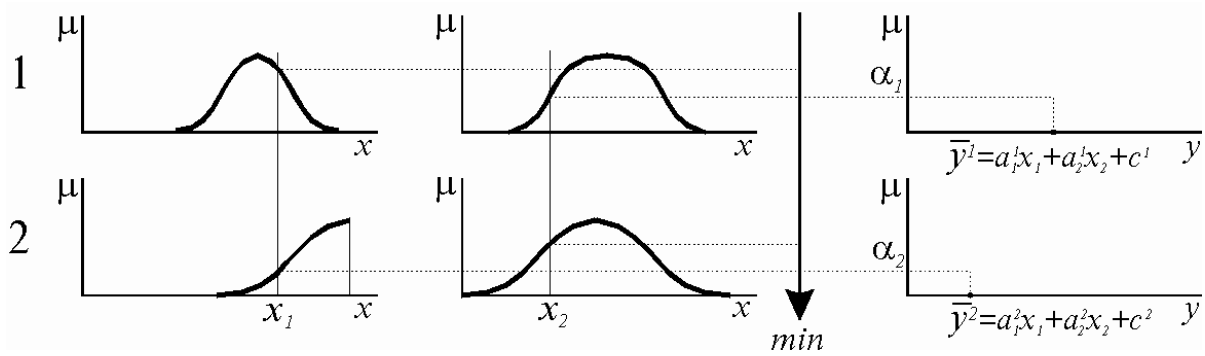


Рис. 9.14 Ілюстрація нечіткого логічного висновку Сугено

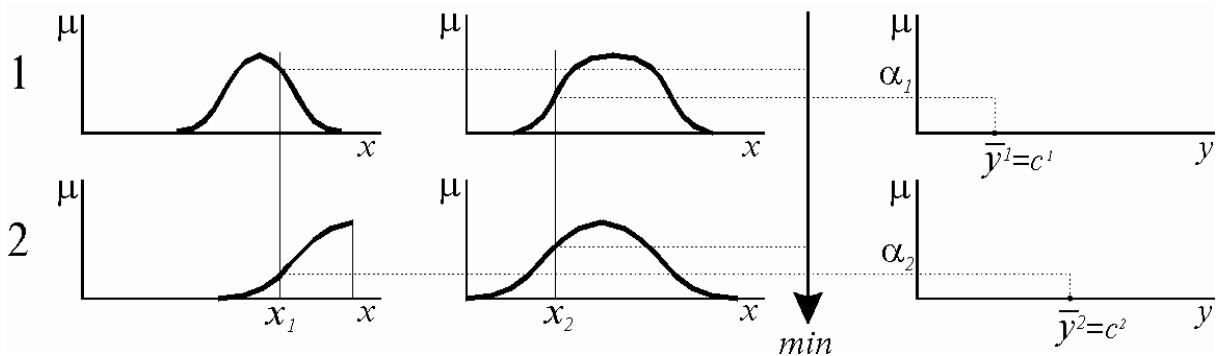


Рис. 9.15 Ілюстрація спрощеного нечіткого логічного висновку

### 9.3 Експертне оцінювання варіантів

Як показано вище, оцінки проектів умовно поділяються на дві підмножини – розраховані числові характеристики проектів та експертні оцінки від ОПР. Числові характеристики є супровідними до кожного проекту, проте як механізми одержання експертних оцінок потребують додаткового аналізу і розробки відповідного інструментарію.

Застосування підходу лінгвістичних змінних [21], що розроблений на теорії нечітких множин [69, 71], і також запроваджений Л. Заде надає широкі можливості для опису та оперування якісними нечіткими та невизначеними поняттями, що не можуть бути описані у рамках традиційних математичних формалізмів. Значеннями лінгвістичних

змінних, що постають нечіткими множинами, є слова або фрази повсякденної або синтезованої мови. Лінгвістичні змінні в задачах прийняття рішень досить часто характеризують саме трикутними функціями належності (9.3).

Наприклад, таку характеристику деякого проекту як «важливість» можна оцінити значенням лінгвістичної змінної  $Imp$  з такого набору:

$$Imp = \{EN, N, M, I, EI\}, \quad (9.16)$$

де  $EN$  = «зовсім не важливий»;  $N$  = «важливість нижче середнього»;  $M$  = «середньої важливості»;  $I$  = «важливий»;  $EI$  = «надзвичайно важливий».

Якщо значення даної лінгвістичної змінної  $Imp$  характеризувати на числовому відрізку  $[1, 5]$  нечіткими множинами з трикутною ФН, то їх можна представити таким чином:  $EN = (1; 1; 2)$ ,  $N = (1; 2; 3)$ ,  $M = (2; 3; 4)$ ,  $I = (3; 4; 5)$ ,  $EI = (4; 5; 5)$ . Графічна інтерпретація нечітких множин значень лінгвістичної змінної  $Imp$ , за якою оцінюється важливість проекту, наведена на рис. 9.16.

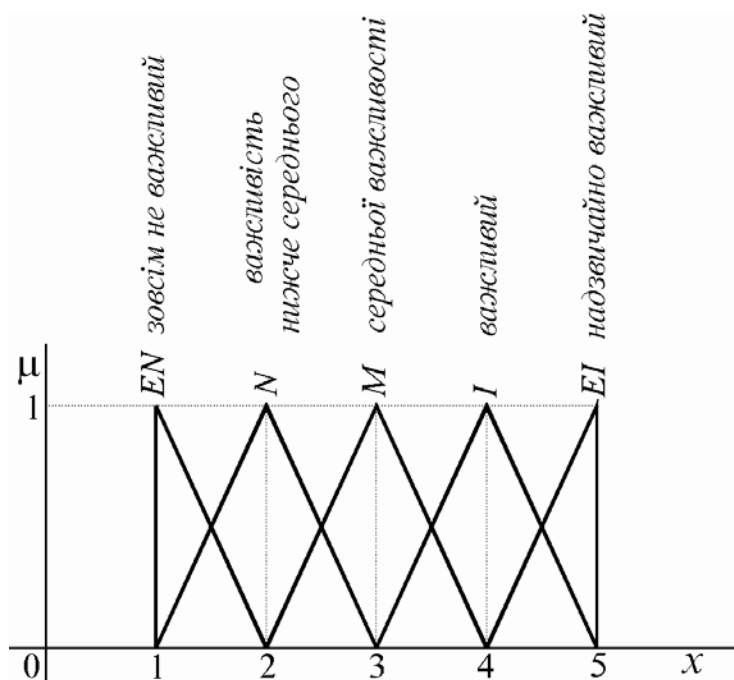


Рис. 9.16 Нечіткі множини значень лінгвістичної змінної  $Imp$

Таким чином, за лінгвістичним підходом для надання експертних оцінок проектів ОПР вибирають значення з множини нечітких лінгвістичних змінних.

Однак, практичні дослідження виявили, що за таким підходом для даного класу задач ОПР надають достатньо грубі оцінки ситуацій, проектів і процесів, що зменшує реалістичність експертних оцінок, та у значній мірі негативно впливає на якість отриманого рішення [37]. Наприклад, при наданні якісних оцінок двом проектам за характеристикою «важливість» вибором значення лінгвістичної змінної із наведеної п'ятибальної шкали лінгвістичних змінних (9.4) ОПР змушена надати цим проектам однакові оцінки  $I = \text{«важливий»}$ , хоча, у дійсності, могла би надати перевагу другому проекту, наприклад, оцінку  $VI = \text{«дуже важливий»}$ ,  $VI = (3,5; 4,5; 5)$ , яка знаходилась би між змінними  $I = \text{«важливий»}$  та  $EI = \text{«надзвичайно важливий»}$ .

Збільшення кількості значень наведеної шкали лінгвістичних змінних в деякій мірі збільшує реалістичність експертних оцінок, але не вирішує дану проблему внаслідок того, що градація значень по шкалі лінгвістичних змінних, як правило, відбувається у рівномірний спосіб [21, 71]. Крім того, велика кількість значень у шкалі лінгвістичних змінних може спричинити внутрішній опір у багатьох ОПР [41, 69] під час надання оцінок.

Доцільним виявляється підхід одержання якісних нечітких експертних оцінок, який полягає у ранжируванні оцінок на неперервному числовому відрізку та подальшій їх фазифікації – перетворенні у нечіткі множини [21, 38]. За таким підходом ОПР для надання якісних експертних оцінок характеристик проекту чи деякого об'єкту чи процесу використовує прийом геометричного позиціонування показчика між крайніми полярними значеннями, тобто між точками  $\min$  та  $\max$ , які є мінімально та максимально можливими значеннями оцінок, як зображено на рис. 9.17.



Рис. 9.17 Геометричний спосіб визначення оцінок

У такий спосіб відбувається фактичне ранжирування оцінок на неперервному числовому відрізку  $[\min, \max]$ , а далі здійснюється перетворення наданих у такий спосіб ОПР значень у нечіткі множини, які і постають якісними експертними оцінками. Визначення нечіткої множини якісної експертної оцінки  $\tilde{E}$  при використанні, наприклад, трикутної ФН (9.3) здійснюється таким чином:

$$\tilde{E} = \begin{cases} (\min; e; e+c), & \text{якщо } (e-c) < \min, \\ (e-c, e, \max), & \text{якщо } (e+c) > \max, \\ (e-c, e, e+c), & \text{інакше,} \end{cases} \quad c = \frac{\max - \min}{n-1}, \quad n > 1,$$

де  $e$  – дійсне значення позиції покажчика, яка обрана ОПР, на неперервному числовому відрізку  $[\min, \max]$ ;  $c$  – допоміжний коефіцієнт;  $n$  – ціле значення потенційної лінгвістичної потужності числового відрізка  $[\min, \max]$ .

Значення  $n$ , що є числом значень шкали лінгвістичних змінних, використовується для визначення розміру носія нечіткої множини оцінки за лінгвістичною змінною, яка характеризується на відрізку  $[\min, \max]$ . Необхідно зазначити, що кількість градацій  $n$  лінгвістичної шкали експертного оцінювання доцільно формувати у відповідності до числа Міллера, що дорівнює  $7 \pm 2$  [22]. Чим більше значення  $n$ , тим коротшим буде відрізок носія нечіткої множини оцінки.

Наприклад, якщо ОПР виставила покажчик на позицію, яка відповідає значенню  $e = 4,2$ , мінімальному можливому значенню  $\min$  відповідає значення 1, а максимальному  $\max$  відповідно 5. Тому можливу кількість значень  $n$  шкали лінгвістичних змінних покладемо 5 і якісній експертній оцінці буде відповідати нечітка множина  $\tilde{E}$ , яка характеризується, при використанні трикутної ФН (9.3), так  $\tilde{E} = (3,2; 4,2; 5)$ .

За дослідженнями Норвича і Турксена [69] геометричний підхід виявляється дуже легким, не сприяє запам'ятовуванню попередніх оцінок, не збуджує внутрішнього опору у ОПР, дозволяє одержувати реалістичні, більш точні якісні експертні оцінки об'єктів та процесів, зокрема проектів, і значно поліпшує якість отриманих рішень в задачах прийняття рішень, зокрема в задачах розподілу інвестиційних ресурсів.

У більшості існуючих нечітких моделей для прийняття рішень відсутнє обґрунтування вибору функції належності нечітких понять [4, 57, 60, 69]. В силу простоти застосування в них зазвичай використовуються ФН симетричного трикутного вигляду (9.3), в якій центральне значення  $a$  нечіткої множини  $\tilde{A}$  є середнім значенням інтервалу-носія  $[a_l, a_r]$ . Рідше користуються дзвоноподібними (рис. 9.6) і гаусовими ФН, хоча їх практичне застосування також виявляється відносно простим і зручним. Проте такий вибір на користь трикутних чи дзвоноподібних ФН, як правило, не сприяє підвищенню якості рішення.

Розглянемо проблему вибору ФН нечітких оцінок критеріїв проекту в задачі розподілу ресурсів. Виконані експерименти з різноманітними ФН, у тому числі і з трикутними та дзвоноподібними, що набули широкого застосування, виявляють залежність якості прийнятого рішення від виду та вигляду ФН, що підкреслює значущість та актуальність даної проблеми. Однак, встановити характер залежності, який дозволить розробити загальну методику вибору тієї чи іншої ФН неможливо. У деяких

випадках, при стійкості рішення до змін ФН, незмінною залишається послідовність остаточного ранжирування проектів  $P_i, i = \overline{1, n}$  за узагальненим критерієм, проте чисельна оцінка проектів за цим критерієм змінюється в залежності від ФН. У цьому випадку для задач простого вибору найбільш привабливого проекту  $P^{opt}$  з множини альтернатив  $P$  за узагальненим критерієм вигляд ФН не впливає на прийняте рішення. А для задач розподілу інвестицій з обмеженнями, вибір ФН виявляється критичним.

Виділяють дві групи методів побудови функцій належності: *прямі* та *непрямі*.

В прямих методах безпосередньо задаються правила визначення значень ФН. До прямих методів належать завдання ФН за допомогою таблиці, формули чи прикладу [4, 56, 57, 60]. Як правило, прямі методи побудови ФН застосовують для вимірних понять, таких як час, рентабельність, доход та інші, або коли виділяються полярні значення. У багатьох об'єктів в задачах прийняття рішень можливо встановити набір ознак, для яких можна виділити полярні значення, що відповідають значенням функції належності 0 та 1.

Непрямі методи побудови ФН використовують у випадках, коли не існує елементарних вимірних властивостей, через які визначається нечітка множина, що розглядається [69]. У непрямих методах значення ФН обирається таким чином, щоб задовольнялись заздалегідь сформульовані додаткові умови. Додаткові умови можуть накладатись як на вид одержуваної інформації, так і на процедуру її обробки. Наприклад, додаткові умови можуть бути такими: ФН повинна відображати близькість до заздалегідь виділеного еталону; об'єкти множини є точками у параметричному просторі [56, 69, 71]; ФН задовольняє умовам інтервальної шкали [33]; умови оцінювання об'єктів при попарному порівнянні [69] тощо. Непрямі методи побудови ФН при практичній реалізації виявляються трудомісткішими ніж прямі методи.

В задачах розподілу інвестиційних ресурсів існує два способи одержання нечітких оцінок параметрів інвестиційних проектів: експертні оцінки, що надаються ОПР, та як результат обробки чітких розрахованих числових характеристик проектів. В основі обох способів полягає необхідність визначення та побудови ФН нечітких множин.

### **Когнітивні функції належності та метод їх побудови**

При розробці та застосуванні системи підтримки прийняття рішень з розподілу ресурсів, істотно, що найкращим рішенням задачі буде таке, яке у найбільшій мірі відповідає логіці міркувань ОПР. Дослідження виявляють, що ОПР через суб'єктивне сприйняття нерідко спотворюють



оцінки, наприклад, зрушують їх у напрямках кінців оціночної шкали [41, 61, 69], що може спричиняти порушення правил, визначених у концепції лінгвістичних змінних [21]. Результати досліджень зумовили активний розвиток напрямку розробки методів підтримки прийняття рішень, які враховують характеристики та особисті переваги ОНР. Крім цього, при побудові системи підтримки прийняття рішень з розподілу ресурсів, особливо інвестиційних, також необхідно приймати до уваги підвищену відповідальність ОНР за прийняте рішення, тому для нечітких оцінок ОНР пропонується використовувати ФН, що відповідають аналітичним моделям ОНР. Тобто, пропонується для суб'єктивних оцінок, які надає кожна ОНР, визначати індивідуальну ФН. Таким чином буде здійснено «калібрування» системи підтримки прийняття рішень під множину ОНР.

В літературі з математичної психології можна зустріти розгляд методів шкалювання суб'єктивного сприйняття властивостей [21, 41, 61, 71]. Кожний з них має свої переваги та недоліки, але всі вони достатньо складні та трудомісткі при практичному застосуванні.

Розглянемо евристичний підхід до побудови ФН нечітких оцінок, що оснований на дослідженнях Норвича і Турксена [69] та полягає у складанні кожною ОНР  $D_t$  з групи всіх ОНР  $D = \{D_t\}$  спеціально розробленого тесту, який дозволяє виявити індивідуальне сприйняття ОНР. За результатами складання тесту будується індивідуальна ФН  $F_t^D$  для кожної ОНР  $D_t$ , яка потім узагальнюється на всю множину оцінок, що надаються даною ОНР  $D_t$ .

Тест базується на «калібруючій» вибірці, відносно якої ОНР формулює свої переваги, і таким чином виявляється її індивідуальне сприйняття. Вибірка складається з більш ніж 20 понять: істотних зовнішніх подразників ОНР; характеристик об'єктів і явищ реального світу; абстрактних якісних понять тощо.

Визначення індивідуальних властивостей у мисленні ОНР відбувається за трьома методами [69]: методом прямого оцінювання, методом зворотного оцінювання та методом відносного оцінювання.

*Метод прямого оцінювання.* ОНР  $D_t$  пропонують оцінку належності  $\mu$  властивості  $\pi$  об'єкту  $O$ , тобто вказати ступінь згоди з тим, що « $O$  має властивість  $\pi$ ».

*Метод зворотного оцінювання.* ОНР  $D_t$  повідомляється оцінка належності  $\mu$  властивості  $\pi$  деякому об'єкту, та пропонується обрати об'єкт  $O$ , котрий, на погляд ОНР, має властивість  $\pi$  зі ступенем  $\mu$ .

*Метод відносного оцінювання.* ОНР  $D_t$  надає оцінку належності  $\mu_\alpha$  властивості  $\pi$  об'єкту  $O_\alpha$  по відношенню до оцінки належності  $\mu_\beta$

властивості  $\pi$  об'єкту  $O_\beta$ .

Запитання тесту пропонуються у випадковому порядку за різними методами. ОПР надає оцінки у тому числі і за допомогою запропонованого вище геометричного прийому (рис. 9.17). За результатами порівнянь відповідей ОПР з еталонними визначається *індивідуальна ФН*  $F_t^D$  ОПР  $D_t$ , тобто ФН її нечітких експертних оцінок [37].

Процедури зазначених методів для певної ОПР  $D_t$  повинні привести до тієї самої ФН, а їх спільне використання надає можливість виконувати перевірку на еквівалентність та забезпечує необхідну умову існування індивідуальної ФН оцінок ОПР. Для кожної із зазначених процедур для певної ОПР  $D_t$  повторні випробування не завжди приводять до збіжних результатів. За остаточну оцінку значення ФН в деякій точці приймається середнє чи медіана. Необхідно зазначити, що в даній ситуації може спостерігатись ефект субнормальності ФН певної ОПР  $D_t$ , тобто значення максимальної належності  $\max_{x \in X} F_t^D(x)$  менше повної належності, що

дорівнює 1. Це пояснюється тим, що при повторних пред'явленнях певного об'єкту ОПР може в деяких випробуваннях (хоча би в одному) оцінити ступінь належності деякої властивості меншим, ніж в інших. Тому часто на практиці при знаходженні середньої оцінки значення верхньої границі ФН (висоти) нечіткої множини виходить менше значення, ніж повна належність:  $\max_{x \in X} F_t^D(x) < 1$ . Отже, визначена ФН  $F_t^D$  ОПР  $D_t$

піддається такій процедурі нормування:

$$F_t^D(x) = \frac{F_t^D(x)}{\max_{x \in X} F_t^D(x)}, \quad \forall x \in X.$$

За умови, що найбільше значення  $\max_{x \in X} F_t^D(x)$  ФН приймає на деякому відрізку носія  $X$ , тобто утворюється найвище «плато», ФН піддається перетворенню, за яким найбільше значення  $\max_{x \in X} F_t^D(x)$  буде відповідати лише одному значенню  $x \in X$  – середині носія зазначеного «плато».

Під час виконання експериментальних досліджень отримано такі важливі спостереження: кожна ОПР керується своїм загальним підходом при оцінюванні різноманітних понять; ніякі два індивідууми не сприймають будь-яку властивість  $\pi \in O$  у точності однаково. Людині

притаманно не ототожнювати за значенням антонім  $antT$  деякого терму  $T$  і його заперечення  $\bar{T}$ , наприклад, якщо в якості терму взяти «високий», то його антонім «низький» не сприймається синонімом до його заперечення «невисокий» (саме ця особливість полягає в основі логіки антонімів). Ці результати підкріплюють необхідність застосування при розв’язанні задач прийняття рішень в гуманістичних системах, зокрема задач розподілу інвестицій, ФН нечітких експертних оцінок, які відповідають індивідуальному сприйняттю ОПР; та підтверджують вірність передумов і практичну застосовність запропонованого підходу побудови індивідуальних ФН нечітких оцінок ОПР.

