

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**П.І.БІДЮК, О.Л.ТИМОЩУК,
А.Є.КОВАЛЕНКО, Л.О.КОРШЕВНЮК**

СИСТЕМИ І МЕТОДИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітніми
програмами «Системний аналіз та управління», «Системний аналіз
фінансового ринку» спеціальності 124 «Системний аналіз»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2020

Рецензенти: *В.Є. Снитюк, д-р техн. наук, проф.*

Відповідальний редактор *В.Я. Данилов., д-р.техн.наук., проф.*

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 10 від 18.06. 2020 р.)
за поданням Вченої ради інституту прикладного системного аналізу (протокол
№5 від 25.05. 2020 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

**Бідюк Петро Іванович
Тимощук Оксана Леонідівна
Коваленко Анатолій Єпіфанович
Коршевніук Лев Олександрович**

СИСТЕМИ І МЕТОДИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Системи і методи підтримки прийняття рішень. [Електронний ресурс] навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освітніми програмами «Системний аналіз та управління», «Системний аналіз фінансового ринку» спеціальності 124 «Системний аналіз» / П.І.Бідюк, О.Л.Тимощук, А.Є.Коваленко; Л.О.Коршевніук КПІ ім. Ігоря Сікорського ;. Електронні текстові дані (1 файл: 3.445 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 259 с..

Розглянуто методiku проектування інформаційних систем підтримки прийняття рішень (СППР), яка ґрунтується на сучасних принципах системного аналізу. Визначено функціональну структуру та альтернативні підходи до реалізації СППР із використанням моделей проектування різних типів, а також на основі створення прототипу.

Розглянуто основні типи архітектур СППР залежно від обмежень, які накладаються методами оброблення даних, типом інформації, необхідної для прийняття рішень, та альтернативними процедурами оцінювання варіантів.. Значної уваги приділено: СППР для прогнозування часових рядів, СППР на основі мереж Байєса і системам, яка ґрунтується на використанні експертних оцінок.

Для студентів, аспірантів та викладачів, а також інженерів, що спеціалізуються в галузі проектування та розробки систем підтримки прийняття рішень у сферах виробництва, бізнесу, науки та техніки.

© П.І.Бідюк, О.Л.Тимощук, А.Є.Коваленко ; Л.О.Коршевніук, 2020

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	8
ПЕРЕДМОВА	11
1 ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА	12
1.1 Основні цілі самостійної роботи	12
1.2 Система оцінювання успішності навчання студента	12
1.3 Порядок вивчення навчального матеріалу	13
1.4 Система рейтингових балів	13
1.5 Система атестації	15
1.6 Проведення заліку з кредитного модуля	16
2 ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ КОНТРОЛЬНИХ ЗАДАЧ І ЗАПИТАНЬ	18
На основі даних базових питань формують вимоги до виконання контрольних робіт і залікової контрольної роботи.	24
3 БАЗОВІ ПОЛОЖЕННЯ З СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	25
4 АРХІТЕКТУРА СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	28
4.1 Прийняття рішень у системах підтримки прийняття рішень	28
4.1.1 Визначення поняття систем підтримки прийняття рішень	28
4.1.2 Інтелектуальні систем підтримки прийняття рішень	30
4.1.3 Узагальнена будова системи підтримки прийняття рішень	31
4.1.4 Характеристика процесів прийняття рішень	32
4.1.4.1 Основні ознаки рішення	33
4.1.4.2 Класифікація рішень	33
4.1.4.3 Моделі прийняття рішень	34
4.1.5 Характеристика етапів прийняття рішень	35
4.1.5.1 Основні етапи прийняття рішення	35
4.1.5.2 Послідовність прийняття рішення	36
4.1.5.3 Помилки прийняття рішення	36
4.1.6 Ефективність і фактори прийняття рішень	37
4.1.7 Умови прийняття рішень	38
4.2 Невизначеність прийняття рішень	40
4.2.1 Рівні невизначеності	40
4.2.2 Типи невизначеностей	41
4.2.2 Додаткові типи невизначеностей	42
4.3 Людино-машинні системи підтримки прийняття рішень	43
4.3.1 Основні напрями створення людино-машинних систем	44
4.3.2 Людино-машинні системи прийняття рішень з передбаченням	45
4.4 Автономні системи прийняття рішень	45
4.5 Вимоги до сучасних систем підтримки прийняття рішень	47
4.6 Особливості застосування сучасних СППР	48
4.6.1 Сфери застосування СППР у мікро і макроекономіці	48
4.6.2 Системи СППР розподілу інвестиційних і фінансових ресурсів	49
4.6.3 Особливості інтелектуальних засобів підтримки прийняття рішень,	50