Необхідно зазначити, що аналітичний вираз одержаних у такий спосіб ФН досить складний, але при інтеграції даного підходу у систему підтримки прийняття рішень з використанням засобів обчислювальної техніки не виникає жодних перешкод для успішного практичного застосування цього методу. Приклад побудованої за даним методом ФН експертних оцінок із урахуванням індивідуального сприйняття ОПР зображено на рис. 9.18.

Виходячи з методу одержання таких індивідуальних ФН ОПР та враховуючи те, що такі ФН характеризують індивідуальне сприйняття і мислення експертів, запропоновано називати їх *когнітивними функціями належності нечітких експертних оцінок* [37]. Даний метод дозволяє одержувати реалістичні, більш точні якісні нечіткі експертні оцінки об’єктів та процесів з урахуванням індивідуального сприйняття ОПР, і значно поліпшує якість отриманих рішень при розв’язанні задач прийняття рішень в гуманістичних системах, зокрема в соціально-економічних.

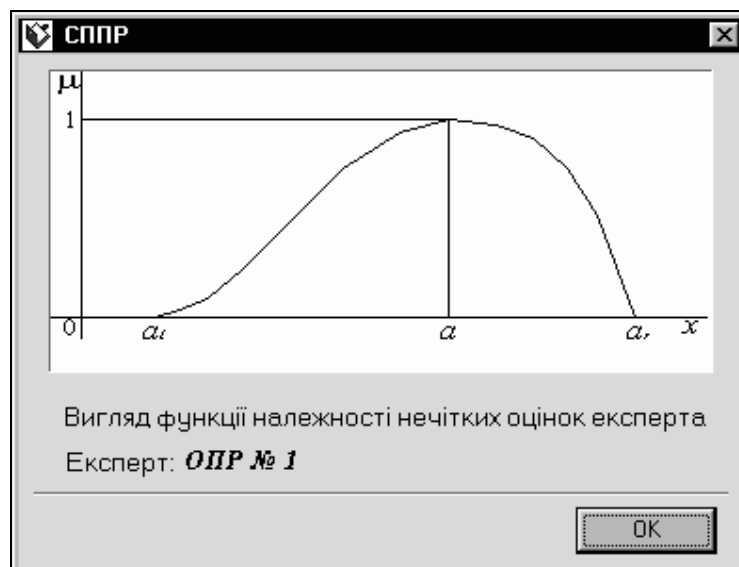


Рис. 9.18 Когнітивна функція належності нечітких експертних оцінок

### Наметоподібні функції належності та метод $\alpha, \beta$ -рівнів їх побудови

Як зазначено вище, в задачах розподілу ресурсів разом із експертними оцінками майже завжди застосовують розраховані числові характеристики проектів, як, наприклад, для інвестиційних проектів: необхідний обсяг інвестиційних ресурсів, рентабельність, строк окупності тощо. При застосуванні підходів, що ґрунтуються на нечіткій логіці та ТНМ, такі чіткі числові характеристики проектів піддають процедурі *фазифікації* – приведення до нечіткості [56, 71]. Слід зазначити, що при цьому постає проблема побудови набору лінгвістичних змінних та їх функцій належності, яким ставляться у відповідність вхідні дані – числові характеристики проектів.

Існують підходи розв'язання цієї задачі, наприклад [4, 68], що ґрунтуються на обробці навчальної вибірки з вхідних та вихідних даних. На жаль, такі підходи мають суттєві недоліки, оскільки є дуже громіздкими та трудомісткими, що значно ускладнює їх практичне застосування. Дуже часто логічно некоректною є побудова за такими методами множини лінгвістичних змінних для вхідних даних та їх ФН. Наприклад, на рис. 9.19 зображені нечіткі множини побудованого за методом [68] набору лінгвістичних змінних для вхідної змінної  $x_1$ , що характеризує обсяг активів.

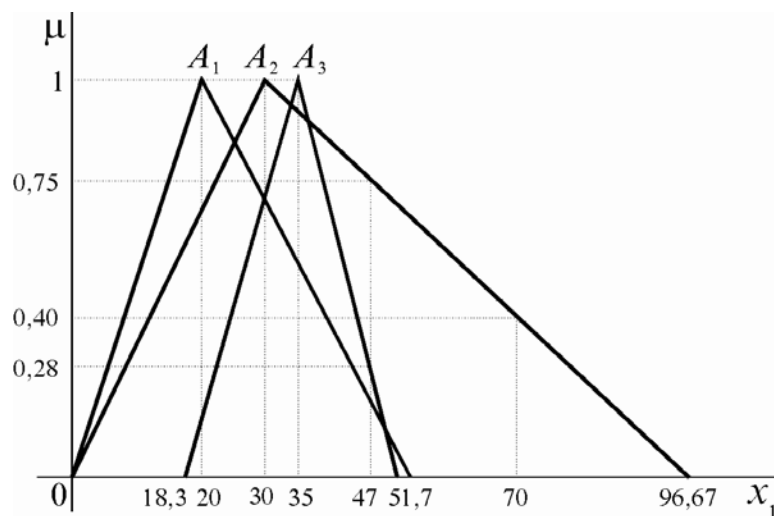


Рис. 9.19 Нечіткі множини набору лінгвістичних змінних для  $x_1$

Нечітким множинам  $A_1, A_2, A_3$  можна поставити у відповідність лінгвістичні змінні «малий», «середній», «великий». Отже, значення, наприклад 47, більше значення 35, яке має найбільшу ступінь належності 1 до лінгвістичної змінної «великий». Однак 47 має значно меншу ступінь належності до лінгвістичної змінної «великий», ніж до лінгвістичної

змінної «середній»: 0,28 проти 0,75 (рис. 9.19). А значення, наприклад 70, взагалі має нульову ступінь належності до лінгвістичної змінної «великий», проте до лінгвістичної змінної «середній» належить зі ступінню 0,4.

Вочевидь, що такий набір лінгвістичних змінних з їх ФН не може бути використаний при розв'язанні задач розподілу ресурсів, оскільки зазначені методи побудови набору лінгвістичних змінних прямо суперечать принципам лінгвістичного підходу [4, 21, 71]. Забороняється існування у базовій множині пар сусідніх термів, де відсутня істотна розмежованість понять, що апроксимуються термами; та забороняється наявність ділянок області визначення, яким не відповідає жодне лінгвістичне поняття.

Більш того, вищенаведені підходи потребують наявності вибірки даних як з вхідними значеннями так із вихідними. Однак в реальних задачах розподілу інвестиційних ресурсів часто стикаються з відсутністю вибірок з вихідними даними, тому що часто не має знань про результати впровадження та виконання тих чи інших проектів. Все це робить існуючі методи побудови набору лінгвістичних змінних та їх ФН не прийнятними для застосування у розв'язанні реальних практичних задач розподілу інвестиційних ресурсів.

Пропонується наступний підхід до побудови набору лінгвістичних змінних та ФН їх значень [29]. Даний підхід застосовується окремо для значень кожної вхідної змінної  $x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ . Нехай є  $p$  значень вхідної змінної  $x_i$ . Вони упорядковуються за зростанням  $i$ , таким чином, утворюють набір:  $X_i = \{x_1, x_2, \dots, x_p\}$ . Для побудови набору лінгвістичних змінних набір числових значень  $X_i$  поділяється на  $r$  кластерів  $G_j$ ,  $j = \overline{1, r}$ . Кластеризація реалізується за допомогою « $\alpha$ -перерізів» нечіткого відношення еквівалентності  $R^T(x_{p_1}, x_{p_2})$ ,  $x_{p_1}, x_{p_2} \in X_i$  [29]:

$$G_j = \{x_g \mid R^T(x_{p_1}, x_{p_2}) \geq \alpha; \alpha \in [0, 1]; 1 \leq g \leq p, 1 \leq p_1 \leq p, 1 \leq p_2 \leq p\}. \quad (9.17)$$

Нечітке відношення еквівалентності  $R^T$ , яке є симетричним, рефлексивним та транзитивним, знаходиться як  $\max$ - $\min$  транзитивне замикання нечіткого відношення близькості  $R(x_{p_1}, x_{p_2})$ ,  $x_{p_1}, x_{p_2} \in X_i$ :

$$\begin{aligned} R^T(x_{p_1}, x_{p_2}) &= R^k, \\ R^k &= R^{k-1} \circ R, \quad R^{k+1} = R^k, \quad k \geq 2, \end{aligned} \quad (9.18)$$

де « $\circ$ » – операція композиції, яка для  $R_1(x_{p_1}, x_{p_2})$  і  $R_2(x_{p_2}, x_{p_3})$ ,  $x_{p_1}, x_{p_2}, x_{p_3} \in X_i$  задається таким чином:

$$\mu_{R_1 \circ R_2}(x_{p_1}, x_{p_3}) = \max_{x_{p_2} \in X_i} \min[\mu_{R_1}(x_{p_1}, x_{p_2}), \mu_{R_2}(x_{p_2}, x_{p_3})].$$

Нечітке відношення близькості  $R(x_{p_1}, x_{p_2})$ ,  $x_{p_1}, x_{p_2} \in X_i$ , яке є симетричним та рефлексивним, визначимо за допомогою Евклідової відстані як:

$$R(x_{p_1}, x_{p_2}) = 1 - \frac{|x_{p_1} - x_{p_2}|}{\delta}, \quad (9.19)$$

де коефіцієнт  $\delta$  розраховується у такий спосіб:

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^{p-1} |x_i - x_p|}{p-1}. \quad (9.20)$$

Значення  $x_p$  є максимальним значенням з упорядкованого набору  $X_i = \{x_1, x_2, \dots, x_p\}$ . Відношення близькості  $R(x_{p_1}, x_{p_2})$  приймає значення з інтервалу  $[0, 1]$ , тобто якщо  $R(x_{p_1}, x_{p_2}) < 0$ , то приймаємо  $R(x_{p_1}, x_{p_2}) = 0$ .

Після проведення кластеризації за правилом (9.17) є  $r$  кластерів  $G_j$ ,  $j = \overline{1, r}$ , які характеризують шукані лінгвістичні змінні. Далі відбувається побудова ФН для цих лінгвістичних змінних. Пропонується такий метод побудови ФН  $\mu^j$  для деякого кластеру  $G_j$ , який складається з такого набору значень  $G_j = \{x_1^j, x_2^j, \dots, x_{g_j}^j\}$ .

Знаходиться умовний центр кластеру  $c^j$  як середнє арифметичне між елементами кластеру:

$$c^j = \frac{\sum_{i=1}^{g_j} x_i^j}{g_j}, \quad (9.21)$$

або ж центр кластеру може бути визначеним, наприклад, як медіана – оцінка, яка найменш віддалена від всіх інших значень кластеру за  $\delta$  (9.20) [29]:

$$c^j = \arg \min_{x_p \in G_j, p=1, g_j} \left( \sum_{i=1}^{g_j} \delta(x_p^j, x_i^j) \right). \quad (9.22)$$

В деяких реалізаціях доцільним може виявитись обрання за центр кластеру середнього значення серед найбільш частих значень – середнього “зони купчастості” кластеру оцінок. У такому випадку функція належності буде проявляти більшу схильність до центрування, тобто значенням, які найбільш часто зустрічаються, будуть відповідати більші значення ступенів належності.

В окремому випадку центр кластеру  $c^j$  може дорівнювати деякому значенню з  $G_j = \{x_1^j, x_2^j, \dots, x_{g_j}^j\}$ . Отже, розрахований за (9.21), (9.22) центр кластеру  $c^j$  приймається за значення  $h^j$ , при якому ФН кластеру  $G_j$  буде мати найбільше значення 1, тобто  $\mu^j(h^j)=1$ .

$$h^j = c^j. \quad (9.23)$$

Значення  $h^j$  будемо називати точкою максимуму ФН кластеру  $G_j$ . Розміщення  $h^j$  серед значень кластеру виглядає так:

$$\{x_1^j, x_2^j, \dots, x_{l-1}^j, x_l^j, h^j, x_m^j, x_{m+1}^j, \dots, x_{g_j}^j\}, \quad 1 \leq l < m \leq g_j.$$

Далі визначаються лівий  $\mu^{jL}$  і правий  $\mu^{jR}$  фрагменти ФН  $\mu^j$  кластеру для значень, що є меншими та більшими ніж точка максимуму  $h^j$  кластеру, відповідно. Для визначення фрагментів ФН пропонується ввести правило  $\alpha, \beta$ -рівнів, за яким найближчому до  $h^j$  значенню ( $x_l^j$  та  $x_m^j$ ) ставиться у відповідність ступінь належності, що дорівнює  $\alpha$ , а найдалшому ( $x_1^j$  та  $x_{g_j}^j$ ) – ступінь належності  $\beta$ , при цьому  $\alpha, \beta \in [0, 1]$ . У випадку, коли  $x_1^j = x_l^j$  або  $x_m^j = x_{g_j}^j$ , ці значення вважаються найдалшими. Значення між  $h^j$  та найближчими значеннями будуть мати ступінь належності з інтервалу  $[\alpha, 1]$ , а між найближчими та найдалшими від  $h^j$  будуть мати ступінь належності з інтервалу  $[\beta, \alpha]$ , обернено пропорційну до їх відстані.

Таким чином, частини лівого та правого фрагментів будуть виглядати так:

$$\mu^{jL}(x) = \begin{cases} \frac{(x - x_l^j)(1 - \alpha)}{h^j - x_l^j} + \alpha, & \text{якщо } x_l^j < x \leq h^j; \\ \frac{(x - x_1^j)(\alpha - \beta)}{x_l^j - x_1^j} + \beta, & \text{якщо } x_1^j < x \leq x_l^j. \end{cases} \quad (9.24)$$

$$\mu^{jR}(x) = \begin{cases} \frac{(x_m^j - x)(1 - \alpha)}{x_m^j - h^j} + \alpha, & \text{якщо } h^j < x \leq x_m^j; \\ \frac{(x_{g_j}^j - x)(\alpha - \beta)}{x_{g_j}^j - x_m^j} + \beta, & \text{якщо } x_m^j < x \leq x_{g_j}^j. \end{cases} \quad (9.25)$$

Далі визначають частини лівого та правого фрагментів ФН, які характеризують значення ступенів належності з інтервалу  $[0, \beta]$ . Значеннями, які будуть мати найменші, тобто нульові, ступені належності для лівого та правого фрагментів обирають точки максимумів сусідніх кластерів, тобто  $h^{j-1}$  і  $h^{j+1}$  відповідно, та у такий саме спосіб лінійно продовжують фрагменти ФН до цих значень. Отже, заключні частини фрагментів ФН виглядають так:

$$\mu^{jL}(x) = \begin{cases} \frac{(x - h^{j-1})\beta}{x_1^j - h^{j-1}}, & \text{якщо } h^{j-1} \leq x \leq x_1^j. \end{cases} \quad (9.26)$$

$$\mu^{jR}(x) = \begin{cases} \frac{(h^{j+1} - x)\beta}{h^{j+1} - x_{g_j}^j}, & \text{якщо } x_{g_j}^j < x \leq h^{j+1}. \end{cases} \quad (9.27)$$

Об'єднуючи отримані частини фрагментів ФН (9.24)-(9.27) кластеру як лінгвістичної змінної одержуємо остаточну ФН деякого кластеру  $G_j$  (9.28).

Зазначимо, що ФН (9.28) є функцією належності деякого кластеру  $G_j$ , який не є ні першим, ні останнім,  $j \neq 1$ ,  $j \neq r$ . Для першого  $G_1$  та останнього  $G_r$  кластерів ФН складається лише з правого та лівого фрагментів відповідно, та їх точки максимумів  $h^1$  і  $h^r$  визначаються за іншими правилами.



$$\mu^j(x) = \begin{cases} \frac{(x - h^{j-1})\beta}{x_1^j - h^{j-1}}, & \text{якщо } h^{j-1} \leq x \leq x_1^j; \\ \frac{(x - x_l^j)(\alpha - \beta)}{x_l^j - x_1^j} + \beta, & \text{якщо } x_1^j < x \leq x_l^j; \\ \frac{(x - x_l^j)(1 - \alpha)}{h^j - x_l^j} + \alpha, & \text{якщо } x_l^j < x \leq h^j; \\ \frac{(x_m^j - x)(1 - \alpha)}{x_m^j - h^j} + \alpha, & \text{якщо } h^j < x \leq x_m^j; \\ \frac{(x_{g_j}^j - x)(\alpha - \beta)}{x_{g_j}^j - x_m^j} + \beta, & \text{якщо } x_m^j < x \leq x_{g_j}^j; \\ \frac{(h^{j+1} - x)\beta}{h^{j+1} - x_{g_j}^j}, & \text{якщо } x_{g_j}^j < x \leq h^{j+1}. \end{cases} \quad (9.28)$$

Для першого кластеру  $G_1$  значення  $x_1^1$  вважається найближчим, а  $x_{g_1}^1$  – найдалшим від точки максимуму  $h^1$ , при цьому  $h^1 < x_1^1$ . Значення  $h^1$  розраховується пропорційно, виходячи з того, що  $h^1$  відповідає ступінь належності 1,  $x_1^1$  відповідає ступінь належності  $\alpha$ , а  $x_{g_1}^1$  – ступінь належності  $\beta$ :

$$h^1 = x_1^1 - \frac{(x_{g_1}^1 - x_1^1)(1 - \alpha)}{\alpha - \beta}. \quad (9.29)$$

ФН для першого кластеру  $G_1$  визначається у такий спосіб:

$$\mu^1(x) = \begin{cases} \frac{(x_{g_1}^1 - x)(\alpha - \beta)}{x_{g_1}^1 - x_1^1} + \beta, & \text{якщо } h^1 \leq x \leq x_{g_1}^1; \\ \frac{(h^2 - x)\beta}{h^2 - x_{g_1}^1}, & \text{якщо } x_{g_1}^1 < x \leq h^2. \end{cases} \quad (9.30)$$

Аналогічно, для останнього кластеру  $G_r$  значення  $x_{g_r}^r$  вважається найближчим, а  $x_1^r$  – найдалшим від точки максимуму  $h^r$ , при цьому

$x_{g_r}^r < h^r$ . Значення  $h^r$  розраховується пропорційно, виходячи з того, що  $h^r$  відповідає ступінь належності 1,  $x_{g_r}^r$  відповідає ступінь належності  $\alpha$ , а  $x_1^r$  – ступінь належності  $\beta$ :

$$h^r = x_{g_r}^r + \frac{(x_{g_r}^r - x_1^r)(1 - \alpha)}{\alpha - \beta}. \quad (9.31)$$

ФН для останнього кластеру  $G_r$  визначається у такий спосіб:

$$\mu^r(x) = \begin{cases} \frac{(x - h^{r-1})\beta}{x_1^r - h^{r-1}}, & \text{якщо } h^{r-1} \leq x \leq x_1^r; \\ \frac{(x - x_1^r)(\alpha - \beta)}{x_{g_r}^r - x_1^r} + \beta, & \text{якщо } x_1^r < x \leq h^r. \end{cases} \quad (9.32)$$

Як можна бачити з (9.30) і (9.32), правий та лівий фрагменти ФН відповідно першого та останнього кластеру мають на один вигин менше ніж фрагменти ФН внутрішніх кластерів.

Для даного методу побудови ФН необхідно отримати мінімум два кластери. У випадку, коли в результаті кластеризації утворюється лише один кластер, він вважається першим і останнім, тобто на ньому, як на носії будуються дві ФН.

Отже, підсумуємо запропонований метод визначення набору значень лінгвістичної змінної відповідної до  $x_i$  та побудови ФН її значень за вхідними числовими даними, який запропоновано називати *методом  $\alpha, \beta$ -рівнів*, у такому алгоритмі [29]:

1. З  $p$  значень вхідної змінної  $x_i$  утворюється упорядкований за зростанням набір  $X_i = \{x_1, x_2, \dots, x_p\}$ .
2. На  $X_i$  визначається нечітке відношення близькості  $R(x_{p_1}, x_{p_2})$ ,  $\forall x_{p_1}, x_{p_2} \in X_i$  за (9.19).
3. На  $X_i$  визначається нечітке відношення еквівалентності  $R^T(x_{p_1}, x_{p_2})$ ,  $\forall x_{p_1}, x_{p_2} \in X_i$  за (9.18) як  $\max$ – $\min$  транзитивне замикання нечіткого відношення близькості  $R(x_{p_1}, x_{p_2})$ .
4. Задається значення граничного коефіцієнту відношення еквівалентності  $\alpha^{cut}$ , та потім за допомогою  $\alpha^{cut}$ -перерізів нечіткого відношення еквівалентності  $R^T(x_{p_1}, x_{p_2})$  набір вхідних значень  $X_i$  поділяється на  $r$  кластерів  $G_j$ ,  $j = \overline{1, r}$  за (9.17).

5. Якщо кластер один ( $r=1$ ), то вважається, що він є першим та останнім, тобто покладається кількість кластерів рівною двом, а набір значень другого кластеру дорівнюється набору першого ( $r:=2$ ,  $G_2 := G_1$ ).
6. Задаються значення коефіцієнтів  $\alpha$  і  $\beta$ , які будуть визначати ступені належності відповідно для найближчого та найдалшого значень від точки максимуму  $h^j$  в кожному кластері  $G_j$ ,  $j = \overline{1, r}$ .
7. Для кожного кластеру  $G_j$ ,  $j = \overline{1, r}$  визначається його точка максимуму  $h^j$ , при якій ФН  $\mu^j$  на кластері  $G_j$  буде мати найбільше значення 1 ( $\mu^j(h^j)=1$ ). При цьому для першого кластеру  $G_1$  значення  $h^1$  визначається за (9.29), для останнього  $G_r$  значення  $h^r$  визначається за (9.31), а для всіх інших кластерів  $G_j$ ,  $j = \overline{2, r-1}$  значення  $h^j$  визначається за (9.21)-(9.23).
8. Для кожного кластеру  $G_j$ ,  $j = \overline{1, r}$  за правилом  $\alpha, \beta$ -рівнів будується його ФН  $\mu^j$ , при цьому для першого кластеру  $G_1$  ФН  $\mu^1$  визначається за (9.30), для останнього  $G_r$  ФН  $\mu^r$  визначається за (9.32), а для всіх інших кластерів  $G_j$ ,  $j = \overline{2, r-1}$  ФН  $\mu^j$  визначається за (9.28).

Вигляд графіків так званих *наметоподібних* ФН, що утворюються за цим методом, наведений на рис.9.20.

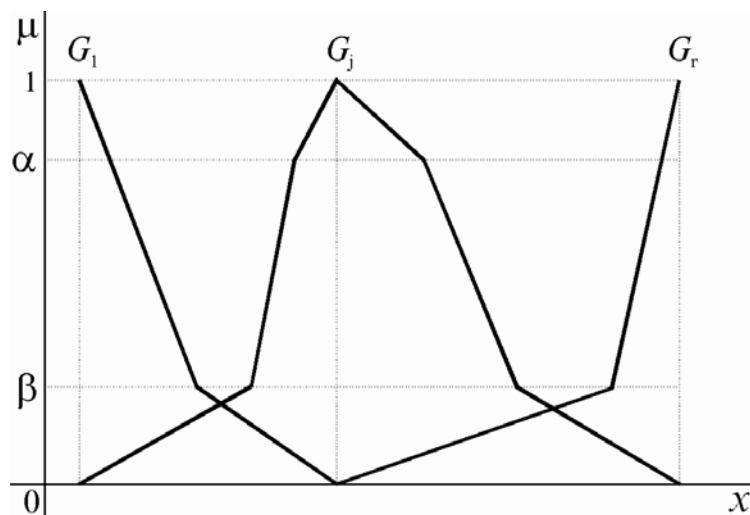


Рис. 9.20 Вигляд графіків наметоподібних ФН нечітких множин, що побудовані на кластерах за  $\alpha, \beta$ -рівнями

#### 9.4 Процедури агрегування та аналізу погодженості експертних оцінок

На даній стадії розв'язання задачі кожний проект  $P_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  характеризується своїм набором оцінок  $S_{ilt}$ ,  $l = \overline{1, h}$ ,  $t = \overline{1, k}$  за кожним критерієм  $C_l$  від кожної ОПР  $D_t$ . Наступним є етап зведення багатокритеріальної задачі до однокритеріальної, що складається з таких трьох операцій: операції агрегування оцінок проектів від кожної ОПР за критеріями системою НЛВ, операції аналізу погодженості оцінок ОПР та операції агрегування оцінок проектів за ОПР.

Операція агрегування оцінок проектів кожної ОПР полягає у визначенні для кожного проекту  $P_i$ ,  $i = \overline{1, n}$   $k$  узагальнених оцінок від ОПР  $D_t$ ,  $t = \overline{1, k}$ , що знаходяться для кожної ОПР  $D_t$  шляхом агрегування її оцінок  $S_{ilt}$  даного проекту за всіма критеріями  $C_l$ ,  $l = \overline{1, h}$ ,  $t = \overline{1, k}$ .

Традиційні методи агрегування, наприклад, такі як визначення середнього, не прийнятні для значень експертних оцінок, а тому для знаходження узагальнених агрегованих оцінок проектів скористуємось системою нечіткого логічного висновку. Додаткові зручності системи НЛВ полягають в тому, що процедура фазифікації є складовою частиною системи НЛВ, і тому для одержання нечітких оцінок  $\tilde{S}_{ilt}$  проектів немає необхідності у попередній фазифікації наявних експертних оцінок  $S_{ilt}$ ; та в тому, що результатом системи НЛВ є чітке значення завдяки тому, що процедура дефазифікації є складовою частиною системи НЛВ.

Для операції агрегування оцінок проекту, що одержані від певного експерта, пропонується обрати СНЛВ Мамдані (9.10)-(9.12), (рис. 9.11), що у найбільший спосіб відповідає наявним даним та методологічним вимогам етапу зведення задачі розподілу ресурсів до однокритеріальної. Система нечіткого логічного висновку для одержання узагальнених оцінок проектів має  $h$  входів (кількість критеріїв оцінки), та один вихід – власне узагальнена оцінка проекту.

Система НЛВ використовується для кожного проекту  $P_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  та для кожної ОПР  $D_t$ ,  $t = \overline{1, k}$  окремо, тобто система НЛВ відпрацьовує  $n \cdot k$  циклів. За один цикл на вхід системи НЛВ подаються оцінки  $S_{ilt}$  за критеріями  $C_l$  проекту  $P_i$  від ОПР  $D_t$ , де  $l = \overline{1, h}$ . На виході система видає узагальнену чітку оцінку  $A_{it}^D$  проекту  $P_i$  від ОПР  $D_t$ .

### Аналіз погодженості оцінок ОПР

Вважається, що рішення може бути прийняте тільки на основі погоджених думок експертів [2, 16], тобто лише на основі погоджених узагальнених чітких оцінок  $A_{it}^D$  проектів від ОПР.

Поширеними та вживаними методами розрахунку погодженості думок експертів є непараметричні методи визначення коефіцієнту конкордації Кендала та коефіцієнту рангової кореляції Спірмена [2, 31]. Коефіцієнт конкордації Кендала для  $n$  об'єктів, що аналізуються, та  $m$  експертів розраховується за такою формулою [31]:

$$W = \frac{12}{m^2(n^3 - n)} \cdot \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^m R_{ij} - \frac{m(n+1)}{2} \right)^2, \quad (9.33)$$

де  $R_{ij}$  – ранг  $i$ -того об'єкту, який наданий йому  $j$ -тим експертом. За наявності в'язок, тобто однакових значень рангів, коефіцієнт конкордації Кендала (9.33) здобуває такий вигляд [31]:

$$W = \frac{1}{\frac{1}{12}m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j} \cdot \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^m R_{ij} - \frac{m(n+1)}{2} \right)^2, \quad (9.34)$$

$$T_j = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{L_j} (n_i^3 - n_i),$$

де  $L_j$  – кількість в'язок, а  $n_i$  – кількість елементів в  $i$ -тій в'язці для  $j$ -того експерта.

Коефіцієнт конкордації Кендала  $W$  (9.33), (9.34) може приймати значення з інтервалу  $[0,1]$ , при цьому значення  $W = 0$  означає повну непогодженість оцінок експертів, а значення  $W = 1$  відповідно означає наявність повної погодженості думок експертів.

Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена може бути застосований для визначення погодженості оцінок двох експертів для  $n$  об'єктів, що аналізуються, та розраховується таким чином:

$$p = 1 - \frac{6}{n^3 - n} \cdot \sum_{i=1}^n (R_{i1} - R_{i2})^2, \quad (9.35)$$

де  $R_{i1}$  та  $R_{i2}$  – ранги  $i$ -го об'єкту, які надані йому першим та другим експертом відповідно.

Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена  $r$  (9.35) може приймати значення з інтервалу  $[-1,1]$ , при цьому значення  $r=0$  означає непогодженість оцінок експертів.

Однак, наявність погодженості оцінок експертів, що визначена за такими методами, означає лише відхилення гіпотези про незалежність оцінок ОПР на множині всіх оцінок. Перевірка погодженості у зазначеному статистичному сенсі зовсім не є перевіркою погодженості у сенсі практики експертних оцінок [2, 16, 31].

Часто намагаються штучно досягти погодженості оцінок ОПР – для цього вдаються до зменшення впливу оцінок тих ОПР, оцінки яких відрізняються від оцінок більшості, так званих експертів-дисидентів [2, 16, 31]. Жорсткий метод боротьби з такими ОПР полягає у неврахуванні їх оцінок при розв'язанні задачі, тобто фактичне видалення цих ОПР з групи ОПР  $D$ . Одним з поширених підходів є видалення не тільки крайніх оцінок, тобто оцінок з мінімальним та максимальним значеннями, а й усіх, що не належать до більшості [2, 16, 31]. Необхідно зазначити, що у такому разі можуть бути відсіяні оцінки як некваліфікованих ОПР (які потрапили до експертної групи  $D$  за непорозумінням або виходячи з міркувань, що не мають відношення до їх професійного та посадового рівня), так і найбільш неординарні ОПР, які глибше збагнули проблему ніж більшість. Таке відбраковування оцінок ОПР та взагалі відбраковування результатів спостережень, що різко виділяються, як показано у [2], призводить до отримання процедур з поганими або невідомими статистичними властивостями. М'який метод боротьби з оцінками експертів-дисидентів полягає у застосуванні стійких статистичних процедур на наступному кроці агрегування оцінок ОПР. Наприклад, оцінка, що різко виділяється, сильно впливає на середнє арифметичне оцінок ОПР, та не впливає на їх медіану. Тому в якості погодженої думки експертів, тобто агрегованої оцінки ОПР, можуть розглядати медіану. У кожному з двох наведених методів боротьби з оцінками ОПР-дисидентів відбуваються необґрунтовані з позицій логіко-сислової коректності оцінок неврахування та видалення думок тих чи інших ОПР.

Передумова, що рішення може бути прийняте тільки за наявністю погодженості думок експертів не відповідає реальним практичним задачам прийняття рішень, зокрема задачам розподілу ресурсів. На практиці часто спостерігаються ситуації, коли ОПР поділяються на дві чи більше груп, які мають спільні групові точки зору. В таких ситуаціях фактично виявляється відсутність єдності думок ОПР. Так, в [36] наведено приклад поділу експертів при оцінюванні результатів науково-дослідних робіт на дві групи: «теоретиків», котрі явно надають перевагу роботам, в яких отримані теоретичні результати, і «практиків», котрі обирають ті роботи, які

надають можливість отримувати безпосередні прикладні результати (на конкурсній науково-дослідних робіт в Інституті проблем управління РАН).

Прагнення забезпечити погодженість оцінок ОПР за будь-якої ціни може спричинити свідомий однобічний підбір експертів, ігнорування всіх точок зору, окрім однієї, яка найбільш подобається та є найбільш вигідною організатору процесу вирішення проблеми.

Існуючі методи і підходи для визначення погодженості оцінок ОПР, зокрема на основі коефіцієнтів Спірмена та Кендала, є неприйнятними для практичних задач розподілу ресурсів, однак все-таки необхідно припускати наявність оцінок некомпетентних експертів, які можуть негативно впливати на якість рішення задачі. Тобто необхідно виявляти та боротись з некомпетентними, несуттєвими та неважливими експертними оцінками.

Таким чином, для успішного вирішення задач прийняття рішень, необхідно не намагатись забезпечити повну погодженість думок експертів, а проводити аналіз реальної ситуації у розподілі їх оцінок, і виходячи з результатів такого аналізу, приймати рішення про доцільність врахування чи неврахування думок тих чи інших експертів.

В загальному випадку підхід до аналізу і формування погоджених експертних оцінок складається з таких етапів [16, 22]:

1. Введення метрики. На множині експертних оцінок визначається відношення, за яким для будь-якої пари оцінок можна встановити міру їх розрізнення.
2. Введення функціонала якості. Функціонал якості дозволяє визначити вагу оцінки, при чому вага оцінки тим більша, чим більш достовірною і обґрунтованою вона є з погляду організаторів експертного оцінювання.
3. Груповий аналіз оцінок. Полягає у виділенні на множині оцінок груп близьких одна до одної оцінок – кластерів, які використовуються для пошуку найбільш погодженої думки експертів відповідної групи. Для цього для кожного кластеру виконують:
  - a. знаходження „центра” групи, наприклад, медіани – значення оцінки, яке є у найменшій мірі віддаленим від всіх інших оцінок у відповідному кластері за метрикою з п.1;
  - b. визначення довірчої множини оцінок, яка складається з оцінок, що найменш віддалені від центру „групи” та мають найбільшу вагу (функціонал якості).
4. Аналіз погодженості думок. В результаті аналізу погодженості думок приходять до підсумкової погодженої оцінки об'єкту.

Пропонується *метод  $\alpha, \beta$ -коаліцій* для аналізу і вибору погоджених експертних оцінок. Суть методу полягає у виявленні груп експертів зі схожими погодженими думками, тобто *коаліцій*, та у видаленні з подальшого врахування оцінок експертів, які входять до складу несуттєвих коаліцій. При цьому коефіцієнт  $\alpha$  визначає об'єднання експертів у коаліції за значеннями їх оцінок, а, коефіцієнт  $\beta$  визначає належність коаліцій до суттєвих чи несуттєвих.

Для кожної ОПР  $D_t$  є вектор  $A_t^D = \{A_{it}^D\}$ ,  $i = \overline{1, n}$  її узагальнених оцінок усіх проектів  $P_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ . Поділимо множину векторних узагальнених оцінок ОПР  $A^D = \{A_t^D\}$ ,  $t = \overline{1, k}$  на  $r$  кластерів  $G_j$ ,  $j = \overline{1, r}$ , тобто фактично виділимо  $r$  коаліцій ОПР за значеннями їх оцінок. Для цього скористуємось прийомом аналогічним до розглянутого у методі  $\alpha, \beta$ -рівнів побудови наметоподібних ФН. Кластеризація відбувається за допомогою  $\alpha$ -перерізів нечіткого відношення еквівалентності  $R^T(A_{t_1}^D, A_{t_2}^D)$ ,  $A_{t_1}^D, A_{t_2}^D \in A^D$  аналогічно до (9.17):

$$G_j = \left\{ A_t^D \mid R^T(A_{t_1}^D, A_{t_2}^D) \geq \alpha; \alpha \in [0, 1]; A_t^D, A_{t_1}^D, A_{t_2}^D \in A^D \right\}. \quad (9.36)$$

Нечітке відношення еквівалентності  $R^T$ , яке є симетричним, рефлексивним та транзитивним, знаходиться за (9.18) як  $\max - \min$  транзитивне замикання нечіткого відношення близькості  $R(A_{t_1}^D, A_{t_2}^D)$ , яке у свою чергу є симетричним та рефлексивним. Визначимо  $R(A_{t_1}^D, A_{t_2}^D)$ ,  $A_{t_1}^D, A_{t_2}^D \in A^D$  за допомогою Евклідової відстані як:

$$R(A_{t_1}^D, A_{t_2}^D) = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (A_{it_1}^D - A_{it_2}^D)^2}}{\delta}, \quad (9.37)$$

де коефіцієнт  $\delta$  розраховується у такий спосіб:

$$\delta = \frac{\sum_{t=1}^k \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( A_{it}^D - \max_t \{A_{it}^D\} \right)^2}}{k-1},$$

при цьому  $\max_t \{A_{it}^D\}$  є максимальне значення оцінки проекту  $P_i$  серед



оцінок усіх ОПР  $D_t$ ,  $t = \overline{1, k}$ . Відношення близькості  $R(A_{t_1}^D, A_{t_2}^D)$  приймає значення з інтервалу  $[0, 1]$ , тобто якщо  $R(A_{t_1}^D, A_{t_2}^D) < 0$ , то приймаємо  $R(A_{t_1}^D, A_{t_2}^D) = 0$ .

Отже, після проведення кластеризації за правилом (9.36) є  $r$  кластерів  $G_j$ ,  $j = \overline{1, r}$  векторних оцінок ОПР, які будемо розглядати як коаліції ОПР за схожістю думок щодо оцінювання проектів. Тобто кластер  $G_j = \{A_t^D\}$  векторних оцінок ОПР будемо вважати коаліцією  $G_j = \{D_t\}$  тих ОПР  $D_t$ , оцінки яких входять до складу цього кластеру.

Далі для кожної коаліції  $G_j$ ,  $j = \overline{1, r}$  визначимо її вагу  $W_j^G$  як суму вагових коефіцієнтів  $V_t^{norm}$  ОПР, які входять до складу коаліції:

$$W_j^G = \sum_{t, D_t \in G_j} V_t^{norm}. \quad (9.38)$$

За значенням ваги  $W_j^G$  кожної коаліції  $G_j$  на множині всіх коаліцій  $G$  визначимо суттєві та несуттєві коаліції. Множину суттєвих коаліцій  $G^{Ess}$  утворюють такі коаліції, вага кожної з яких неменше деякого заданого порогу  $\beta$ , а множину несуттєвих коаліцій  $G^{NonEss}$  утворюють такі коаліції, вага кожної з яких менше порогу  $\beta$ :

$$G^{Ess} = \{G_j | W_j^G \geq \beta, j = \overline{1, r}\}. \quad (9.39)$$

$$G^{NonEss} = \{G_j | W_j^G < \beta, j = \overline{1, r}\}. \quad (9.40)$$

Виходячи з правил добору коаліцій у множини суттєвих та несуттєвих коаліцій, можна стверджувати, що

$$G^{Ess} \cup G^{NonEss} = G, \quad G^{Ess} \cap G^{NonEss} = \emptyset.$$

За допомогою порогу суттєвості коаліції  $\beta$  фактично відфільтровуються неважливі експертні оцінки, які самі собою мають незначний вплив на результат та лише «зашумлюють» множину оцінок ОПР, які входять до несуттєвих коаліцій, та їх оцінки, які утворюють відповідні несуттєві кластери, будуть видалені з подальшого розв'язання задачі. Тобто первісна група ОПР  $D = \{D_t\}$ ,  $t = \overline{1, k}$  після відсіювання тих ОПР, які входять до несуттєвих коаліцій, перетворюється на нову групу

ОПР  $D^E = \{D_t\}$ ,  $t = \overline{1, d}$  ( $d \leq k$ ), до складу якої входять лише ОПР з суттєвих коаліцій:

$$D^E = \{D_t \mid D_t \subset G^{Ess}, t = \overline{1, k}\};$$

або

$$D^E = \{D_t \mid D_t \not\subset G^{NonEss}, t = \overline{1, k}\}. \quad (9.41)$$

Таким чином, подальше розв'язання задачі буде відбуватись лише на основі суттєвих узагальнених оцінок проектів  $P_i$  від ОПР  $D_t$  з  $D^E$ :

$$A_{it}^D, i = \overline{1, n}, t = \overline{1, d}. \quad (9.42)$$

Оскільки  $d \leq k$ , тобто  $D^E \subseteq D$ , то вагові коефіцієнти ОПР з  $D^E$  можуть не відповідати умові  $\sum_{t=1}^d V_t^{norm} = 1$ , і тому можуть потребувати корегувального перенормування. У будь-якому разі для подальшого використання вагові коефіцієнти ОПР з нової групи  $D^E$  доцільно піддати додатковій процедурі нормування аналогічно до (9.2):

$$V_t^{norm'} = V_t^{norm} / \left( \sum_{t=1}^d V_t^{norm} \right), t = \overline{1, d}; \quad (9.43)$$

$$\text{та } V_t^{norm} = V_t^{norm'}, t = \overline{1, d}. \quad (9.44)$$

За допомогою (9.43) та (9.44) відносні вагові коефіцієнти  $V_t^{norm}$  ОПР набувають нових скорегованих значень, які гарантовано задовольняють умові  $\sum_{t=1}^d V_t^{norm} = 1$ .

Отже, підсумуємо запропонований метод  $\alpha, \beta$ -коаліцій для аналізу погодженості думок експертів у такому алгоритмі:

1. На множині векторних узагальнених оцінок  $A^D = \{A_t^D\}$  ОПР  $D = \{D_t\}$ ,  $t = \overline{1, k}$  усіх проектів  $P = \{P_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$  (кожній ОПР відповідає вектор її оцінок  $D_t \sim A_t^D$ ) визначається нечітке відношення близькості  $R(A_{t_1}^D, A_{t_2}^D)$ ,  $\forall A_{t_1}^D, A_{t_2}^D \in A^D$  за (9.37).
2. На  $A^D$  визначається нечітке відношення еквівалентності

$R^T(A_{t_1}^D, A_{t_2}^D), \forall A_{t_1}^D, A_{t_2}^D \in A^D$  за (9.18) як max – min транзитивне замикання нечіткого відношення близькості  $R(A_{t_1}^D, A_{t_2}^D)$ .