4.7 Класифікація СППР	52
4.7.1 Підходи до класифікації СППР	52
4.7.2 Оперативні і стратегічні СППР	53
4.8 Історія виникнення та розвитку інформаційних СППР	54
4.8.1 Напрями застосування засобів обчислювальної техніки.....	55
4.8.2 Зовнішня пам'ять	56
4.8.3 Інформаційні системи і бази даних	56
4.8.4 Хронологія розвитку інформаційних СППР	57
4.9 Системи OLAP	58
4.10 Покоління систем підтримки прийняття рішень	58
4.10.1 СППР першого покоління.....	59
4.10.2 СППР другого покоління	59
4.10.3 СППР на основі GRID-систем та систем хмарних обчислень.....	60
5 ОСНОВИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	63
5.1 Аналіз процесу прийняття рішення	63
5.4 Етапи проектування СППР.....	65
5.4.1 Склад етапів проектування СППР.....	65
5.4.2 Когнітивний процес проектування.....	66
5.4.3 Визначення і декомпозиція задачі прийняття рішень	70
5.4.3.1 Визначення задачі прийняття рішень	70
5.4.3.2 Декомпозиція задачі прийняття рішень	71
5.4.3.3 Опис ситуації з прийняття рішення.....	73
5.4.3.4 Формат опису ситуації з ухвалення рішення	73
5.4.4 Аналіз ситуації з прийняття рішення	77
5.4.4.1 Визначення обмежень процесу прийняття.....	77
5.4.4.2 Характеристика типових проблем прийняття рішень.....	78
5.4.4.3 Категорії опису ситуацій.....	81
5.4.5. Визначення функцій системи підтримки прийняття рішень.....	82
5.4.5.1 Функції для підтримки прийняття рішень з боку ОПР.....	82
5.4.5.2 Вибір конкретних обчислювальних процедур	84
5.4.6 Вибір технології для реалізації СППР.....	84
5.5 Засоби підтримки прийняття рішень	85
5.5.1 Види математичного інструментарію	85
5.5.2 Правила реалізації функцій СППР	87
6 ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ І ДАННИХ В СППР	88
6.1 Вибір моделей і критеріїв для побудови СППР	88
6.2 Вибір моделі для оцінювання наслідків прийняття рішень з використанням СППР	91
6.3 Вибір інструментарію для інформаційного менеджменту	95
7 ПРОЕКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ СППР	99
7.1 Основні підходи до проектування СППР	99
7.2 Інформаційний підхід	99
7.3 Підхід, заснований на знаннях	101
8 ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРОБКИ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ СППР	104
8.1 Основні етапи розробки та реалізації	104

8.2	Формулювання постановки задачі	104
8.3	Аналіз можливості реалізації СППР	106
8.4	Формулювання вимог до СППР	107
8.5	Створення проекту СППР	110
8.6	Сучасні СППР ринку інформаційних послуг	111
8.6.1	Типи сучасних СППР	112
8.6.2	Система “Симплан”	113
8.6.3	Система PIMS	115
8.6.4	Система ISDS	116
8.6.5	Система IFPS	117
8.6.6	Система MAUD	118
8.6.7	Пакети і інтегровані системи	119
8.7	Проектування банківських СППР	120
8.7.1	Аналітичний програмний комплекс	120
8.7.2	Підсистема збору і збереження даних	121
8.7.3	Підсистема доступу до даних, аналізу і репортингу	122
8.7.4	Інструмент опису семантичного шару	123
8.8	Основні можливості звітів у АПК	124
8.8.1	Інструментарій АПК	124
8.8.2	Рейтинг-аналіз	126
8.8.3	Довідники	127
8.8.4	Підсистема адміністрування	128
8.9	Перелік аналітичних і управлінських задач, які розв’язує АПК ..	129
8.10	Етапи впровадження АПК та її налагодження	131
8.10.1	Вартість впровадження АПК	131
8.10.2	Розробка АПК	132
8.10.3	Впровадження і налагодження системи	133
8.10.4	Супровід і подальший розвиток системи	133
9	МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ПОБУДОВА СППР ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ДИНАМІКИ ЧАСОВИХ РЯДІВ	134
9.1	Методи прогнозування на основі часових рядів	134
9.2	Основні складові прогнозування процесу	135
9.2.1	Детермінований тренд	136
9.2.2	Стохастичний тренд	137
9.2.3	Прогнозування коливань, що накладаються на тренд	138
9.2.4	Прогнозування дисперсії процесу	139
9.3	Умовні та безумовні статистичні характеристики	139
9.4	Побудова функцій прогнозування	144
9.4.1	Прогнозування без знаходження розв’язку рівнянь	144
9.4.1.1	Прогнозування для рівняння $AP(1)$	144
9.4.1.2	Узагальнення функції прогнозування (на процес $APKC(p,q)$)	148
9.4.2	Побудова функції прогнозування на основі розв’язку різницевого рівняння	150
9.4.3	Прогнозування з мінімальною дисперсією	157
9.4.4	Альтернативна форма функції прогнозування на один крок	162
9.4.5	Функція прогнозування на два кроки	164