3. Задається значення граничного коефіцієнту відношення еквівалентності  $\alpha$  – коефіцієнту кластеризації, та потім за допомогою  $\alpha$  -перерізів нечіткого відношення еквівалентності  $R^T(A_{t_1}^D, A_{t_2}^D)$  за (9.36) множина векторних узагальнених оцінок ОПР  $A^D$  поділяється на  $r$  кластерів  $G_j, j = \overline{1, r}$ , тобто визначаються  $r$  коаліцій  $G_j, j = \overline{1, r}$  ОПР за погодженістю їх оцінок.
4. Для кожної коаліції  $G_j, j = \overline{1, r}$  за (9.38) визначається її вага  $W_j^G$ .
5. Задається значення коефіцієнту  $\beta$  – порогу суттєвості коаліції, та потім за (9.39) і (9.40) утворюються множини відповідно суттєвих  $G^{Ess}$  і несуттєвих  $G^{NonEss}$  коаліцій.
6. Утворюється нова група суттєвих ОПР  $D^E = \{D_t\}, t = \overline{1, d}$  за (9.41) та за (9.42) новий набір суттєвих узагальнених оцінок  $A_{it}^D$  проектів  $P_i$  відповідний до цих ОПР  $D_t$ . У подальшому розв'язанні задачі розглядаються лише такі суттєві ОПР та їх оцінки.
7. Здійснюється перенормування вагових коефіцієнтів  $V_t^{norm}$  ОПР з нової групи  $D^E = \{D_t\}, t = \overline{1, d}$  за (9.43) та (9.44).

Розглянутий метод проявляє певну гнучкість. Наприклад, якщо значення порогу суттєвості коаліції  $\beta$  покласти рівним значенню ваги керівника, який несе найбільшу чи навіть всю відповідальність за прийняте рішення, то таким чином можна гарантувати, що його оцінки будуть враховані при розв'язанні задачі, навіть якщо він не вступить ні з ким у коаліцію, а фактично утворить окрему одноосібну коаліцію, що є цілком доцільним за таких умов.

Необхідно зазначити, що в деяких конкретних практичних задачах розподілу ресурсів може бути доцільним проводити аналіз оцінок ОПР окремо для кожного проекту, тобто проводити кластеризацію та видалення несуттєвих оцінок для кожного проекту окремо. У такому випадку в процедурі кластеризації нечітке відношення близькості  $R(A_{t_1}^D, A_{t_2}^D)$  (9.37) буде розраховуватись не для векторних, а скалярних оцінок, тобто прийме вигляд (9.19). Формування нової групи ОПР за (9.41) необхідно буде пропустити, а процедуру добору суттєвих оцінок необхідно буде виконувати для кожного проекту окремо. Також, в залежності від певних умов задачі кластеризацію можна виконувати не лише за допомогою  $\alpha$  -

перерізів нечіткого відношення еквівалентності, а за будь-яким придатним правилом, наприклад, за допомогою розглянутих коефіцієнту конкордації Кендала або коефіцієнту рангової кореляції Спірмена. У такому разі коефіцієнт кластеризації  $\alpha$  буде порогом для значень обраного показника кореляції. Однак, може виникнути необхідність вирішення неоднозначності об'єднання ОПР у коаліції за умов відсутності властивості транзитивності у правила кластеризації.

### Агрегування оцінок всіх ОПР

Процедура агрегування оцінок проектів за всіма ОПР полягає у знаходженні остаточної агрегованої оцінки кожного проекту  $P_i$  – ступеню привабливості  $A_i$ , де  $i = \overline{1, n}$ . Це здійснюється на основі узагальнених за критеріями оцінок  $A_{it}^D$  (від кожної ОПР  $D_t$ ,  $t = \overline{1, d}$ ) кожного проекту  $P_i$  та вагових коефіцієнтів  $V_t^{norm}$  ОПР, де  $i = \overline{1, n}$ ,  $t = \overline{1, d}$ . Загальнопоширеним методом розрахунку таких зважених агрегованих оцінок є зважена сума [2, 31]:

$$A_i = \frac{\sum_{t=1}^d V_t^{norm} \cdot A_{it}^D}{\sum_{t=1}^d V_t^{norm}}. \quad (9.45)$$

Оскільки вагові коефіцієнти ОПР  $V_t^{norm}$  нормовані, то (9.45) буде виглядати як лінійна комбінація:

$$A_i = \sum_{t=1}^d V_t^{norm} \cdot A_{it}^D. \quad (9.46)$$

В загальному випадку узагальнені за критеріями оцінки ОПР  $A_{it}^D$  можуть представляти фактичне розділення думок ОПР на конкурентні групи, які є дещо розбіжними у поглядах, то результат застосування методу (9.45), (9.46) для всього набору оцінок, в якому припускається повна погодженість думок ОПР, може не відображати реальну ситуацію наявності несхожих міркувань та формування угруповань ОПР, і тому може спричиняти спотворення значення спільної, компромісної для всіх ОПР, оцінки проекту [2, 31, 36].

Розглянемо метод агрегування оцінок *за міжгруповим консенсусом* [30]. Він полягає у визначенні угруповань оцінок ОПР для кожного проекту, знаходженні спільних оцінок для кожної групи, і у подальшому

агрегуванні значень цих спільних групових [28].

Визначення угруповань здійснюється для оцінок ОПР  $D_t$ ,  $t = \overline{1, d}$  окремо для кожного проекту  $P_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  за допомогою процедури кластеризації аналогічної до процедур у запропонованих вище методі побудови наметоподібних ФН (9.17) і методі аналізу погодженості оцінок ОПР (9.36). Після проведення кластеризації для кожного з утворених  $r$  кластерів  $G_j$ ,  $j = \overline{1, r}$  визначається значення спільної групової оцінки  $A_{ij}^G$ . Спосіб, у який здійснюється її визначення, вибирається при розв'язанні конкретної задачі в залежності від логіко-сислового значення такої групової оцінки. Поширеним і часто обґрунтованим є визначення медіани кластеру в якості спільної групової оцінки [22]. Медіана  $M_{ij}^G$  кластера  $G_j$  – це значення оцінки, яка найменш віддалена від інших оцінок в кластері  $G_j$  за відношенням еквівалентності  $R^T$  (9.18):

$$A_{ij}^G = M_{ij}^G = \arg \min \left( \sum_{t_1 | A_{it_1}^D \in G_j} \sum_{t_2 | A_{it_2}^D \in G_j} R^T(A_{it_1}^D, A_{it_2}^D) \right). \quad (9.47)$$

Проте, оскільки значення оцінок, що утворюють деякий кластер, характеризують схожі думки, то для визначення спільної групової оцінки доцільно застосувати зважену суму оцінок (9.45). Для кластеру  $G_j$  визначення агрегованої спільної оцінки  $A_{ij}^G$  виглядає так:

$$A_{ij}^G = \frac{\sum_{t | A_{it}^D \in G_j} V_t^{norm} \cdot A_{it}^D}{\sum_{t | A_{it}^D \in G_j} V_t^{norm}}. \quad (9.48)$$

Для кожного кластеру  $G_j$ ,  $j = \overline{1, r}$  визначається його вага  $W_j^G$ , тобто вага його агрегованої спільної оцінки  $A_{ij}^G$ , як сума вагових коефіцієнтів ОПР, оцінки яких утворюють цей кластер:

$$W_j^G = \sum_{t | A_{it}^D \in G_j} V_t^{norm}. \quad (9.49)$$

Таким чином утворюється набір  $A_i^G = \{A_{ij}^G, W_j^G\}$ ,  $j = \overline{1, r}$ , який

складається з пар агрегованих спільних оцінок кластерів  $A_{ij}^G$  та відповідних їм вагових коефіцієнтів  $W_j^G$ . За цим набором визначається загальна агрегована оцінка проекту  $P_i$ , яка буде компромісною для сформованих кластерів-груп оцінок. Для цього за даним набором  $A_i^G$  будується нечітка множина  $\tilde{A}_i$ . Ключовими точками такої нечіткої множини будуть значення агрегованих спільних оцінок  $A_{ij}^G$ , а ступенями належності цих ключових точок будуть відповідні значення вагових коефіцієнтів  $W_j^G$ . ФН  $f_{\tilde{A}_i}(x)$  нечіткої множини  $\tilde{A}_i$  утворюється за допомогою сплайн-інтерполяції за значеннями ступенів належності ключових точок. Через відсутність можливості зробити будь-які припущення з наявних даних щодо вигляду ФН нечіткої множини  $\tilde{A}_i$ , побудованої у такий спосіб, доцільним постає використання лінійної сплайн-інтерполяції. Тобто ФН  $f_{\tilde{A}_i}(x)$ ,  $x \in [A_{i1}^G, A_{ir}^G]$  нечіткої множини  $\tilde{A}_i$  буде складатись з лінійних відрізків, кількість яких складає  $r-1$ , та які з'єднують значення ступенів належності сусідніх ключових точок, та мати такий вигляд:

$$f_{\tilde{A}_i}(x) = \begin{cases} \frac{(x - A_{i1}^G)(W_2^G - W_1^G)}{A_{i2}^G - A_{i1}^G} + W_1^G, & \text{якщо } A_{i1}^G \leq x < A_{i2}^G; \\ \dots \\ \frac{(x - A_{ij}^G)(W_{j+1}^G - W_j^G)}{A_{i,j+1}^G - A_{ij}^G} + W_j^G, & \text{якщо } A_{ij}^G \leq x < A_{i,j+1}^G; \\ \dots \\ \frac{(x - A_{i,r-1}^G)(W_r^G - W_{r-1}^G)}{A_{ir}^G - A_{i,r-1}^G} + W_{r-1}^G, & \text{якщо } A_{i,r-1}^G \leq x \leq A_{ir}^G. \end{cases} \quad (9.50)$$

Приклад графічного зображення ФН нечіткої множини  $\tilde{A}_i$  наведено на рис. 9.21.

Далі за допомогою застосування до нечіткої множини  $\tilde{A}_i$  методу дефазифікації, який обирається в залежності від конкретної задачі, знаходиться чітке значення  $A_i$ , що і приймається за шукане агреговане значення. Найбільш придатним і зручним постає центроїдний метод (9.5), за яким визначення  $A_i$  виглядає таким чином:

$$A_i = \frac{\int_{A_{i1}^G}^{A_{ir}^G} x f_{\tilde{A}_i}(x) dx}{\int_{A_{i1}^G}^{A_{ir}^G} f_{\tilde{A}_i}(x) dx}. \quad (9.51)$$

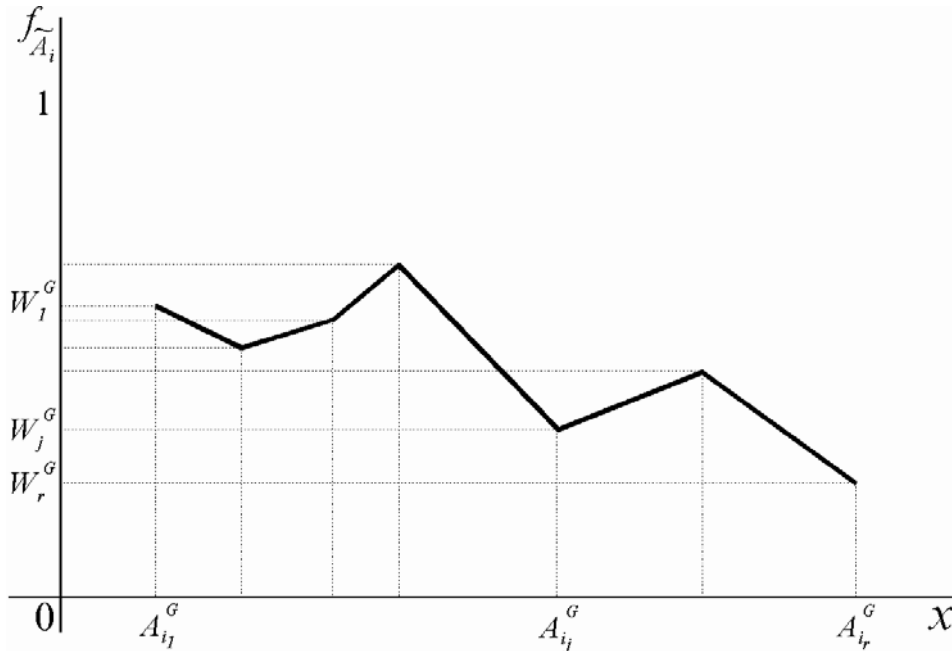


Рис. 9.21 Приклад вигляду графіку ФН нечіткої множини  $\tilde{A}_i$

Отже, підсумуємо запропонований метод агрегування оцінок для проекту  $P_i$ ,  $i = 1, n$  за міжгруповим консенсусом у такому алгоритмі:

1. Множина узагальнених оцінок проекту  $P_i$  від ОПР  $D_t$ ,  $t = \overline{1, d}$  упорядковується за зростанням в набір  $A_i^D = \{A_{it}^D\}$ ,  $t = \overline{1, d}$ .
2. На множині  $A_i^D$  визначається нечітке відношення близькості  $R(A_{it_1}^D, A_{it_2}^D)$ ,  $\forall A_{it_1}^D, A_{it_2}^D \in A_i^D$  за (9.47).
3. На  $A_i^D$  визначається нечітке відношення еквівалентності  $R^T(A_{it_1}^D, A_{it_2}^D)$ ,  $\forall A_{it_1}^D, A_{it_2}^D \in A_i^D$  за (9.18) як  $\max$ – $\min$  транзитивне замикання нечіткого відношення близькості  $R$ .
4. Задається значення граничного коефіцієнту відношення еквівалентності  $\alpha$  –коефіцієнту кластеризації, та потім за допомогою  $\alpha$ -перерізів нечіткого відношення еквівалентності  $R^T(A_{it_1}^D, A_{it_2}^D)$  за (9.17) та (9.36)

множина узагальнених оцінок  $A_i^D$  проекту  $P_i$  поділяється на  $r$  кластерів  $G_j, j = \overline{1, r}$ .

5. Для кожного кластеру  $G_j, j = \overline{1, r}$  за (9.48) визначається його агрегована спільна оцінка  $A_{ij}^G$ .
6. Для кожного кластеру  $G_j, j = \overline{1, r}$  за (9.49) визначається його вага  $W_j^G$ .
7. За значеннями, що визначені у п.5,6, утворюється набір  $A_i^G = \{A_{ij}^G, W_j^G\}, j = \overline{1, r}$ .
8. За набором  $A_i^G$  будується нечітка множина  $\tilde{A}_i$ , ФН якої  $f_{\tilde{A}_i}(x), x \in [A_{i1}^G, A_{ir}^G]$  визначається за (9.50).
9. За допомогою дефазифікації нечіткої множини  $\tilde{A}_i$  за (9.51) знаходиться чітке значення  $A_i$  – агрегована оцінка проекту  $P_i$ .

В окремих задачах розподілу ресурсів може виявитись доцільним визначення вагових коефіцієнтів  $W_j^G$  кластеру  $G_j, j = \overline{1, r}$  не лише за значеннями вагових коефіцієнтів ОПР  $V_t^{norm}$ , оцінки яких утворюють кластер, але й з урахуванням потужності кластеру – кількості оцінок  $N(G_j)$ , що входять до складу даного кластеру. Наприклад, у такому випадку (9.49) може перетворитись на такий вираз:

$$W_j^G = \sum_{t|A_{it}^D \in G_j} V_t^{norm} \frac{N(G_j)}{d}, \quad \text{де } N(G_j) = \sum_{t|A_{it}^D \in G_j} 1. \quad (9.52)$$

Даний метод дозволяє варіювати коефіцієнтом кластеризації, методом визначення ваг кластерів оцінок, методом дефазифікації в залежності від конкретної задачі, та надає можливість більш тонко виявляти вплив розподілення між угрупованнями міркувань ОПР в задачі розподілу ресурсів.

### 9.5 Процедури вибору варіантів

Етап вибору проектів є заключним в процесі розв'язання задачі розподілу ресурсів. Процедура вибору проектів для виділення їм ресурсів, що розподіляються, полягає у доборі тих проектів, які максимізують ефективність використання ресурсів та задовольняють ресурсному обмеженню  $B$ . Ефективність виділення ресурсів для проекту  $P_i$  характеризується ступенем його привабливості  $A_i$ . Ресурсне обмеження  $B$



є максимальним обсягом ресурсів, що запланований для виділення проектам. В реальних практичних задачах загальний обсяг ресурсів найчастіше менший ніж сумарна потреба проектів в ресурсах. Таким чином, процедура вибору проектів постає розв'язанням однокритеріальної задачі вибору, яка може бути сформульована як задача булевого програмування.

Є множина запропонованих проектів  $P = \{P_i\}$  ( $i = \overline{1, n}$ ), множина потреб проектів в ресурсах  $b = \{b_i\}$ , множина визначених ступенів привабливості проектів  $A = \{A_i\}$ , які відповідають індивідуальним перевагам ОПР, задано ресурсне обмеження  $B$ . Необхідно вибрати проекти, що максимізують сумарну привабливість та задовольняють ресурсному обмеженню.

Для кожного проекту  $P_i$  задається змінна  $x_i$ , яка може приймати значення 0 або 1, в залежності від обрання проекту для виділення йому ресурсів:

$$x_i = \begin{cases} 0, & \text{якщо проект } P_i \text{ не обирається;} \\ 1, & \text{якщо проект } P_i \text{ обирається.} \end{cases}$$

Задача булевого програмування формулюється таким чином:

$$\sum_{i=1}^n A_i x_i \rightarrow \max, \quad (9.53)$$

за обмеження  $\sum_{i=1}^n b_i x_i \leq B, x_i \in \{0, 1\}$ .

Задача (9.53) може бути вирішена будь-яким методом цілочисельного програмування дослідження операцій. Для задач великої вимірності рекомендується застосування евристичних підходів, зокрема, генетичних алгоритмів пошуку рішення.

Необхідно зазначити, що на практиці часто постає задача виділення ресурсів усім наявним проектам з ресурсним обмеженням [6, 27]. Наприклад, на державному рівні такою задачею є розподілення фінансових ресурсів між всіма статтями видатків бюджету певної установи між її статтями витрат. У такому разі виділення ресурсів для проектів пропонується здійснювати пропорційно до значень їх ступенів привабливості. Значення обсягу ресурсів  $I_i$ , що виділяються проекту  $P_i$ , може бути розраховано таким чином:

$$I_i = B \cdot \frac{A_i}{\sum_{ii=1}^n A_{ii}}, I_i \leq b_i, i = \overline{1, n}. \quad (9.54)$$

В деяких практичних задачах розподілу ресурсів, зокрема, інвестиційних задаються бажані потреби кожного проекту у фінансуванні та обмеження на мінімальні допустимі рівні фінансування проектів [6, 27].

В інших практичних задачах розподілу інвестицій запропоновані інвестиційні проекти можуть бути поділені на групи за їх приналежністю до певних галузей, за їх пріоритетністю, тощо, та накладені обмеження по кількості фінансованих проектів з тієї чи іншої галузі, тощо [6, 27]. У будь-якому разі розглянутий підхід до розподілу ресурсів та вибору варіантів є практично застосовним для вирішення такої задачі розподілу інвестицій. В залежності від конкретних умов задачі розподілу ресурсів та обмежень  $R$  змінам піддається лише постановка остаточної задачі (9.53) на останньому етапі методу – етапі вибору проектів. Оскільки така задача (9.53) є чіткою задачею однокритеріального вибору, то її практичне розв'язання без ускладнень може бути здійснене за допомогою відомих методів дослідження операцій, евристичних підходів тощо.

**Приклад застосування процедури вибору проектів в задачі розподілу ресурсів.** Розглянемо застосування процедури вибору проектів на прикладі задачі розподілу інвестиційних ресурсів. В табл. 9.1 наведені дані про потреби проектів  $P_i$  в інвестиційних ресурсах  $b_i$  в тис. гривень та ступені привабливості проектів  $A_i$  за десятибальною шкалою. Бюджет фінансування  $B$  становить 5 млн. гривень.

Для розподілу існуючого бюджету 5 млн. грн необхідно розв'язати таку задачу за (9.53):

$$7x_1 + 4x_2 + 6,2x_3 + 6x_4 + 9,4x_5 + 3x_6 + \\ + 6,3x_7 + 5,84x_8 + 3,5x_9 + 7,2x_{10} \rightarrow \max'$$

при обмеженнях

$$\begin{cases} 500x_1 + 940x_2 + 620x_3 + 570x_4 + 300x_5 + 800x_6 + \\ + 256x_7 + 752,2x_8 + 1300x_9 + 480x_{10} \leq 5000; \\ x_i \in \{0,1\}. \end{cases}$$

При цьому  $x_i = \begin{cases} 0, & \text{якщо проект } P_i \text{ не обирається;} \\ 1, & \text{якщо проект } P_i \text{ обирається.} \end{cases}$

Таблиця 9.1

**Дані про проекти прикладу**

Проект $P_i$	Потреби у фінансуванні $b_i$ , тис. грн	Ступінь привабливості $A_i$
$P_1$	500	7
$P_2$	940	4
$P_3$	620	6,2
$P_4$	570	6
$P_5$	300	9,4
$P_6$	800	3
$P_7$	256	6,3
$P_8$	752,2	5,84
$P_9$	1300	3,5
$P_{10}$	480	7,2

Розв'язок даної задачі показує, що при інвестуванні восьми з десяти запропонованих проектів на суму **4418,2** тис. грн на погляд ОПР буде досягнута максимальна ефективність **51,94**, що визначається як сумарна ступінь привабливості обраних проектів. Розв'язок задачі представлено у табл. 9.2.

Таблиця 9.2

**Розв'язок задачі вибору проектів**

Проект $P_i$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$	$P_9$	$P_{10}$
$x_i$	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1

Для задачі розподілу всього наявного бюджету серед усіх проектів розв'язок за (9.54) наведено у табл. 9.3. Як видно, лише три проекти з найменшою привабливістю недоотримають повне фінансування.

Таблиця 9.3

**Рішення задачі розподілу всього бюджету**

Проект $P_i$	Потреби у фінансуванні $b_i$ , тис. грн	Фінансування $I_i$ , тис. грн
$P_1$	500	500
$P_2$	940	<b>579,73</b>
$P_3$	620	620

Проект $P_i$	Потреби у фінансуванні $b_i$ , тис. грн	Фінансування $I_i$ , тис. грн
$P_4$	570	570
$P_5$	300	300
$P_6$	800	<b>434,80</b>
$P_7$	256	256
$P_8$	752,2	752,2
$P_9$	1300	<b>507,27</b>
$P_{10}$	480	480

### 9.6 Приклад побудови СППР для розподілу обмежених ресурсів

Розглянемо структуру інформаційної системи підтримки прийняття рішень при розподілі ресурсів на основі методів експертних оцінок, що складається з чотирьох основних підсистем і передбачає модульно-блочну побудову (рис. 9.22) [26].

Підсистема інтерфейсу користувача призначена для здійснення зв'язку між користувачами СППР та внутрішніми елементами системи і забезпечує ввід та вивід інформації для ОПР і експертів, а також надає доступ до зовнішніх запам'ятовуючих пристроїв ПЕОМ. Інтерфейс дозволяє операторові вводити інформацію, дані, команди, параметри й запити в систему та одержувати вихідну інформацію в зручному для сприйняття вигляді.

Підсистема накопичення і менеджменту даних забезпечує доступ до даних та знань СППР. Наявність Блоку менеджера даних надає можливість побудувати систему, незалежну від архітектури зберігання даних та дозволяє здійснювати ефективний уніфікований обмін даними між всіма структурними елементами СППР.

Така організація зберігання і одержання даних забезпечує можливість вибрати оптимальну систему управління даними для певної практичної задачі та знімає необхідність майбутнього структурного перетворення СППР при впровадженні нових, більш сучасних БД і БЗ.

Головна підсистема СППР через Головний операційний блок забезпечує реалізацію процесу аналізу і розв'язання задачі у відповідності із загальною структурою системної методології розподілу ресурсів і вибору варіантів (рис. 9.22). При цьому для здійснення певних процедур підключаються і застосовуються відповідні модулі, що входять до складу Підсистеми функціональних модулів. Такі модулі призначені для імплементації розроблених методів і підходів, що застосовуються в системній методології, та передбачають можливість подальшого

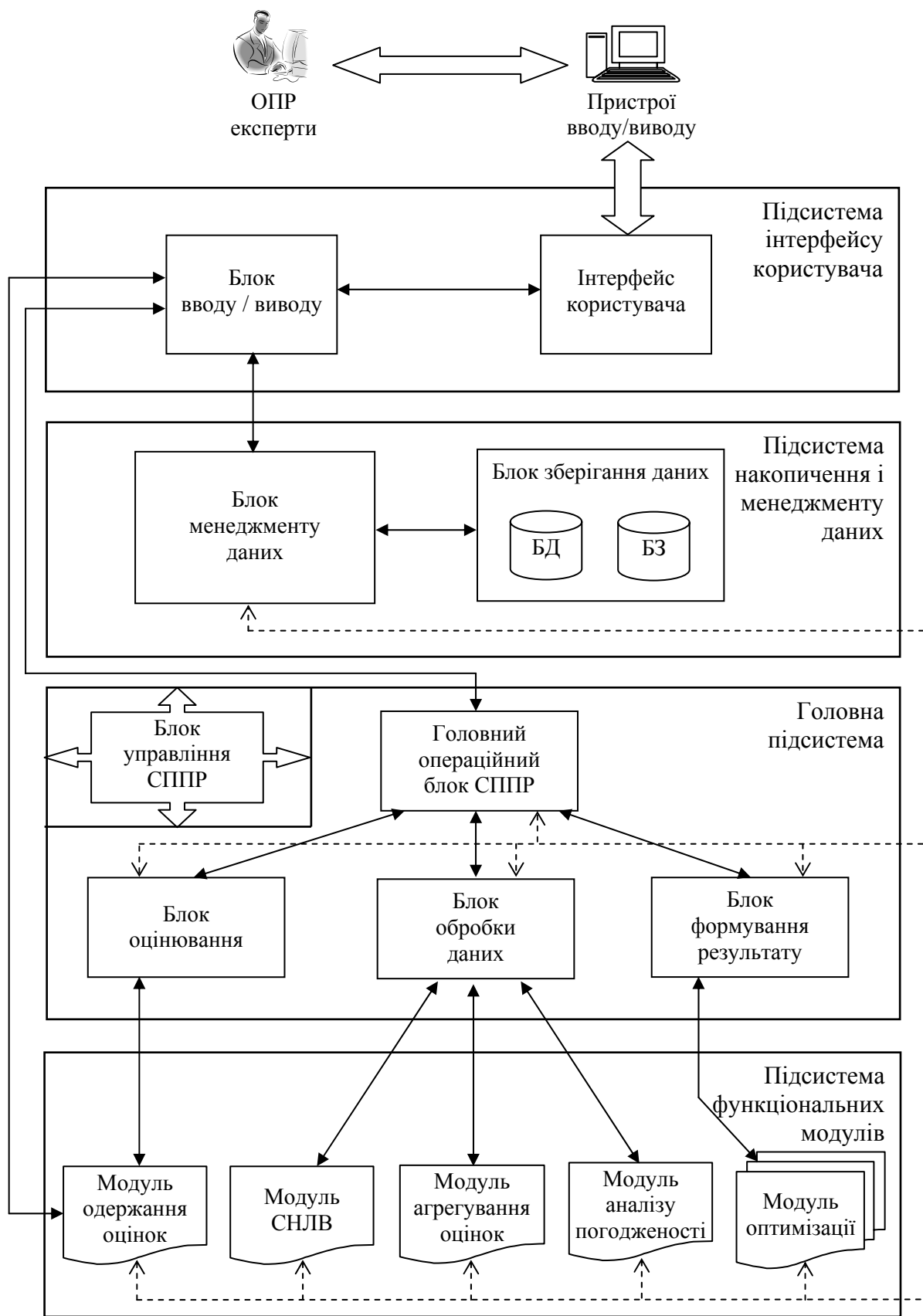


Рис. 9.22 Структура СППР для задачі розподілу ресурсів і вибору варіантів

системній методології, та передбачають можливість подальшого вдосконалення і розвитку без необхідності коригування інших елементів СППР. Необхідно зазначити, що в певних ситуаціях може виявитись доцільним розробити декілька модулів одного виду на основі різноманітних методів і вибирати один з них в залежності від конкретної задачі.

Головна підсистема СППР також містить службовий Блок управління СППР, який відповідає за режими і настройки функціонування СППР та забезпечує моніторинг і завдання параметрів для всіх підсистем і блоків СППР.

Представлена архітектура СППР легко модифікується до розв'язання задач інших класів, формування нових функцій інтерфейсу (адаптації до користувача), розширення множини функцій обчислювального та логічного характеру, а також можливостей застосування альтернативних методів обробки даних і прийняття рішень.

Розглянемо приклад застосування розробленої СППР для розподілу наявного бюджету  $B$  між основними напрямками фінансування галузі охорони здоров'я України. Наявний бюджет складає 3 млрд. грн. Є 9 проектів – альтернативних варіантів статей фінансування –  $P_i, i = \overline{1,9}$ , які представлені в таблиці 9.4.

Таблиця 9.4

#### Альтернативи $P_i$ для фінансування

$P_i$	Стаття фінансування
$P_1$	Соціальні програми для медперсоналу (в т.ч., забезпечення житлом, заохочення до праці в сільській місцевості, соціальний захист лікарів та медперсоналу тощо).
$P_2$	Ремонт старого існуючого обладнання та спеціальної медичної техніки.
$P_3$	Вітчизняне виробництво нового обладнання та спеціальної медичної техніки.
$P_4$	Закупка нового обладнання та спеціальної медичної техніки за кордоном.
$P_5$	Фінансування вітчизняних проектів наукових досліджень за біологічними, медичними та ветеринарними напрямками.
$P_6$	Фінансування установ середньої та вищої медичної освіти.
$P_7$	Перепідготовка та вдосконалення наявних медичних кадрів (в т.ч., стажування за кордоном).
$P_8$	Фінансування спеціальних оздоровчих програм та заходів (в т.ч., фінансування розвитку системи медичного страхування).
$P_9$	Розвиток матеріальної бази та інфраструктури системи охорони здоров'я (в т.ч., будівництва сучасних клінік, забезпечення доступу до світових медичних інформаційних ресурсів).

До розв'язання задачі залучена група  $D$  з 13 експертів-ОПР  $D_t$ ,  $t = \overline{1,13}$ . Задані та нормовані відносні вагові коефіцієнти експертів  $V_t$  наведені в таблиці 9.5.

Таблиця 9.5

**Вагові коефіцієнти експертів  $V_t$**

Експерт-ОПР $D_t$	Ваговий коефіцієнт $V_t$
$D_1$	0,105263
$D_2$	0,105263
$D_3$	0,105263
$D_4$	0,105263
$D_5$	0,105263
$D_6$	0,094737
$D_7$	0,094737
$D_8$	0,094737
$D_9$	0,094737
$D_{10}$	0,031578
$D_{11}$	0,021053
$D_{12}$	0,021053
$D_{13}$	0,021053

Для оцінювання та розподілу ресурсів між альтернативами експертами було запропоновано 20 критеріїв  $C_l$  оцінювання і вибору проектів, які складають ієрархічну структуру  $C = \{C_l\}$ ,  $l = \overline{1,20}$ . (рис.9.23)

Критерії  $C_3$ ,  $C_5$ ,  $C_{10}$  є проміжними узагальненими критеріями, а критерій  $C_1$  постає остаточною узагальненим критерієм добору альтернатив – ступінь привабливості проекту. Така структура критеріїв полегшує роботу експертів з контролю та корегування правил логічного висновку, при чому не призводить до погіршення якості результату.

Фактично кожна ОПР буде надавати оцінки альтернативам лише за 16 критеріями, такими, що не є агрегованими. Крім того, кожна ОПР  $D_t$ ,  $t = \overline{1,13}$  задає свої індивідуальні вагові коефіцієнти для критеріїв

оцінювання проектів  $W_{lt}$ ,  $l \in \{2,4,6,7,8,9,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20\}$ . Вагові коефіцієнти агрегованих критеріїв  $C_3$ ,  $C_5$ ,  $C_{10}$  визначаються сумою ваг їх складових критеріїв.

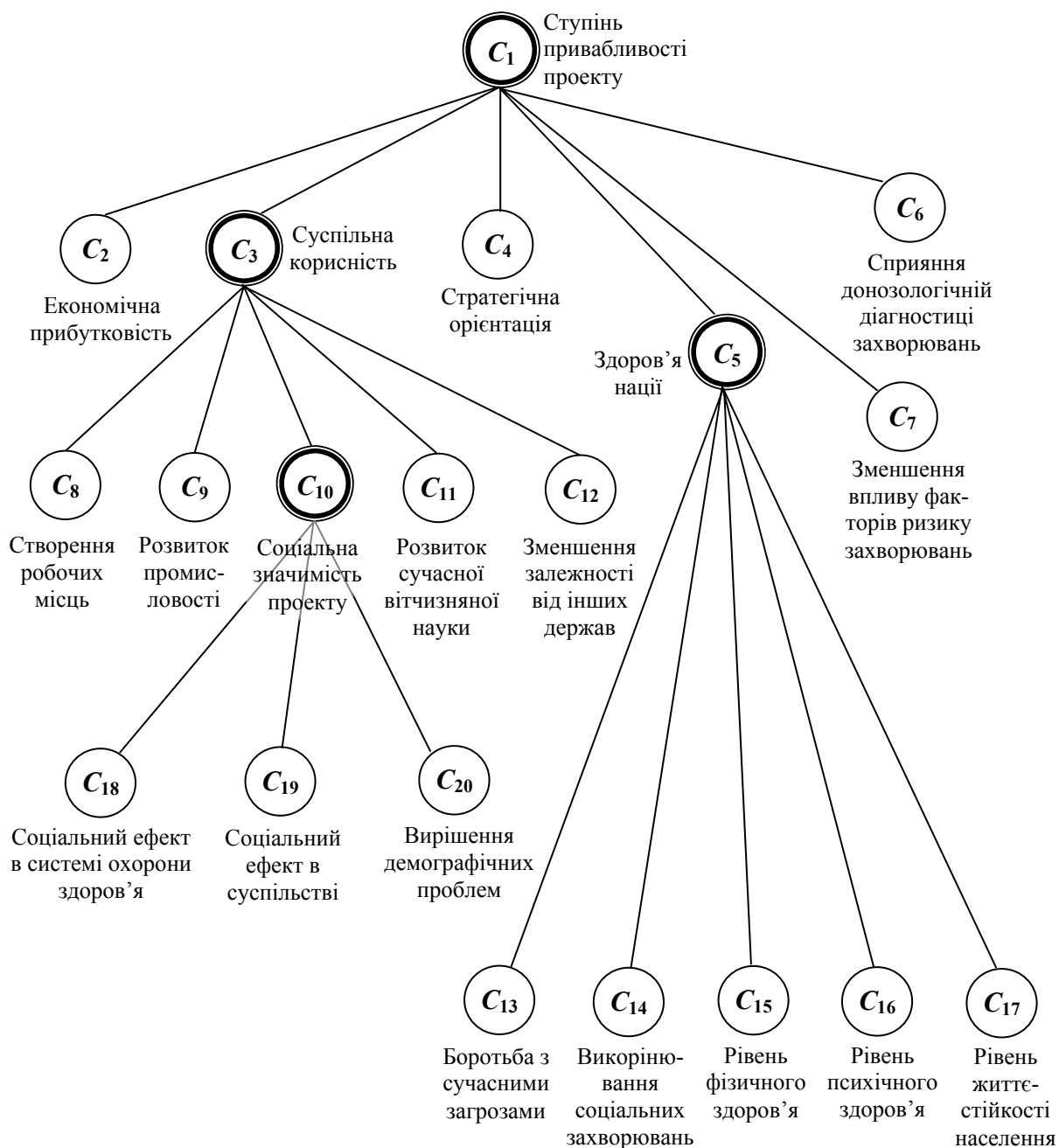


Рис. 9.23 Ієрархічна структура критеріїв оцінювання альтернатив

У відповідності до запропонованої експертами структури критеріїв для визначення ступеня привабливості проектів необхідно створити та застосувати чотири системи нечіткого логічного висновку – для визначення значень за кожним агрегованим критерієм  $C_1$ ,  $C_3$ ,  $C_5$ ,  $C_{10}$ .



Кількість градацій лінгвістичної змінної для кожного вхідного значення СНЛВ покладено 5 (схематично зображено на рис. 9.24), а кількість градацій лінгвістичної змінної для вихідного значення СНЛВ прийнято 7 (схематично зображено на рис. 9.25).

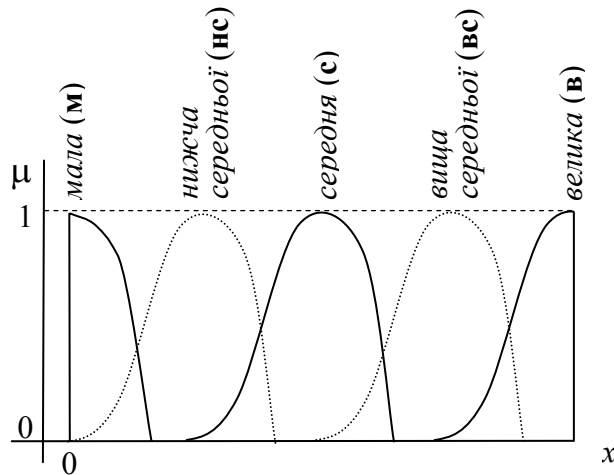


Рис. 9.24 Нечіткі множини значень вхідних лінгвістичних змінних СНЛВ

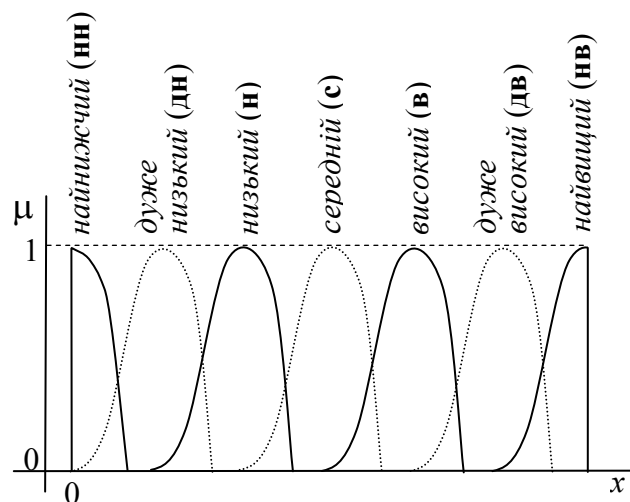


Рис. 9.25 Нечіткі множини значень вихідної лінгвістичної змінної СНЛВ

В результаті критеріального оцінювання проектів, аналізу погодженості експертних оцінок та їх агрегації отримані значення ступенів привабливості  $A_i$  для всіх проектів  $P_i$ ,  $i = \overline{1,9}$  (табл. 9.6). Відповідно до значень ступенів привабливості проектів до фінансування, враховуючи наявне бюджетне обмеження  $B$  та приймаючи до уваги необхідність фінансування всіх статей (проектів), за пропорційним принципом розрахуємо відносні та абсолютні обсяги  $B_i$  фінансування кожного проекту за (9.54):

$$B_i = B \cdot A_i / \sum_{ii=1}^9 A_{ii}, i = \overline{1,9}.$$

Таблиця 9.6

**Значення обсягів виділення ресурсів для альтернатив  $P_i$** 

Проект $P_i$	Ступінь привабливості $A_i$	Фінансування, %	Фінансування $B_i$ , млн грн
$P_1$	0,410674	10,0	300,0
$P_2$	0,412623	10,4	312,0
$P_3$	0,478933	12,1	363,0
$P_4$	0,431399	10,9	327,0
$P_5$	0,364861	9,25	277,5
$P_6$	0,451492	11,4	342,0
$P_7$	0,531856	13,4	402,0
$P_8$	0,367292	9,35	280,5
$P_9$	0,524367	13,2	396,0

**Контрольні задачі і запитання**

1. Вкажіть склад та послідовність етапів застосування методів експертних оцінок.
2. Опишіть структуру методології розв'язання задач розподілу ресурсів і задач вибору.
3. Доведіть необхідність ієрархічної структуризації критеріїв оцінювання.
4. Поясніть особливості узагальнення критеріальних оцінок.
5. Розкрийте зміст етапу зведення багатокритеріальної задачі прийняття рішення до однокритеріальної.
6. Дайте означення таким поняттям: нечітка множина, функція належності, лінгвістична змінна. Вкажіть зв'язок між ними.
7. Наведіть основні види функцій належності, охарактеризуйте їх.
8. У чому полягають переваги трикутних функцій належності?
9. Опишіть роботу і застосування системи нечіткого логічного висновку.
10. Сформулюйте зміст процедур аналізу погодженості оцінок.
11. Наведіть структуру СППР для задач розподілу ресурсів і задач вибору на основі методів експертних оцінок.