9.5 Загальна постановка задачі прогнозування з мінімумом дисперсії .	167
9.6 Приклад побудови функцій прогнозування	175
9.7 Схема створення СППР для прогнозування часових рядів	178
9.8 Алгоритм процесу аналізу та прогнозування	178
9.8.1 Попередня обробка та аналіз даних	179
9.8.2 Перевірка наявності нелінійностей	181
9.8.3 Визначення порядку нелінійності	184
9.8.4 Перевірка процесу на стаціонарність	184
9.8.5 Перевірки наявності гетероскедастичності	189
9.8.5.1 Тест Уайта	190
9.8.5.2 Тест Бройша-Пагана/Годфрі	191
9.8.5.3 Тест Голдфелда-Квандта	194
9.8.6 Визначення типу моделі для опису гетероскедастичності	195
9.8.7 Визначення способу вилучення або моделювання тренду	198
9.8.8 Для коінтегрованих процесів будується модель корекції похибок	199
9.8.9 Побудова моделі часового ряду	199
9.8.9.1 t – статистика Стюдента	200
9.8.9.2 Коефіцієнт детермінації R^2	201
9.8.9.3 Сума квадратів похибок моделі	201
9.8.9.4 Інформаційний критерій Акайке	202
9.8.9.5 Статистика Дарбіна-Уотсона	202
9.8.9.6 Статистика Фішера	203
9.8.9.7 Коефіцієнт Тейла	203
9.8.10 Побудова функції прогнозування	205
9.8.11 Уточнення вхідних даних	207
10 ПОБУДОВА СППР НА ОСНОВІ МЕРЕЖ БАЙЄСА	208
10.5 Інформаційні СППР на основі мереж Байєса	208
10.5.1 Передумови застосування сучасних технологій обробки даних	208
10.5.2 Технологія розробки інформаційної системи на основі БМ	210
10.5.3 Системи на основі БМ	213
10.6 Розробка експертної СППР для підприємства на основі мереж Байєса	220
10.6.1 Виділення класу задач експертної системи	220
10.6.2 Побудова БМ у експертній системі	222
11 ЕВРИСТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ПРОЕКТІВ СППР	225
11.1.3 Методологія евристичного розв'язання задач розподілу ресурсів	225
11.1.4 Застосування методу експертних оцінок Дельфі	226
11.1.5 Методологія розв'язання задачі розподілу ресурсів в умовах невизначеності	228
11.1.5.1 Основні етапи розв'язання задачі	228
11.1.5.2 Постановка і формалізація задачі	230
11.1.5.3 Оцінювання варіантів	232
11.1.5.4 Узагальнення оцінок	234
11.1.5.5 Пошук рішення	237
11.5 Експертне оцінювання проектів	238
11.5.1 Підходи до оцінювання проектів	238

11.5.2 Застосування лінгвістичних змінних.....	239
11.5.3 Геометричний спосіб визначення оцінок.....	241
12 ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ З ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СППР	244
12.1 Практичне заняття № 1 Проектування структури інформаційної СППР.....	244
12.2 Практичне заняття № 2 Проектування системи обробки даних.....	250
12.3 Практичне заняття № 3 Побудова архітектури і вибір інструментальної системи реалізації СППР	251
12.4 Практичне заняття № 4 Проектування інтерфейсу користувача....	256
ЛІТЕРАТУРА	258

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

AI	—	адаптивний інтерфейс
АКФ	—	автокореляційна функція
АМАВ	—	аспектний мультиатрибутний вибір
АПК	—	аналітичний програмний комплекс
АПК	—	аналітичного програмного комплексу
АР	—	авотрегресія
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 БЗД
БМ	—	байєсівська 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
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

ПЕРЕДМОВА

Застосування сучасних теорій інформаційних технологій, менеджменту у бізнесі, концепцій отримання знань, принципи побудови інтелектуальних систем повинні ґрунтуватись на усвідомленій цілеспрямованій діяльності людини. Важливу роль у цьому відіграє створення інформаційних систем підтримки прийняття рішень (СППР) адаптованих до навколишнього середовища. У СППР застосовують експертні оцінки, нейронні мережі, алгоритми м'яких обчислень, методи оптимізації, регресійний аналіз, байєсівські моделі та методи тощо.

В навчальному посібнику розглянуто задачі проектування, розробки та реалізації інформаційних СППР (ІСППР) при самостійній роботі студентів з вивчення теоретичних положень і виконанні робіт комп'ютерного практикуму.

Прийнята методологія проектування ІСППР ґрунтується на системному підході, який передбачає ієрархічність структури процесів і об'єктів, стосовно яких приймається рішення, та врахуванням невизначеностей опису процесів (зокрема, невизначеності структурного, параметричного, статистичного характеру). Тому у посібнику значної уваги приділено розгляду базових понять і теорії побудови СППР. Отримані знання використовуються при дослідженні принципів побудови СППР.

1 ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА

1.1 Основні цілі самостійної роботи

Самостійна робота передбачає підготовку до виконання модульної контрольної роботи та виконання і захист робіт комп'ютерного практикуму. Виходячи з специфіки дисципліни т

Основні цілями посібника є ознайомлення з рейтинговим оцінюванням успішності навчання, базовими теоретичними положеннями з систем і методів підтримки прийняття рішень та побудовою СППР для конкретних потреб в рамках виконання робіт комп'ютерного практикуму.

1.2 Система оцінювання успішності навчання студента

Успішність навчання студента визначають за рейтингом. Рейтинг студента з кредитного модуля дисципліни складається з балів, які він отримує за:

1) виконання однієї модульної контрольної роботи, яка проводиться як дві одногодинні контрольні роботи; якщо студент не з'явився на контрольну роботу без поважних причин, його результат оцінюється нульовим;

2) виконання та захист чотирьох робіт комп'ютерного практикуму

До загального рейтингу можуть додаватись бали, отримані за необов'язкові складові.

1.3 Порядок вивчення навчального матеріалу

У процесі самостійної роботи студент планує вивчення базових теоретичних принципів з побудови СППР та їх застосування при побудові СППР із заданими технічними завданнями вимогами до обробки даних і прийняття рішень. Планування учбової діяльності включає підготовку до атестацій протягом семестру з врахуванням особливостей використання отриманих знань при проведенні контрольних робіт.

Отримані знання є основою для подальшого застосування при побудові систем СППР з визначеними індивідуальними завданнями при виконанні робіт комп'ютерного практикуму.

Оскільки якість навчання оцінюють за 100-бальною шкалою, то необхідно визначити систему рейтингових балів по різних видах виконаних робіт. Рейтингові бали визначають окремо для модульної контрольної роботи і підготовки та захисту робіт комп'ютерного практикуму.

1.4 Система рейтингових балів

Виконання модульної контрольної роботи можна оцінити за такими рівнями

– «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 36-40 балів;

- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 30-35 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 24-29 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам на 3 бали) – 0 балів

Виконання та захист роботи комп'ютерного практикуму (РКП) передбачає якісну підготовку і виконання кожного комп'ютерного практикуму, який проводять у межах практичних занять. Основні рівні оцінювання можуть бути визначені наступним чином;

– «відмінно», коректне повне, вчасне виконання індивідуальних завдань роботи комп'ютерного практикуму, правильне та своєчасне оформлення протоколу, наявність на машинних носіях результатів виконання контрольних прикладів, демонстрація вільного володіння теоретичним матеріалом при захисті роботи і самостійне виконання завдань роботи (не менше 90% потрібної інформації) 13-15 балів;

– «добре», коректне повне, вчасне виконання індивідуальних завдань РКП, правильне та своєчасне оформлення протоколу, наявність на машинних носіях результатів виконання контрольних прикладів, демонстрація вільного володіння теоретичним матеріалом при захисті роботи і самостійне виконання завдань роботи з можливими незначними неточностями і зауваженнями, які були виправлені безпосередньо на занятті, (не менше 75% потрібної інформації) - 11-12 балів;

– «задовільно», неповна відповідь, невчасне або зі значними неточностями виконання індивідуальних завдань з підготовки і виконання РКП, можливе невчасне оформлення протоколу, можливе невчасне виконання індивідуальних завдань, відповідь на половину питань з теми

роботи під час демонстрації РКП (не менше 60% потрібної інформації)– 9-10 балів;

- за кожний тиждень запізнення зі здачею чергової РКП оцінка знижується на один бал;

- «незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам на «задовільно») – 0 балів

Одному або двом кращим студентам можуть додаватися 1 заохочувальний бал за оригінальні нестандартні розв'язки задач підвищеної складності під час захисту РКП..