## РОЗДІЛ 10

# ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ З ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СППР

### Практичне заняття № 1

## ВИВЧЕННЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ (СППР)

(виконується письмово)

**Мета роботи:** Вивчити типи архітектур та призначення основних підсистем систем підтримки прийняття рішень на прикладі СППР при прогнозуванні динаміки економічних процесів (або при розв’язку іншої вибраної задачі), розробити структуру СППР вибраного типу і описати її основні функції.

### ЗАВДАННЯ НА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. *Прочитайте уважно теоретичні відомості* щодо підходів до побудови СППР та можливих типів їх архітектури, які наведені в першій частині опису даної роботи.
2. *Виберіть тип СППР* з наведеного нижче переліку (або запропонуйте свою систему) та нарисуйте її узагальнену структурну схему (архітектуру). Наприклад, *СППР при прогнозуванні часових рядів*. Звичайно, що СППР може бути призначена також для розв’язання проблем особистого характеру (планування кар’єри, вибору товарів для дому і т.ін. Структура системи може наближатись але не обов’язково повністю повторювати стандартні структури, наведені в теоретичній частині.

*Минулий досвід свідчить, що серйозний підхід до вибору типу СППР, її проектування та реалізації дозволяє суттєво скоротити час на вибір теми та виконання дипломного проекту на випускному курсі, а тому постарайтесь витратити свій час на роботу, корисну у майбутньому!*

СППР може бути такого типу (можливі приклади):

- СППР при моделюванні та прогнозуванні стаціонарних процесів;

- СППР при прогнозуванні часових рядів, нестационарних відносно тренду;
  - СППР при прогнозуванні часових рядів, нестационарних відносно дисперсії (гетероскедастичні процеси);
  - СППР при прогнозуванні нестационарних часових рядів;
  - СППР при прогнозуванні процесів на основі байєсівського підходу;
  - СППР при класифікації образів;
  - СППР при менеджменті банківських ризиків;
  - СППР при менеджменті економічних ризиків за умов ризику та/або невизначеності;
  - СППР при управлінні торговельним або виробничим підприємством;
  - СППР при виконанні політичних досліджень;
  - СППР при виконанні соціальних досліджень;
  - СППР при оптимізації перевезень (товарів, сировини і т.ін.);
  - СППР при оптимізації розміщення складів оптової торгівлі на території України;
  - СППР при багатокритеріальній оптимізації економічних рішень;
  - СППР при оптимізації реалізації приватизаційного процесу;
  - СППР при оптимізації розміщення обладнання (верстатів, роботів, складських приміщень) в цеху виробничого підприємства;
  - СППР при оптимізації розкрою матеріалів; 7
  - СППР при плануванні кар'єри;
  - СППР при виконанні маркетингових досліджень;
  - СППР при виборі та придбанні житла;
  - СППР при плануванні виробництва конкретної продукції;
  - СППР при управлінні якістю на виробництві;
  - СППР при діагностуванні та виявленні місця пошкодження (поломки) автомобіля, літака або космічного корабля;
  - СППР при медичному діагностуванні (необхідно вибрати конкретний напрям, наприклад, захворювання серця або нирок);
  - СППР при проектуванні фільтрів Калмана;
  - в загальному випадку до СППР відносять *експертні системи* будь-якого призначення.
3. **Поясніть** (письмово) призначення кожної підсистеми СППР. (Всі ваші рисунки і записи використаєте при оформленні курсового, а надалі і дипломного проекту.)
4. **Запишіть** які *типи запитів* до системи ви плануєте реалізувати? Можливими запитам є такі:
- Які типи моделей можна побудувати за допомогою СППР?
  - Які методи (функції) прогнозування можна використати для обчислення прогнозів?

- Які критерії адекватності моделей буде пропонувати система?
- Які критерії якості оцінок прогнозів буде пропонувати система?
- Запит на доповнення типів моделей.
- Запит на розширення множини алгоритмів оцінювання параметрів моделей.
- Запит на доповнення кількості критеріїв адекватності моделей.
- Запит на введення даних (значень ряду).
- Запит на доповнення і редагування даних.
- Запит на побудову моделі ряду.
- Запит на обчислення оцінки прогнозу.
- Запит на виведення результату у заданій формі (таблиця, графік, діаграма, текст і т.ін.).
- Запит на ретроспективний перегляд раніше отриманих результатів моделювання.
- Запит на ретроспективний перегляд раніше отриманих результатів прогнозування.
- Запити на надання допомоги стосовно використання функцій системи.
- Запит на розширення кількості допустимих запитів, тобто ми даємо завдання СППР розширити її власні можливості стосовно інтерактивної взаємодії з користувачем.

Звичайно, що кількість запитів можна розширити, а їх функції модифікувати. Наведений перелік можливих запитів представляє собою один із можливих прикладів створення мовної підсистеми.

Якщо ви вибрали для реалізації та дослідження СППР іншого типу (тобто не для прогнозування), то сформулюйте запити до неї.

5. **Опишіть які конкретні функції** буде виконувати система обробки даних та генерування результатів (СОДГР) в СППР, яку ви проектуєте. Тобто якщо це СППР при прогнозуванні динаміки часових рядів, то необхідно визначити такі елементи:

- типи математичних моделей, які можна будувати за допомогою СППР;
- критерії адекватності, які будуть використовуватись для вибору кращої моделі;
- конкретні типи функцій прогнозування, що будуть використовуватись в вашій системі;
- які критерії оцінювання якості прогнозу дозволить обчислювати система;
- правило вибору кращої моделі;

- правило вибору кращого прогнозу;
  - якщо система призначена для підтримки прийняття управлінських рішень, то опишіть метод прийняття рішення та обґрунтування його вибору.
6. Таким чином, **результатом виконання другої практичної роботи** є
- тип СППР, яку ви вибрали для проектування та реалізації;
  - описання призначення підсистем СППР;
  - перелік всіх можливих видів запитів до системи;
  - перелік функцій системи обробки даних та генерації результатів;
  - типи математичних чи статистичних моделей, які ви плануєте використовувати в системі;
  - перелік критеріїв вибору моделі при її побудові;
  - перелік функцій прогнозування, які будуть використовуватись в СППР (якщо СППР проектується для прогнозування);
  - критерії вибору кращого прогнозу чи управлінського рішення.
7. **Деякі практичні поради**, яких корисно притримуватись при виборі теми, створенні проекту СППР та його реалізації:
- задача, яку передбачається розв'язувати за допомогою СППР, що проектується, повинна бути під силу людині-експерту в даній галузі за допомогою доступних засобів і методів; тобто ми повинні мати достатній об'єм знань для створення системи;
  - процес прийняття рішення, який планується для реалізації, повинен бути узгодженим із процесом прийняття рішень, який застосовується людьми, тобто процесом мислення людини; така СППР буде справді практично корисною;
  - формулювання задачі проектування повинно бути структурованим, тобто, максимально чітким і зрозумілим – яку конкретно підтримку ми хочемо отримати від СППР і в якому об'ємі;
  - постарайтесь з самого початку визначити – *що система не зможе робити*; краще створити систему, яка зможе надійно розв'язувати простішу, обмежену задачу, ніж систему, що претендує на розв'язування відносно широкого класу задач, але вона не завжди даватиме вірне рішення;
  - необхідно відпрацювати (тестувати) поведінку системи на наборі представницьких (репрезентативних) окремих випадків та сформулювати і описати бібліотеку таких випадків для системи, що проектується;
  - визначте конкретні знання (*теорія, алгоритми, критерії, числа та текстова інформація*), які необхідні для розв'язання задачі у

- вибраній предметній області; це дозволить встановити можливість успішної реалізації системи;
- із самого початку постарайтесь або самостійно розробити окремі модулі програмного забезпечення СППР або (при можливості) скористатись вже розробленим програмним забезпеченням (ПЗ) і тестувати за його допомогою проектні концепції на вибраних представницьких (контрольних) прикладах;
  - опишіть контрольні приклади, які ви використовуєте, і результати їх застосування а також дані, які при цьому використовуються; такий підхід дозволяє уникнути грубих помилок при програмуванні і повторювання однієї й тієї ж роботи;
  - при програмуванні притримуйтеся правила: *“короткі програми (модулі) скорочують шлях до успіху і підвищують надійність системи”*; старайтесь реалізовувати *подібні функції подібними методами* в усіх компонентах програмного коду і оформляти їх в одному стилі;
  - жертвуйте продуктивністю програми, якщо це робить її зрозумілішою і прозорою ( в тому числі і в смислі читання програмного коду), а також спрощує її супроводження;
  - досить часто при розробці комерційних інформаційних систем спочатку розробляють прототип, який може постійно розширюватись і модифікуватись; прототип хороший тим, що він не занадто складний і дозволяє рекламувати СППР до її завершення, а також за короткі строки тестувати окремі функції; прототип часто трансформується у завершену систему;
  - створення прототипу починається з самих простих варіантів системи, а тому якщо постає питання про створення другого прототипу, то перший повинен бути негайно відкинутий, тобто перший варіант програмного коду надалі не використовують; спроби подальшого використання неякісних прототипів призводять марнування часу і фінансів;
  - запам’ятайте: *чим більше експериментів буде проведено з окремими модулями системи та із системою в цілому, тим надійшою та функціонально повнішою вона буде у процесі подальшого використання.*

## **8. Результати виконання роботи представляються у письмовій формі.**

### *Контрольні запитання*

1. Який тип СППР ви вибрали для проектування та реалізації (якщо ні, то чому)?
2. Які типи запитів до системи ви плануєте реалізувати?
3. Які основні функції буде виконувати СОДГР?
4. Які теоретичні знання, алгоритми, критерії та інша інформація необхідні для проектування та реалізації вашої системи?
5. Що може послужити контрольним прикладом (прикладом) для перевірки вашої СППР?
6. Що таке репрезентативний приклад при тестуванні системи?
7. У яких випадках оправдано написання довгих складних програм?
8. Для чого створюють прототип системи?
9. Чи можна перетворити прототип у закінчений варіант системи? Яким чином?

### *Література*

1. Олексюк О.С. Системи підтримки прийняття фінансових рішень на мікрорівні. – Київ: Наукова думка, 1998. – 508 с.
2. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. – Москва: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
3. Глухов В.В., Медников М.Д., Коробко С.Б. Математические методы и методы для менеджмента. – Москва: Лань, 2000. – 480 с.
4. Джексон П. Экспертные системы. – Москва, С.-Петербург, Киев: Вильямс, 2001. – 624 с.
5. Кігель В.Р. Математичні методи ринкової економіки. – Київ: Кондор, 2003. – 158 с.
6. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. – Москва: Логос, 2000. – 296 с.
7. Черноручкий И.Г. Методы оптимизации и принятия решений. – С.-Петербург: Лань, 2001. – 384 с.
8. Цисарь И.Ф., Нейман В.Г. Компьютерное моделирование экономики. – Москва: Диалог-МИФИ, 2002. – 304 с.
9. Эддоус М., Стэнсфилд Р. Методы принятия решений. – Москва: Аудит, ЮНИТИ, 1997. – 590 с.
10. Holsapple C.W., Whinston A.B. Decision Support Systems (a knowledge based approach). – New York: West Publishing Company. – pp. 860.



**Практичне заняття № 2**  
**ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ДАНИХ І ГЕНЕРУВАННЯ**  
**РЕЗУЛЬТАТІВ, А ТАКОЖ БАЗИ ЗНАНЬ І ДАНИХ**  
**ЗАВДАННЯ**  
(виконується письмово)

**ЗАВДАННЯ НА ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

1. Наведіть перелік функцій СОДГР для СППР, яку ви проектуєте.
2. Виберіть та опишіть алгоритми, на яких базується СОДГР.
3. Опишіть типи даних і знань, які необхідні для побудови та використання вашої СППР.
4. Нарисуйте структуру бази даних і бази знань, які ви будете використовувати.

*Контрольні запитання*

1. Який спосіб представлення знань ви вибрали для своєї СППР і чому?
2. Що таке семантична мережа? Наведіть приклад.
3. Що таке фрейм? Наведіть приклад.
4. В чому полягає різниця між фреймами-прототипами і фреймами-екземплярами?
5. Яким способом може отримувати значення слот у фреймі-екземплярі?
6. Що представляють собою процедурні знання?
7. Які типи структур баз даних є найбільш поширеними?

*Література*

1. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – С.-Петербург: Питер, 2000. – 384 с.
2. Джексон П. Экспертные системы. – Москва, С.-Петербург, Киев: Вильямс, 2001. – 624 с.

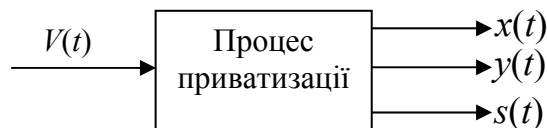
**Практичне заняття № 3**  
**ПОБУДОВА АРХІТЕКТУРИ, СПОСОБИ ПРЕДСТАВЛЕННЯ**  
**РЕЗУЛЬТАТІВ,**  
**ВИБІР ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СППР**  
**ПРИ УПРАВЛІННІ ПРОЦЕСОМ ПРИВАТИЗАЦІЇ**  
(виконується письмово)

Процес побудови СППР при управлінні процесом приватизації складається з наступних кроків:

А) Аналіз проблеми на заданому рівні:

- галузь;
- кілька суміжних (зв'язаних) галузей;
- на рівні держави.

Б) Визначення входів процесу та інших змінних, що його характеризують:



$v(t)$  – швидкість реалізації

$y(t)$  – поточна зайнятість в галузі

$x(t)$  – поточний об'єм виробництва в галузі.

Допоміжні змінні:

- $K$  – число підприємств, що підлягають приватизації;
- $T$  – час досягнення мети (горизонт керування);
- $f(t)$  – поточний об'єм продукції, яка виробляється на одному приватному підприємстві;
- $N$  – число робітників на приватному підприємстві;
- $g(t)$  – продуктивність державного підприємства;
- $g(t)/N$  – продуктивність робітника на приватному підприємстві;
- $f(t)/n$  – продуктивність робітника на приватному підприємстві;
- $h(t)$  – поточне число підприємств, які знаходяться в процесі переходу від державної до приватної форми власності;
- $n'$  – число робітників на одному підприємстві, яке знаходиться в процесі переходу до приватної форми власності;
- $f'(t)$  – поточна продуктивність підприємства, яке знаходиться в процесі переходу;

- $\frac{f'(t)}{n'}$  – продуктивність робітника на підприємстві, яке знаходиться процесі переходу;
- $\alpha(t)$  – коефіцієнт, який характеризує зростання числа підприємств, що переходять до приватної форми власності; при цьому  $0 \leq \alpha(t) \leq 1, t \in [0, T]$ ;
- $S(t)$  – поточна сума виручки від продажу підприємства;
- $C_0$  – початкова вартість 1 – го підприємства;
- $C(t)$  – приріст вартості підприємства в часі.

В) Побудова математичної моделі процесу приватизації

$$x(t) = [f(t) - g(t)] v(t) + \frac{f'(t)}{n'} \alpha(t) [NK - y(t)] \quad (1)$$

$$y(t) = - (N - n) v(t) + \alpha(t) [NK - y(t)] \quad (2)$$

$$S(t) = v(t) [C_0 + C(t)].$$

Обмеження на змінні:

- обмеження на швидкість приватизації:  $v(t) > 0$
- обмеження на число підприємств, що приватизуються:  

$$\int_0^t v(t) dt \leq K$$
; де  $K$ -число підприємств, що приватизуються;
- обмеження на рівень безробіття:  $y(t) \geq (1 - r) \cdot N \cdot K, 0 \leq r < 1$ ;  
де  $r$  – рівень безробіття;

Початкові умови:  $r, K, T, v(0) = v_0 > 0; x(0) = y(0) \cdot K; y(0) = N \cdot K$ .

Можливі критерії оптимізації:

- максимізація об'єму виробництва:  $I_1 = \max_{v(t) \in c} \int_0^T x(t) d(t)$ ; де  $c$ -

клас кусочно-неперервних функцій;

- максимізація прибутку від продажу підприємств:

$$I_2 = \max_{v(t)} \int_0^T s(t) d(t);$$

- максимізація зайнятості:  $I_3 = \max_{v(t)} \int_0^T y(y) d(t)$ .

Вибір методів розв'язку:

- варіаційний метод, як найбільш загальний;
- узагальнений метод множників Лагранжа;
- експертний метод (без наведеної моделі).

Оптимальні траєкторії реалізації процесу приватизації представлені на рис. 10.1.

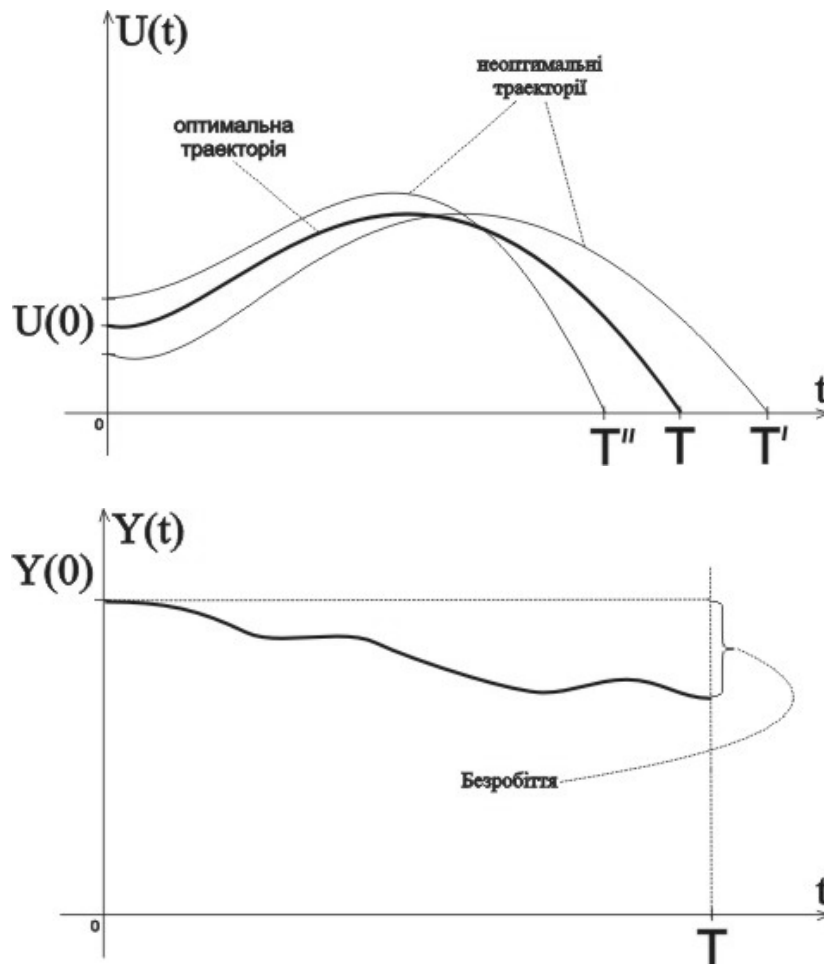


Рис. 10.1 Оптимальні траєкторії процесу приватизації

Таким чином, при різних початкових умовах та обмеженнях отримуємо різні траєкторії реалізації процесу, з яких необхідно вибрати прийнятні.

Ще одним результатом роботи СППР є множина значень критеріїв  $I_1^{(1)}, \dots, I_1^{(n)}; I_2^{(1)}, \dots, I_2^{(n)}; I_3^{(1)}, \dots, I_3^{(n)}$ , використаних для постановки і розв'язку оптимізаційних задач.

Г) Вибір кращого рішення.

Кращий розв'язок з множини отриманих можна знайти шляхом порівняння чисельних значень критеріїв оптимізації та траєкторії реалізації процесу. Так, не можна вважати прийнятними траєкторії, які закінчуються раніше моменту  $T$  (момент  $T''$ ) або пізніше (момент  $T''$ ), тому що процес повинен закінчитись за планом в момент  $T$ .

Процес вибору прийнятних траєкторій реалізації процесу можна автоматизувати, якщо створити ряд правил типу: якщо  $I_1^{(i)} \geq j_1^{(i)}$  і траєкторія  $v(t) = 0$  закінчується в момент  $T$  і рівень безробіття  $\Gamma \leq \Gamma$  задане, то траєкторія прийнятна для реалізації.

## ЗАВДАННЯ НА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Результат виконання завдання в цілому повинен містити таку інформацію у письмовому вигляді (файл у Word):

1. «Технічну пропозицію» для створення СППР при управлінні процесом приватизації
2. Докладний опис трьох фаз прийняття рішення за вибраною проблемою.
3. Обґрунтування і опис вибраної архітектури (структури) СППР (з яких систем вона складається).
4. Функціональні вимоги до СППР.
5. Вимоги користувача до системи.
6. Опис можливих запитів до системи.
7. Способи представлення результатів.
8. Критерії, що використовуються при виборі кращого рішення з множини можливих альтернатив.
9. Який інструментарій пропонується використати для реалізації СППР і чому.

**Практичне заняття № 4**  
**ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕРФЕЙСУ КОРИСТУВАЧА СППР ПРИ**  
**УПРАВЛІННІ ПРОЦЕСОМ ПРИВАТИЗАЦІЇ**  
(виконується програмно і письмово)

**ЗАВДАННЯ НА ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

Спроекувати інтерфейс користувача, який би забезпечив роботу СППР при управлінні процесом приватизації. Інтерфейс повинен забезпечити простоту експлуатації системи, достатню гнучкість і мати розгалужену систему підказок та надавати можливість створення запитів які необхідно для організації діалогу користувач – система, а саме:

- запити на модифікацію та доповнення бази даних і знань;
- ведення нових алгоритмів оцінювання параметрів математичних моделей;
- розширення системи за рахунок нових алгоритмів;
- запити на формування конкретних процедур обробки даних та прогнозування (формулювання вимог);
- запити на вибір та формулювання критеріїв розв'язку задачі;
- запити на виконання задач моделювання і прогнозування;
- запити на форму представлення результатів;
- запит на ретроспективний аналіз розв'язування подібних задач;
- перевірка запитів на коректність та генерація підказок користувачу;
- запит щодо поточного стану системи.

Звіт надати у вигляді форм. Описати дію кожного з елементів управління, із застосованих на формі, та запити, що формуються внаслідок вибору того або іншого стану елементів управління.

**ДОДАТКИ**  
**ПЕРЕЛІК ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ**  
**НА РОЗРОБКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

1. Технічні пропозиції
2. Технічне завдання
3. Технічний проект
4. Експлуатаційна документація:
  - Відомість експлуатаційних документів
  - Інструкція для експлуатації комплексу технічних засобів
  - Посібник користувача
  - Формуляр
5. Організаційно-розпорядницька документація

## **Технічна пропозиція**

### 1. У даному документі:

- повинна бути описана оцінка можливості реалізації Вимог замовника;
- повинні бути розглянуті можливі варіанти реалізації Вимог;
- виробляється оцінка необхідних ресурсів на реалізацію Вимог і забезпечення функціонування системи;
- виробляється оцінка переваг і недоліків кожного варіанта;
- повинні бути співставлені вимоги замовника й характеристики запропонованого рішення, запропоновано оптимальний варіант;
- може бути запропоновано порядок оцінки якості й умов приймання системи.

### 2. Документ містить наступні розділи:

- I. Введення.
- II. Постановка завдання й запропонований варіант її рішення.
- III. Опис технічних і програмних засобів.
- IV. Інші варіанти реалізації вимог замовника. Порівняльний аналіз.
- V. Схеми й малюнки.
- VI. Специфікації запропонованого комплексу технічних і програмних засобів.
- VII. Інформаційні матеріали про фірму-розроблювача й фірми-виконавця.
- VIII. Рекламні матеріали.



### Технічне завдання

Основні положення розробки Технічного завдання (ТЗ):

- Відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 34.602-89 ТЗ є основним документом, що визначає вимоги й порядок створення системи, відповідно до якого проводиться розробка системи і її прийняття при впровадженні в дію.
- Допускається розробка ТЗ на окремі частини системи.
- Спочатку допускається розробка *проекту Технічного завдання*. Проект ТЗ розробляє організація-розроблювач системи за участю замовника на підставі Вимог замовника (Форма1). Зауваження по проекту ТЗ повинні бути представлені з технічним обґрунтуванням. Рішення по зауваженнях повинні бути прийняті розроблювачем проекту ТЗ і замовником до затвердження ТЗ.
- Затвердження ТЗ здійснюють керівники організацій розроблювача й замовника.
- Зміни до ТЗ оформляють доповненням або підписаним замовником і розроблювачем протоколом (Форма 4).
- Номера сторінок ТЗ проставляють, починаючи з першого аркуша, що впливає за титульним, у верхній частині аркуша посередині.
- Якщо конкретні значення показників, норм і вимог не можуть бути встановлені в процесі розробки ТЗ, у ньому варто зробити запис про порядок встановлення й узгодження цих показників: “Остаточна вимога (значення) уточнюється в процесі ... і погоджується протоколом з ... на стадії ...”. При цьому в текст ТЗ змін не вносять.
- Форма титульного аркуша ТЗ наведена в Додатку 4-1, а останнього аркуша ТЗ - у Додатку 4-2.
- Титульний аркуш доповнення до ТЗ оформляють аналогічно титульному аркушу ТЗ. Замість найменування “Технічне завдання” пишуть “Доповнення № \_\_\_ до ТЗ \_\_\_”.
- Розділи, які повинне містити ТЗ:

#### 1. Загальні відомості.

У даному розділі вказуються:

- повне найменування системи і її умовні позначки;
- номер договору (якщо є);
- найменування підприємств розроблювача й замовника і їхні реквізити;
- перелік документів, на підставі яких створюється система, ким і коли затверджені ці документи;
- планові строки початку й закінчення робіт;
- відомості про джерела й порядок фінансування;

- порядок оформлення й пред'явлення замовникові результатів робіт із створення системи.

## **2. Призначення й мети створення системи.**

У довільній формі.

## **3. Характеристики об'єкта.**

У цьому розділі наводяться:

- короткі відомості про об'єкт або посилання на документи, що містять таку інформацію;
- відомості про умови експлуатації системи.

## **4. Вимоги до системи.**

Складаються з підрозділів:

### *4.1. Вимоги до системи в цілому:*

- вимоги до структури та функціонування системи;
- вимоги до чисельності й кваліфікації персоналу системи;
- показники призначення (наводяться значення параметрів, що характеризують ступінь відповідності системи її призначенню);
- вимоги до надійності;
- вимоги безпеки;
- вимоги до експлуатації, технічному обслуговуванню, ремонту й зберіганню компонентів системи;
- вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу;
- вимоги по збереженню інформації при аваріях (наводиться перелік подій, при яких повинна бути забезпечена схоронність інформації в системі);
- вимоги до захисту від впливу зовнішніх впливів;
- вимоги по стандартизації й уніфікації;
- додаткові вимоги.

### *4.2. Вимоги до функцій, які виконуватиме система:*

- перелік функціональних підсистем, що вводять у дію в 1-у і наступних чергах;
- часовий регламент реалізації кожної функції;
- вимоги до якості реалізації кожної функції.

### *4.3. Вимоги до видів забезпечення*

- вимоги до математичного, інформаційного, програмного, технічного й іншого видів забезпечення системи.

Подробиці – у ДЕРЖСТАНДАРТ 34.602-89, стор.21-23.

## **5. Склад і зміст робіт із створення (розвитку) системи.**

Даний розділ містить:

- перелік стадій і етапів робіт із створення системи, строки їхнього виконання,

- перелік організацій-виконавців робіт, посилання на документи, що підтверджують згоду цих організацій на участь у створенні системи, або запис, що визначає відповідального за проведення цих робіт;
- перелік документів, запропонованих по закінченні відповідних стадій і етапів робіт.

#### **6. Порядок контролю й приймання системи.**

Вказуються:

- види, склад, обсяг і методи випробувань системи і її складових частин;
- загальні вимоги до приймання робіт (перелік підприємств і організацій, що беруть участь, місце й строки проведення), порядок узгодження й затвердження приймальної документації;
- статус приймальної комісії (державна, міжвідомча, відомча).

#### **7. Вимоги до складу й змісту робіт по підготовці об'єкта до введення системи в дію.**

Наводиться перелік основних заходів:

- зміни, які необхідно здійснити в об'єкті;
- створення умов функціонування об'єкта, при яких гарантується відповідність створюваної системи вимогам ТЗ;
- створення необхідних для функціонування системи підрозділів і служб;
- строки й порядок комплектування штатів і навчання персоналу.

#### **8. Вимоги до документування.**

У цьому розділі наводять:

- погоджений розроблювачем і замовником перелік робіт, які підлягають розробці комплектів і видів документів; перелік документів, що створюють на машинних носіях;
- при відсутності держ.стандартів, що визначають вимоги до документування елементів системи, додатково включають вимоги до складу й змісту таких документів.

#### **9. Додатки:**

- розрахунок очікуваної ефективності системи;
- оцінка науково-технічного рівня системи;
- та ін.

**Форма титульного аркуша ТЗ на систему**

**АТ "PROFYSOFT "**

ЗАТВЕРДЖУЮ

\_\_\_\_\_

(ПІБ)

\_\_\_\_\_

(посада)

\_\_\_\_\_

(найменування підприємства-замовника)

\_\_\_\_\_

(підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_р.

(Печатка)

ЗАТВЕРДЖУЮ

\_\_\_\_\_

(ПІБ)

\_\_\_\_\_

(посада)

\_\_\_\_\_

(найменування підприємства-виконавця )

\_\_\_\_\_

(підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_р.

(Печатка)

---

найменування

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

На \_\_\_\_\_ аркушах

**КИЇВ – 201\_ р.**

**Форма останнього аркуша ТЗ****СКЛАЛИ**

Найменування організації, підприємства	Посада виконавця	Прізвище, ім'я, по батькові	Підпис	Дата

**ПОГОДЖЕНО**

Найменування організації, підприємства	Посада	Прізвище, ім'я, по батькові	Підпис	Дата

## Технічний проект

### 1. Загальні положення.

- Строго кажучи, повний процес підготовки документації включає підготовку Ескізного проекту, Технічного проекту й Робочої документації. Але ДЕРЖСТАНДАРТ допускає об'єднання цих документів в один, що й потрібно в більшості випадків (ДЕРЖСТАНДАРТ 34.601-90).
- У загальному випадку, Технічний проект складається з наступних розділів (РД 50-34.698-90):
  - загальносистемні рішення;
  - рішення по організаційному забезпеченню;
  - рішення по технічному забезпеченню;
  - рішення по інформаційному забезпеченню;
  - рішення по програмному забезпеченню;
  - рішення по математичному забезпеченню.
- Перелік найменувань розроблювальних документів і їхня комплектність повинні бути визначені в Технічному завданні.
- Після назв документів у даному Додатку в дужках вказується їхній код відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 34.201-89. Цей код використовується при формуванні позначення документів. Кожний з розділів Технічного проекту, що має самостійне позначення, може бути виділений в окремий документ.

### 2. Зміст розділів Технічного проекту.

#### 2.1. Пояснювальна записка містить розділи:

##### 2.1.1. Загальні положення:

- найменування проєктованої системи й найменування документів, їхнього номера й дату завершення, на підставі яких ведуть проєктування системи;
- перелік організацій, що беруть участь у розробці системи, строки виконання стадій;
- мета, призначення й області використання системи;
- відомості про передовий досвід, винаходи, використані при розробці проєкту;
- черговість створення системи й обсяг кожної черги;

##### 2.1.2. Опис процесу діяльності:

- як буде забезпечений взаємозв'язок і сумісність процесів автоматизованої й неавтоматизованої діяльності, вимоги до організації робіт в умовах функціонування системи;

*2.1.3. Опис постановки завдання (комплексу завдань):*

- характеристики комплексу завдань;
- вихідна інформація;
- вхідна інформація;

*2.1.4. Основні технічні рішення:*

- загальносистемні рішення:
  - рішення за структурою системи, підсистем, засобам і способам зв'язку для інформаційного обміну між компонентами системи, підсистем;
  - рішення по взаємозв'язках системи із суміжними системами, забезпеченню її сумісності;
  - рішення по режимах функціонування, діагностуванню роботи системи;
- рішення стосовно організаційного забезпечення:
  - опис організаційної структури (зміни в організаційній структурі керування об'єктом і у взаємозв'язках між підрозділами);
  - опис технологічного процесу обробки даних (включаючи телеобробку);
- рішення по технічному забезпеченню:
  - опис комплексу технічних засобів:
    - загальні положення;
    - структура комплексу технічних засобів;
    - апаратури передачі даних;
  - план розташування технічних засобів, що вимагають спеціальних приміщень або окремих площ для розміщення;
- рішення по інформаційному забезпеченню: склад інформації, обсяг, способи її організації, види машинних носіїв, вхідні й вихідні документи і повідомлення, послідовність обробки інформації та інші компоненти;
- рішення по програмному забезпеченню:
  - структура програмного забезпечення (перелік частин ПЗ із вказівкою їхніх взаємозв'язків і обґрунтуванням виділення кожної з них);
  - функції частин програмного забезпечення;
  - методи й засоби розробки програмного забезпечення;
  - операційна система;
  - засоби, що розширюють можливості операційної системи;
- рішення по алгоритмах і методах їх реалізації;

*2.1.5. Заходи щодо підготовки об'єкта до введення системи в дію:*

- заходи щодо приведення інформації до вигляду, придатного для обробки на ЕОМ;
- заходи щодо навчання і перевірки кваліфікації персоналу;
- заходи щодо створення необхідних підрозділів і робочих місць;
- інші заходи, що виходять із специфічних особливостей створюваної системи.

*2.2. Схема організаційної структури:*

- склад підрозділів (посадових осіб) організації, що забезпечують функціонування системи або використовують при ухваленні рішення інформацію, отриману від системи;
- основні функції і зв'язки між підрозділами та посадовими особами, зазначеними на схемі, їхня підпорядкованість.

*2.3. Схема функціональної структури:*

- елементи функціональної структури системи; автоматизовані функції й завдання; сукупності дій (операцій), виконуваних при реалізації автоматизованих функцій тільки технічними засобами (автоматично) або тільки людиною;
- інформаційні зв'язки між елементами та із зовнішнім середовищем з короткою вказівкою змісту повідомлень і/або сигналів, переданих по лініях зв'язку, і при необхідності, зв'язку інших типів;
- деталізовані схеми частин функціональної структури.

*2.4. Схема структурна комплексу технічних засобів.*

Документ містить склад комплексу тех.засобів і зв'язку між цими технічними засобами або групами технічних засобів, об'єднаних за якими-небудь логічними ознаками.

*2.5. Локальний кошторисний розрахунок:*

Містить відомості про кошторисну вартість робіт, виконуваних при створенні системи, і кошторисної вартості об'єктів, що споруджують при створенні системи.

*2.6. Програма і методика випробувань.*

Призначена для встановлення даних, що забезпечують одержання й перевірку проектних рішень, виявлення причин відмов, визначення якості робіт, показників якості функціонування системи, перевірку відповідності системи вимогам ТБ, тривалість і режим випробувань.

Перелік перевірок, які варто здійснювати при випробуваннях для підтвердження виконання вимог ТЗ, з посиланнями на відповідні методики випробувань включає такі елементи:

- відповідність системи ТЗ;
- комплектність системи;
- комплектність і якість документації;



- комплектність, достатність складу і якість програмних засобів і програмної документації;
- кількість і кваліфікацію обслуговуючого персоналу;
- ступінь виконання вимог функціонального призначення системи;
- придатність системи для контролю;
- виконання вимог ТБ, протипожежній безпеці, промисловій санітарії, ергономіки;
- функціонування системи із застосуванням програмних засобів.

**Форма титульного аркуша Технічного проекту**

**АТ "PROFYSOFT"**

ЗАТВЕРДЖУЮ

\_\_\_\_\_ (ПІБ)

\_\_\_\_\_ (посада)

\_\_\_\_\_ (найменування підприємства-замовника)

\_\_\_\_\_ (підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_\_ р.

(Печатка)

ЗАТВЕРДЖУЮ

\_\_\_\_\_ І.І. Іваненко  
(ПІБ)

\_\_\_\_\_ Президент  
(посада)

\_\_\_\_\_ АТ "Profysoft"  
(найменування підприємства-виконавця )

\_\_\_\_\_ (підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_\_ р.

(Печатка)

**ТЕХНІЧНИЙ ПРОЕКТ**

\_\_\_\_\_ (назва розроблюваної системи)

На \_\_\_\_\_ аркушах

**ПОГОДЖЕНО**

Керівник (посада,  
найменування організації,  
яка погоджує)

Особистий підпис

Розшифровка  
підпису

Печатка  
Дата

**Форма останнього аркуша ТП**

## СКЛАЛИ

Найменування організації, підприємства	Посада виконавця	Прізвище, ім'я, по батькові	Підпис	Дата

## ПОГОДЖЕНО

Найменування організації, підприємства	Посада	Прізвище, ім'я, по батькові	Підпис	Дата

### **Експлуатаційна документація**

Складається з таких документів:

- Відомість експлуатаційних документів;
- Інструкція для експлуатації комплексу технічних засобів;
- Посібник користувача;
- Формуляр.

### **Відомість експлуатаційних документів**

Містить перелік експлуатаційних документів і їхнього позначення. У нашому випадку експлуатаційними документами є:

- Інструкція для експлуатації комплексу технічних засобів;
- Посібник користувача;
- Формуляр.

## **Інструкція стосовно експлуатації комплексу технічних засобів**

Містить розділи:

### **1. Загальні вказівки**

- вид устаткування, для якого складена дана інструкція;
- найменування функцій системи, реалізованих на даному устаткуванні;
- регламент і режими роботи устаткування стосовно реалізації функцій;
- перелік експлуатаційних документів, якими повинен додатково керуватися персонал при експлуатації даного устаткування.

### **2. Міри безпеки**

- правила безпеки, яких необхідно дотримуватись під час підготовки устаткування до роботи та при його експлуатації.

### **3. Порядок роботи**

- склад і кваліфікація персоналу, що допускається до експлуатації устаткування;
- порядок перевірки знань персоналу і допуску його до роботи;
- опис робіт і послідовність їх виконання.

### **4. Перевірка правильності функціонування**

- зміст і короткі методики основних перевірок функціональності устаткування і правильності виконання функцій системи.

### **5. Вказівки про дії в різних режимах**

- дії персоналу в нормальному режимі роботи, аварійному відключенні устаткування, передаварійному і аварійному стані об'єкта автоматизації, пусковому та зупинному режимах функціонування об'єкта.

## Посібник користувача

Містить розділи:

### 1. Введення

- область застосування;
- короткий опис можливостей;
- рівень підготовки користувачів;
- перелік документації, з якою необхідно ознайомитися користувачеві.

### 2. Призначення й умови застосування

- види діяльності, функції, для яких призначена розроблена система;
- умови, при дотриманні яких забезпечується застосування розробленої системи відповідно до призначення (наприклад, конфігурація технічних засобів, операційне середовище й програмні засоби, вхідна інформація, носії даних, бази даних, вимоги до підготовки фахівців і т.п.).

### 3. Підготовка до роботи

- склад і зміст дистрибутивного носія інформації;
- порядок завантаження даних і програм;
- порядок перевірки функціональності системи.

### 4. Опис операцій

- опис всіх виконуваних функцій, завдань, процедур;
- опис операцій технологічного процесу обробки даних, необхідних для виконання функцій, завдань, процедур. Для кожної операції обробки даних вказують найменування, умови, при яких можливе виконання операції, підготовчі дії, основні дії в необхідній послідовності, заключні дії, ресурси, що витрачаються на операцію. Наводиться перелік посад персоналу, на які поширюються дані правила виконання операцій технологічного процесу обробки даних.

### 5. Аварійні ситуації

- дії у випадку недотримання умов виконання технологічного процесу, у тому числі при тривалих відмовах технічних засобів;
- дії по відновленню програм/даних;
- дії у випадку виявлення несанкціонованого втручання в дані;
- дії в інших аварійних ситуаціях.

## **6. Рекомендації з освоєння**

- рекомендації стосовно освоєння та експлуатації системи, включаючи опис контрольного прикладу, правила його запуску і виконання.

## Формуляр

Зберігається у замовника і ним же заповнюється у процесі експлуатації системи. У ньому фіксуються всі несправності і аварійні ситуації, а також вжиті при цьому заходи.

Містить розділи:

### 1. Загальні відомості

- найменування системи і її позначення;
- найменування розробника;
- дата здачі системи в експлуатацію;
- загальні вказівки персоналу по експлуатації системи;
- вимоги стосовно ведення формуляра й місця його зберігання;
- перелік технічної документації, з якою повинен бути ознайомлений персонал.

### 2. Основні характеристики

- перелік реалізованих функцій;
- кількісні і якісні характеристики системи і її частин;
- опис принципів функціонування системи, регламент і режими функціонування;
- відомості про взаємодію системи з іншими системами.

### 3. Комплектність

- перелік технічних і програмних засобів;
- перелік експлуатаційних документів.

### 4. Свідчення про приймання

- дати підписання актів приймання системи і її частин у промислову експлуатацію;
- прізвища голів комісій, що здійснюють приймання системи.