До обов'язкових складових віднесено:

- участь у модернізації робіт з комп'ютерного практикуму;
- доповіді на наукових студентських семінарах, конференціях, якщо робота мала відношення до операційних систем;

За їх виконання студент може отримати до 10 заохочувальних балів (у межах максимального числа 10 заохочувальних балів на повний рейтинг 100 балів).

1.5 Система атестації

За результатами роботи за перші 8 тижнів студент може набрати до 44 бали. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує зараховано, якщо його поточний рейтинг балів не менше 22 балів.

За результатами роботи за перші 13 тижнів студент може набрати до 72 балів. На другій атестації (13-й тиждень) студент отримує зараховано, якщо його поточний рейтинг балів не менше 36 балів.

Рейтингова оцінка (RD) з кредитного модуля, семестрова атестація з якого передбачена у вигляді заліку, формується як сума всіх рейтингових балів r_K , а також заохочувальних r_3 та штрафних балів $r_{ш}$

$$RD = \sum_k r_K + \sum_k r_3 + \sum_k r_{ш}$$

Максимальна сума балів складає 100 балів. Необхідною умовою допуску до заліку є 50 балів рейтингу за умови виконання і захисту усіх РКП.

1.6 Проведення заліку з кредитного модуля

Для отримання заліку з кредитного модуля «автоматом» потрібно мати рейтинг не менше 60 балів, а також зараховані усі РКП.

Студенти, які мають наприкінці семестру рейтинг не менше 60 балів, а також ті, хто хоче підвищити оцінку в системі ECTS, виконують залікову контрольну роботу. При цьому до балів за РКП ($r_{РКП}$) додають бали за контрольну роботу і ця рейтингова оцінка є остаточною.

Завдання контрольної роботи складається з трьох питань різних розділів робочої програми із наданого переліку до засвоєння кредитного модуля. Кожне питання контрольної роботи (r_1, r_2, r_3) оцінюється у 13 балів відповідно до системи оцінювання плюс 1 бал (нормування до 40 балів за контрольну роботу):

– «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 12-13 балів;

– «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності) – 10-11- балів;

– «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) –8-9 балів;

– «незадовільно», незадовільна відповідь – 0 балів.

Сума балів за кожне з трьох запитань контрольної роботи та сумарний бал за виконання усіх РКП переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею.

Таблиця рейтингових балів

Рейтингові бали, RD $RD = r_{РКП} + r_1 + r_2 + r_3$	Оцінка за університетською шкалою
95-100	відмінно
85-94	дуже добре
75-84	добре
65-74	задовільно
60-64	достатньо
Менше 60	Не зараховано
Не зараховані РКП Менше 40	Не допущено

2 ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ КОНТРОЛЬНИХ ЗАДАЧ І ЗАПИТАНЬ

Виконання контрольних робіт і залікової роботи передбачає визначення основних запитань і задач для перевірки знань умінь та навичок.. Можна виділити такі основні з них.

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

15. Наведіть стратегії, які використовують ОПР для прийняття рішень.
16. Які недоліки і переваги має оптимізаційна стратегія?
17. Наведіть перелік елементів постановки оптимізаційної задачі?
18. Які ви знаєте методи статичної та динамічної оптимізації?
19. Наведіть приклад процесу прийняття рішення ОПР.
20. Сформулюйте етапи процесу проектування інформаційних СППР.
21. Розкрийте процедуру визначення і декомпозиції задачі прийняття рішень.
22. Наведіть категорії, з яких складається формат опису ситуації з ухвалення рішення; наведіть приклад опису ситуації.
23. Опишіть існуючі обмеження процесу прийняття рішень, що вимагають застосування допоміжних засобів.
24. Сформулюйте функції, які виконує ОПР у процесі прийняття рішень?
25. Наведіть класифікацію засобів підтримки прийняття рішень.
26. Поясніть зміст етапу вибору технології для реалізації СППР.
27. Опишіть процедуру вибору (побудови) моделі досліджуваного процесу при проектуванні СППР.
28. Наведіть можливості вибору моделі (критеріїв) для оцінювання результату роботи СППР.
29. Сформулюйте правила вибору моделі оцінювання стану процесу (об'єкта) для ситуацій утилітарного мультиатрибутного вибору.
30. Вкажіть варіанти методів керування даними та розкрийте особливості їх вибору.
31. Опишіть засоби моніторингу даних.

32. Опишіть існуючі підходи до проектування концептуальної моделі СППР.
33. Поясніть особливості інформаційного підходу та підходу ґрунованого на знаннях до проектування СППР.
34. Надайте класифікацію типів архітектури спеціалізованих СППР.
35. Побудуйте узагальнену архітектуру гібридної СППР; наведіть приклад такої системи.
36. Сформулюйте функції системи обробки даних та генерування результатів.
37. Вкажіть варіанти вибору обчислювальних процедур для різних видів СППР.
38. Дайте визначення поняттям дані і знання. Поясніть, у чому полягають відмінності між ними; наведіть приклади знань та способи їх зберігання у базі даних і знань.
39. Наведіть типи моделей представлення знань.
40. Сформулюйте функції системи представлення результатів.
41. Надайте опис основних можливих форм представлення результатів функціонування інформаційної СППР.
42. Сформулюйте вимоги до інтерфейсів інформаційних систем.
43. Поясніть, що таке адаптованість інтерфейсу?
44. До яких характеристик користувача може адаптуватись інтерфейс?
45. Наведіть основні характеристики інтерфейсів користувача СППР.
46. Вкажіть, які можливості повинен забезпечувати інтерфейсний модуль інформаційної системи.
47. Сформулюйте принципи формування інтерфейсу користувача.

48. Поясніть такі принципи побудови інтерфейсів, як принцип мінімізації затрат ресурсів користувача та принцип незбитковості.
49. Які існують напрями розвитку науки про людський фактор?
50. Розкрийте принципи проектування інтерфейсу користувача на засадах людського фактору.
51. Наведіть ситуації, в яких система повинна надавати пояснення для користувача.
52. Зазначте особливості форматування екрану монітора при розробці інтерфейсів користувача.
53. Опишіть аспекти вибору тональності та термінології при реалізації інтерфейсів користувача.
54. Які недоліки і переваги має інтерфейс на основі натуральних мовних конструкцій?
55. Наведіть приклад застосування інтерфейсу на основі безпосереднього маніпулювання графічними об'єктами?
56. Де застосовуються інтерфейси на основі заповнення стандартизованих форм?
57. Сформулюйте умови успішної реалізації СППР.
58. Опишіть структуру вимог замовника інформаційної системи. Наведіть (сформулюйте) приклад таких вимог.
59. Наведіть основні фактори ризику, які зустрічаються при проектуванні і реалізації СППР.
60. Надайте опис процесу ідентифікації та менеджменту ризиків при розробці інформаційних систем.
61. Які заходи виконавця проекту гарантовано зменшують ризик невиконання проекту?
62. Вкажіть які існують етапи процесу розробки та реалізації СППР.

63. Які елементи містить технічне завдання на проект?
64. Наведіть основні вимоги користувача і функціональні вимоги до СППР для прогнозування часових рядів.
65. Опишіть основні елементи проекту СППР.
66. Вкажіть послідовність програмування модулів та тестування інформаційної системи.
67. Розкрийте особливості проектування і реалізації СППР на основі створення її прототипу.
68. Перелічіть недоліки та переваги прототипу?
69. Що означає термін «еволюціонуючий прототип»?
70. Охарактеризуйте основні СППР, що пропонується на ринку інформаційних послуг.
71. Для чого необхідні прогнози? Які процеси відносять до нелінійних?
72. В чому полягає різниця між умовними та безумовними статистичними характеристиками випадкових процесів?
73. Вкажіть, які умовні та безумовні статистичні характеристики використовуються при виконанні статистичного аналізу випадкових процесів? Які існують типи нестационарності?
74. Розкрийте процес знаходження оцінок прогнозів без знаходження розв'язків лінійних різницевих рівнянь.
75. Опишіть процедури побудови функції прогнозування на основі розв'язку різницевого рівняння.
76. Сформулюйте припущення, на яких ґрунтується побудова функції прогнозування з мінімумом дисперсії.
77. Наведіть алгоритм процесу побудови математичної моделі та оцінювання прогнозів на основі часових рядів.