### 5. Гарантійні зобов'язання

- гарантійні зобов'язання розроблювачів по системі в цілому й частинам, що мають різні гарантійні строки;
- перелік технічних засобів системи, що мають гарантійні терміни служби менше гарантійних строків для системи.

### 6. Відомості про стан системи

- відомості про несправності, у тому числі дата, час, характер, причина виникнення й особи, що усунула несправність;
- зауваження по експлуатації та аварійних ситуаціях, вжиті при цьому заходи;



- відомості про ремонт технічних засобів і зміни у програмному забезпеченні із вказівкою підстави, дати, а також зміст зміни;
- відомості про виконання регламентних (профілактичних) робіт і їхніх результатів.

#### **7. Відомості про рекламачії**

- номер, дата й короткий зміст рекламачійного акту;
- відомості про усунення зауважень, зазначених в акті.

### **Організаційно-розпорядницька документація**

На етапі впровадження в дію розробленої системи готуються такі документи:

#### **1. Наказ про склад приймальної комісії:**

- найменування прийнятої системи в цілому або її частин;
- відомості про склад комісії;
- підстава для організації комісії;
- найменування організації-замовника;
- найменування організації-розроблювача, організацій-співвиконавців;
- призначення і мета роботи комісії;
- строки початку і завершення роботи комісії;
- вказівка про форму завершення роботи комісії.

#### **2. План-графік робіт**

2.1. Документ встановлює перелік робіт, строки виконання й виконавців робіт, пов'язаних із впровадженням у дію системи.

2.2. Для кожної роботи вказується:

- найменування роботи;
- дата початку й закінчення роботи;
- найменування підрозділу-учасника роботи;
- прізвище й посада відповідального виконавця;
- форма подання результатів роботи.

#### **3. Накази про проведення робіт:**

- наказ про готовність об'єкта до проведення будівельно-монтажних робіт;
- наказ про готовність об'єкта до проведення налагоджувальних робіт;
- наказ про початок дослідної експлуатації системи;
- наказ про введення в промислову експлуатацію системи.

#### **4. Протокол випробувань:**

- найменування об'єкта випробувань;
- список посадових осіб, що проводила випробування;
- ціль випробувань;
- відомості про тривалість випробувань;
- перелік пунктів ТЗ на створення системи, на відповідність яким виконано випробування;
- відомості про результати спостережень за правильністю функціонування системи;

- відомості про відмови, збої й аварійні ситуації, що виникають при випробуваннях;
- відомості про коректування параметрів об'єкта випробування.

#### 5. **Акт завершення робіт.**

Документ містить:

- найменування завершеної роботи;
- список представників організації-розроблювача й організації-замовника, що склали акт;
- дату завершення робіт;
- найменування документа(ів), на підставі якого(их) проводилася робота;
- основні результати завершеної роботи;
- висновок про результати завершеної роботи.

#### 6. **Акт приймання в дослідну експлуатацію**

Документ містить:

- найменування системи (або її частини), прийнятої в дослідну експлуатацію, і відповідного об'єкта автоматизації;
- найменування документа, на підставі якого розроблена система;
- склад приймальної комісії й підстава для її роботи;
- період часу роботи комісії;
- найменування організації-розроблювача, організації-співвиконавця та організації-замовника;
- склад функцій системи, прийнятої в дослідну експлуатацію;
- перелік складових технічних, програмних, інформаційних і організаційних забезпечень, що перевіряють у процесі дослідної експлуатації;
- перелік документів, запропонованих комісії;
- оцінку відповідності прийнятої системи технічному завданню на її створення;
- основні результати прийняття в дослідну експлуатацію;
- рішення комісії про прийняття системи в дослідну експлуатацію.

#### 7. **Акт приймання системи у промислову експлуатацію**

7.1. Документ містить:

- найменування об'єкта автоматизації і системи, прийнятої в промислову експлуатацію;
- відомості про статус приймальної комісії (державна, міжвідомча, відомча), її складі й підстава для роботи;
- період часу роботи комісії;
- найменування організації-розроблювача, організацію-співвиконавця і організацію-замовника;

- найменування документа, на підставі якого розроблена система;
  - склад функцій системи, прийнятої в промислову експлуатацію;
  - перелік складових технічних, програмних, інформаційних і організаційних забезпечень, прийнятих у промислову експлуатацію;
  - перелік документів, запропонованих комісії;
  - висновок про результати дослідної експлуатації;
  - оцінку відповідності прийнятої системи технічному завданню на її створення;
  - коротку характеристику й основні результати виконаної роботи із створення системи;
  - оцінку науково-технічного рівня системи;
  - оцінку економічної ефективності від впровадження системи;
  - рішення комісії;
  - рекомендації комісії з подальшого розвитку системи.
- 7.2. Додаються протоколи випробувань, протоколи засідання комісії, акти приймання у промислову експлуатацію прийнятих раніше частин системи, перелік технічних засобів, які використала комісія при прийманні системи, і т.п.

## Оформлення та зберігання документів

1. Всі текстові документи готуються членами робочої групи у форматі *Microsoft Word*. Назви устаткування або програмних продуктів, описуваних у документі, з першою появою в тексті виділяються шрифтом **Bold**. Перше згадування яких-небудь проектних рішень, на які варто звернути увагу, супроводжується виділенням шрифтом *Italic*.

Дані установки можуть бути змінені Менеджером проекту.

2. При написанні Технічних пропозицій необхідно пам'ятати, що цей документ повинен зацікавити Замовника і бажано, щоб цей документ був прочитаний ним до кінця. Тому допускається деяка оформлювальна вільність.

Текст для титульної сторінки готується в довільній формі і повинен містити назву організації-розроблювача, назва документа, назва організації-замовника, рік розробки документа.

3. Малюнки й схеми виконуються за допомогою *Microsoft Word* або *Visio*.

4. Специфікації виконуються у форматі *Microsoft Excel*.

6. Для здійснення поточної роботи над проектом і зберігання розроблених документів Менеджером проекту при початку робіт створюється каталог *c:\...\Projects\{name\_of\_organization}*. Назви документів, що зберігаються в цьому каталозі, повинні бути очевидними і відповідати змісту документа. Всі розроблювальні ними документи члени робочої групи передають Менеджерові проекту у електронному виді.

**Заявка на виконання робіт**

<i>Менеджер</i>	<i>Дата</i>
<b>Замовник:</b>	
Організація -	
Представник -	
Телефон, факс -	
<b>Що зробити:</b>	
	Суть робіт:
	<i>Технічна пропозиція</i>
	<i>Специфікація</i>
	<i>Роботи</i>
	<i>Консультація</i>
	<i>Скласти контракт</i>
	<i>Розробити Технічний проект</i>
	<i>Інше (вказати)</i>
<b>Строки виконання заявки:</b>	
<b>Прикладені документи:</b>	
<b>Умови оплати робіт:</b>	
	<i>Передплата</i>
	<i>за фактом виконання</i>
	<i>включено у вартість обладнання</i>
	<i>інше (вказати)</i>
<b>Додаткові відомості:</b>	
<b>Підпис менеджера</b>	
<b>Підпис директора ОПП</b>	
<b>Рішення директора ДИС:</b>	
	<i>Виконати/Не виконати</i>
	<i>Виконавці:</i>
	<i>Особливі вказівки:</i>
<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Айзерман М.А.* Выбор вариантов: основы теории / Айзерман М.А., Алексеров Ф.Т. – М.: Наука, 1990. – 240с.
2. *Андреенков В.Г.* Анализ нечисловой информации в социологических исследованиях / под ред. В.Г. Андреенкова, А.И. Орлова, Ю.Н. Толстой. – М.:Наука, – 1985. – 220с.
3. *Анфилатов В.С.* Системный анализ в управлении / Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. – Москва: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
4. *Асаи.* Прикладные нечеткие системы / Пер. с яп. под ред. Тэрано и др. / Асаи, Киедзи, Ватада, Дзюндзю, Иваи, Сокукэ и др. – М.: Мир, 1993. - 368 с.
5. *Бидюк П.И.* Построение и методы обучения байесовских сетей / Бидюк П.И., Терентьев А.Н. // Таврический вестник информатики и математики, 2004, № 2, с. 139-153.
6. *Бидюк П.И.* Аналіз та моделювання економічних процесів перехідного періоду / Бидюк П.І., Половцев О.В. – Київ: НТУУ КПІ, 1999. – 230 с.
7. *Бидюк П.И.* Моделювання та прогнозування нелінійних динамічних процесів / Бидюк П.І., Баклан І.В., Баклан Я.І., Коршевнюк Л.О. та ін. – К.:ЕКМО, 2004. – 120 с.
8. *Бидюк П.И.* Принципи побудови та застосування мережі Байєса / Бидюк П.І., Шехтер Д.В., Клименко О.М. // Наукові вісті НТУУ „КПІ”, 2005, № 5, с. 14-25.
9. *Бидюк П.И.* Системний підхід до побудови математичних моделей на основі часових рядів / Бидюк П.І., Баклан І.В., Рифа В.М. // Системні дослідження та інформаційні технології, №3, 2002. – с. 114-131.
10. *Бидюк П.И.* Часові ряди: моделювання та прогнозування / Бидюк П.І., Савенков О.І. Баклан І.В. – Київ: ЕКМО, 2004. – 144 с.
11. *Буч Г.* Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения: Пер. с англ. / Буч Г. – М.: Конкорд, 1992. – 519 с.
12. *Гаврилова Т.А.* Базы знаний интеллектуальных систем / Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. – С.-Петербург: Питер, 2000. – 384 с.
13. *Герасимов Б.М.* Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта / Герасимов Б.М., Тарасов В.А., Токарев И.Б. – К.: Наукова Думка. – 1993. – 184 с.
14. *Глухов В.В.* Математические методы и методы для менеджмента / Глухов В.В., Медников М.Д., Коробко С.Б. – Москва: Лань, 2000. – 480 с.

15. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики / Глушков В.М. – М.: Наука, 1987 – 552 с.
16. Гнатієнко Г.М. Експертні технології прийняття рішень / Гнатієнко Г.М., Снитюк В.Є. – К.: ТОВ „Маклаут”, – 2008. – 444 с.
17. Деннинг В. Диалоговые системы “Человек-ЭВМ”.- Адаптация к требованиям пользователя: Пер. с англ. / Деннинг В., Эссинг Г., Маас С. – М.: Мир, 1984. – 112 с.
18. Джексон П. Экспертные системы / Джексон П. – Москва, С.-Петербург, Киев: Вильямс, 2001. – 624 с.
19. Довгий С.А. Математическое прогнозирование процессов приватизации и инвестирования / Довгий С.А., Савенков А.И., Бидюк П.И. – К.: НТУУ – 2001. – 232 с.
20. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ (т2) / Дрейпер Н., Смит Г. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 366 с.
21. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Пер. с англ. Н.И. Ринго под ред. Н.Н. Моисеева и С.А. Орлова. / Заде Л. – М.: Мир. – 1976. – 165 с.
22. Згуровский М.З. Системный анализ: проблемы, методология, приложения / Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. – К.: Наукова думка. – 2005. – 743 с.
23. Зудилова Е.В. Современное состояние в области проектирования адаптивных систем / Зудилова Е.В. // КИН-96. – Инженерия знаний. – 225 с.
24. Кігель В.Р. Математичні методи ринкової економіки / Кігель В.Р. – Київ: Кондор, 2003. – 158 с.
25. Коршевнюк Л.А. Проблема поддержки принятия решений при управлении бизнес-процессами на предприятиях / Коршевнюк Л.А., Бидюк П.И. // Системні технології. – 3(11). – Дніпропетровськ, 2000. – с.40-51.
26. Коршевнюк Л.А. Разработка структуры системы поддержки принятия решений при управлении предприятием / Коршевнюк Л.А., Бидюк П.И. // Матеріали міжнародної конференції “Автоматика – 2001” – Одеса: ОДПУ, 2001. – Т.2. с.49-51.
27. Коршевнюк Л.А. Решение задачи распределения инвестиций между альтернативными проектами / Коршевнюк Л.А., Бидюк П.И. // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова. – Випуск 17. – Київ, 2002. – с.26-33.
28. Коршевнюк Л.О. Метод дефазифікаційної згортки векторного критерію оптимальності / Коршевнюк Л.О., Бідюк П.І. // Системні технології. – 6(47). – Дніпропетровськ, 2006. – с.158-165.



29. Коршевнюк Л.О. Метод побудови наметоподібних функцій належності за  $\alpha$ ,  $\beta$ -рівнями / Коршевнюк Л.О., Бідюк П.І. // Наукові вісті НТУУ "КПІ", 2006.– 5(49).–с.41-47.
30. Коршевнюк Л.О. Підхід групування оцінок в задачах прийняття рішень / Коршевнюк Л.О., Мінін М.Ю., Бідюк П.І. // Информационные технологии в XXI веке: Сборник докладов и тезисов II-го Международного научно-практического форума. – Днепропетровск: ИПК ИнКомЦентра УГХТУ, 2004. – с. 85-86.
31. Лапач С.Н. Статистика в науке и бизнесе / Лапач С.Н., Чубенко А.В., Бабич П.Н. — К.: МОРИОН, 2002. — 640 с.
32. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений / Ларичев О.И. – Москва: Логос, 2000. – 296 с.
33. Левин В.И. Теория сравнения интервальных величин и ее применение в задачах измерения / Левин В.И. // Измерительная техника. – 1998. – № 5.
34. Нейман Дж. Теория игр и экономическое поведение / Пер. с англ. / Нейман Дж., Моргенштерн О. – М.: Наука, 1970. – 707 с.
35. Олексюк О.С. Системи підтримки прийняття фінансових рішень на мікрорівні / Олексюк О.С. – Київ: Наукова думка, 1998. – 508 с.
36. Орлов А.И. Допустимые средние в некоторых задачах экспертных оценок и агрегирования показателей качества / Орлов А.И. // Многомерный статистический анализ в социально-экономических исследованиях. М.:Наука, – 1974. – с.388-393
37. Пат. 71850 А України, МПК G 06 F 17/60, N 7/06. Спосіб одержання експертних оцінок з урахуванням індивідуального сприйняття експерта / Коршевнюк Л.О., Мінін М.Ю., Коршевнюк Д.О. (Україна). – № 20031213216; Заявл. 31.12.2003; Опубл. 15.12.2004, Бюл. "Промислова власність" № 12. – 8 с.
38. Пат. 71851 А України, МПК G 06 F 17/60, N 7/06. Спосіб одержання якісних експертних оцінок при моделюванні економічних, соціальних, біологічних систем / Коршевнюк Л.О., Коршевнюк Д.О., Мінін М.Ю. (Україна). – № 20031213217; Заявл. 31.12.2003; Опубл. 15.12.2004, Бюл. "Промислова власність" № 12. – 6 с.
39. Попова Э.В. Искусственный интеллект // Системы общения и экспертные системы. Кн.1. Под ред. проф. Попова Э.В. – М: Радио и связь. – 1990.
40. Робсон М. Практическое руководство по реинжинирингу бизнес-процессов / ред. Н.Д. Эриашвили / Робсон М., Уллах Ф.– М.: Аудит, ЮНИТИ, 1997. – 224 с.
41. Солсо Р. Когнитивная психология / Солсо Р. – СПб.: Питер, 2002. – 592с.

42. *Терентьев А.Н.* Алгоритм вероятностного вывода в Байесовских сетях / Терентьев А.Н., Бидюк П.И., Коршевнюк Л.А. // Системні дослідження та інформаційні технології. – Київ, 2009. – №2. – с.107-111.
43. *Цисарь И.Ф.* Компьютерное моделирование экономики / Цисарь И.Ф., Нейман В.Г. – Москва: Диалог-МИФИ, 2002. – 304 с.
44. *Черноруцкий И.Г.* Методы оптимизации и принятия решений / Черноруцкий И.Г. – С.-Петербург: Лань, 2001. – 384 с.
45. *Эддоус М.* Методы принятия решений / Эддоус М., Стэнсфилд Р. – Москва: Аудит, ЮНИТИ, 1997. – 590 с.
46. *Эндрю Ван Дам.* Пользовательские интерфейсы нового поколения / Эндрю Ван Дам // Открытые системы. -1997. - № 6.
47. *Яременко С.В.* Реформы менеджмента: Опыт лучших предприятий Украины и России / Яременко С.В. – Харьков: Фолио, 1999. - 159 с.
48. *Alter S. L.* Decision support systems : current practice and continuing challenges. / Alter S. L. – Reading, Mass.: Addison-Wesley Pub., 1980.
49. *Ardissono L.* Dynamic User Modeling and Plan Recognition in Dialogue / Ardissono L. // PhD Thesis, Dipartimento di Informatica, Università di Torino. – Italy, [www.di.unito.it/~liliana/](http://www.di.unito.it/~liliana/), World Wide Web, 1996. <http://www.di.unito.it/~liliana/EC/tesi.pdf>
50. *Bonczek R.H.* Foundations of Decision Support Systems / Bonczek R.H., Holsapple C., Whinston A.B. – New York: Academic Press, 1981.
51. *Cooper G.F.* The computational complexity of probabilistic inference using Bayesian belief networks / Cooper G.F. // Artificial Intelligence, 1990, vol. 42, No. 2-3, p. 393-405.
52. *Dagum P.* Approximating probabilistic inference in Bayesian belief networks is NP-hard / Dagum P., Luby M. // Artificial Intelligence, 1993, vol. 45, p. 141-153.
53. *Enders W.* Applied econometric time series / Enders W. – New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995. – 434 p.
54. *Holsapple C.W.* Decision Support Systems (a knowledge based approach) / Holsapple C.W., Whinston A.B. – New York: West Publishing Company. – pp. 860.
55. *Keen P.G.W.* Decision support systems : an organizational perspective / Keen P.G.W., Scott Morton M. S. – Reading, Mass.: Addison-Wesley Pub. Co., 1978.
56. *Kosko B.* Fuzzy Engineering / Kosko B. – Prentice-Hall, New Jersey. – 1997. – 549 p.
57. *Larsen P.M.* Industrial applications of fuzzy logic control / Larsen P.M. // International Journal of Man-Machine Studies, No 12, 1980. – pp. 3-10.

58. *Lauritzen S.L.* Local computations with probabilities on graphical structures and their application to expert systems / Lauritzen S.L., Spiegelhalter D.J. // *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 1988, vol. 50, No.2, pp. 157-224.
59. *Little J.D.C.* Models and Managers: The Concept of a Decision Calculus / Little J.D.C. // *Management Science*, 1970. — v. 16. — N 8.
60. *Mamdani E.H.* An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller / Mamdani E.H., Assilian S. // *International Journal of Man-Machine Studies*, No 7, 1975. — p p. 1-13.
61. *Nunnally J.M.* Psychometric Theory, 2nd ed. / Nunnally J.M. — McGraw-Hill, New York. — 1978.
62. *Pearl J.* Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference / Pearl J. — San Mateo, CA (USA): Morgan Kauffmann Publishers, Inc., 1988. — 550 p.
63. *Power D.J.* A Brief History of Decision Support Systems / Power D.J. — DSSResources.COM, World Wide Web, version 2.8, May 31, 2003.  
*<http://dssresources.com/history/dsshistory.html>*
64. *Scott Morton M. S.* Management Decision Systems: Computer-based Support for Decision Making / Scott Morton M. S. — Boston: Harvard University, 1971.
65. *Simon H.A.* The New Science of Management Decision / Simon H.A. — New York: Harper and Row. 1960.
66. *Sprague R. H.* Building Effective Decision Support Systems / Sprague R. H., Carlson E. D. — Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1982.
67. *Sugeno M.* An introductory survey of fuzzy control / Sugeno M. // *Information Sciences*. — No 36. — 1985. — pp. 59 - 83.
68. *Tzu-Ping Wu.* A new method for constructing membership functions and fuzzy rules from training examples / Tzu-Ping Wu, Shyi-Ming Chen // *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part B: Cybernetics*, vol. 29, No 1, February 1999. — p. 25-39.
69. *Yager Ronald R.* Fuzzy Set and Possibility Theory. Recent Developments / edited by Ronald R. Yager. — Pergamon Press, — 1982. — 420p.
70. *Zadeh L.A.* Fuzzy Sets / Zadeh L.A. // *Information and Control*. 8(1965), pp.338-353.
71. *Zadeh L.A.* Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic / Zadeh L.A. // *Fuzzy Sets and Systems*. — 90 (1997). — pp.111-127.

Навчальне видання

**БІДЮК Петро Іванович**  
**КОРШЕВНЮК Лев Олександрович**

**ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ  
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ  
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

Київ

Навчально-науковий комплекс „Інститут прикладного системного аналізу”  
Національного Технічного Університету України  
„Київський політехнічний інститут”  
Міністерства освіти і науки України і  
Національної академії наук України