78. Поясніть здійснення перевірки процесу на стаціонарність за допомогою тесту Дікі – Фуллера. Який тип нестационарності аналізується в даному випадку?
79. Що таке гетероскедастичність і де вона може зустрічатись?
80. Опишіть відомі вам тести на гетероскедастичність процесу.
81. Сформулюйте статистичні критерії перевірки моделі на адекватність – коефіцієнт детермінації і статистика Дарбіна-Уотсона?
82. В чому суть статистики Фішера?
83. Що означає термін «перенавчання моделі»?
84. Які існують критерії вибору кращої оцінки прогнозу процесу?
85. Чому для оцінювання ступеня адекватності моделі і якості прогнозу не можна використовувати по одному статистичному критерію?
86. Дайте означення поняттю «мережа Байєса».
87. Поясніть процедуру формування висновку на основі теореми Байєса.
88. Опишіть наївний класифікатор Байєса.
89. Наведіть недоліки звичайних процедур обчислення ймовірностей та формування висновку.
90. Розкрийте принцип формування опису мережі Байєса мінімальної довжини.
91. Опишіть алгоритм методу опису мінімальної довжини.
92. Сформулюйте евристичний алгоритм побудови мережі Байєса.
93. Наведіть методи оцінювання якості навчання мережі Байєса.
94. Які недоліки і переваги мають мережі Байєса?
95. Опишіть технологію розробки експертних систем.
96. Сформулюйте структуру мережі Байєса для моделювання стратегій розвитку підприємства.

97. Вкажіть склад та послідовність етапів застосування методів експертних оцінок.

98. Опишіть структуру методології розв'язання задач розподілу ресурсів і задач вибору.

99. Доведіть необхідність ієрархічної структуризації критеріїв оцінювання.

100. Поясніть особливості узагальнення критеріальних оцінок.

101. Розкрийте зміст етапу зведення багатокритеріальної задачі прийняття рішення до однокритеріальної.

102. Дайте означення таким поняттям: нечітка множина, функція належності, лінгвістична змінна. Вкажіть зв'язок між ними.

103. Наведіть основні види функцій належності, охарактеризуйте їх.

104. У чому полягають переваги трикутних функцій належності?

105. Опишіть роботу і застосування системи нечіткого логічного висновку.

106. Сформулюйте зміст процедур аналізу погодженості оцінок.

107. Наведіть структуру СППР для задач розподілу ресурсів і задач вибору на основі методів експертних оцінок.

На основі даних базових питань формують вимоги до виконання контрольних робіт і залікової контрольної роботи.

3 БАЗОВІ ПОЛОЖЕННЯ З СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

3.1 Основні поняття

Досягнення усвідомлених цілей потребує створення інструментальних засобів для скорочення зростаючих витрати за обмеженими наявними ресурсами. Потреба в такого роду засобах викликала до життя, в рамках методів та систем штучного інтелекту, цілий спектр інформаційних технологій, покликаних допомогти у справі управління суспільством, виробництвом, торгівлею, кредитною і фінансовою сферами.

Найпоширенішими застосуваннями цих технологій є: експертні системи, дорадчі системи, інтелектуальні системи, інформаційні системи підтримки прийняття рішень. Спільною їх рисою є використання знань людини-експерта. Серед таких систем можна виділити системи економічної сфери, які отримали назву дорадчих економічних систем (ДЕС).

3.2 Дорадчі економічні системи

Всі ДЕС умовно можна поділити на два класи: системи, що відтворюють усвідомлені розумові зусилля людини (статичні детерміновані або стохастичні системи); системи, що відтворюють підсвідомі розумові дії людини (еволюційні системи на основі

нейротехнологій і генетичних алгоритмів). Перший клас ДЕС включає три підкласи: розрахунково-діагностичні системи; системи підтримки прийняття рішень; експертні системи на основі наближених міркувань, які можна розглядати як один із типів СППР. Другий підклас включає системи: нейромережових обчислень; орієнтовані на природно-мовні запити.

Дорадчі системи призначені для допомоги у прийнятті рішень у випадках пошуку альтернатив і вибору одного правильного рішення. Зазвичай існуючі методики проектування ДЕС спираються на визначеність варіанти рішень і наслідки їх прийняття (зокрема, матриць рішень). Однак практика свідчить, що пошук альтернативних варіантів і побудова функцій, спроможних оцінити наслідки прийняття варіанта, є особливо складною проблемою у фінансово-економічній сфері.

Метою створення ДЕС є: надання управлінському персоналу знань, яких їм бракує у процесі виконання своїх фахових обов'язків; навчання управлінського персоналу діям, необхідним для виконання рекомендацій, наданих СППР із подальшим контролем такого виконання.

3.3 Технологія створення дорадчої економічної системи

Основним підходом до організації ДЕС є технологія створення СППР, яка передбачає центральною ланкою особу, яка приймає рішення (ОПР). Тому структуру і склад ДЕС визначають з: інформаційних та інструментальних потреб ОПР. Ці потреби виникають у ОПР в процесі реалізації поставлених цілей та виконання ним службових обов'язків.

Інформаційне поле прийняття рішень може включати зовнішню інформацію (зовнішнього середовища) і внутрішню, що виникає у процесі використання ДЕС. Інструментарій ОПР зазвичай включає функції, що забезпечують реалізацію функціональних інформаційних технологій (ІТ).

Серед ІТ можна виділити ІТ, що констатують (забезпечують користувача необхідною інформацією для розпізнавання існуючої економічної ситуації); ІТ моделюючого типу на основі застосування математичної моделі з оцінки можливих результатів прийнятого рішення, відповідаючи на запитання “що робити, якщо?”; ІТ на основі експертних систем, що дозволяє відповісти на запитання “як зробити, щоб?”

3.4 Особливості вивчення теоретичних основ і побудови СППР

Серед основних питань вивчення теоретичних основ СППР можна виділити: такі

1. Архітектура системи підтримки прийняття рішень.
2. Принципи побудови СППР
3. Особливості застосування моделей і даних в СППР.
4. Специфічні особливості проектування СППР за призначенням.
5. Математичні методи побудови СППР

Практичні заняття передбачають дослідження таких питань

1. Проектування структури інформаційної системи СППР.
2. Проектування системи обробки даних і генерування результатів.
3. Побудова архітектури і вибір інструментальної системи для реалізації СППР.
4. Проектування інтерфейсу користувача.

4 АРХІТЕКТУРА СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Автоматизація процесів підтримки прийняття рішень зумовило появу кількох підходів до побудови систем прийняття рішень (СППР). Системи СППР ґрунтуються на застосуванні сучасних математичних методів прийняття рішень, різноманітних математичних моделях, технічних і програмних засобах. Тому визначення поняття систем підтримки прийняття рішень часто пов'язують з цими методами, моделями, засобами.

4.1 Прийняття рішень у системах підтримки прийняття рішень

Систематизація існуючих підходів при створенні СППР дозволяє оцінити переваги і недоліки таких систем та прогнозувати подальший розвиток цього напрямку виходячи із сучасних перспективних розробок і тенденцій застосування людино-машинних систем.

4.1.1 Визначення поняття систем підтримки прийняття рішень

Єдиного означення для систем підтримки прийняття рішень (СППР) немає. Існує кілька поширених означень СППР, які відображають основні

особливості будови, використання та ефективності застосування цих систем.

До таких означень можна віднести такі.

“СППР – інтерактивна комп’ютерна система для підтримки різних видів діяльності під час прийняття рішень стосовно слабоструктурованих і неструктурованих проблем. Такі системи дають змогу особам, що приймають рішення (ОПР), відшукувати релевантні дані, згенеровані системами оброблення транзакцій та інших внутрішніх інформаційних джерел, а також надають доступ до зовнішньої, по відношенню до організації, інформації. СППР дає змогу користувачам моделювати й аналізувати інформацію у такий спосіб, який буде найефективнішим для вироблення певного специфічного рішення і буде забезпечувати підтримку в інтерактивному режимі» .

“СППР – інтерактивна прикладна система, яка забезпечує користувачам, котрі приймають рішення, легкий і зручний доступ до даних і моделей з метою прийняття рішень у напівструктурованих і неструктурованих ситуаціях з різних галузей людської діяльності.”

“СППР – інтерактивна автоматизована система, яка допомагає особі, яка приймає рішення, використовувати дані і моделі для розв’язання неструктурованих і слабоструктурованих проблем.”

“СППР – комп’ютерна інформаційна система, яка використовується для підтримки різних видів діяльності під час прийняття рішень у ситуаціях, де неможливо або небажано мати автоматичну систему, яка повністю виконує весь процес створення рішень”.

“Sometimes a manager makes decisions individually. In other cases decision making may be distributed, involving the combined and coordinated efforts of many knowledge workers. Both individual and distributed decision making are susceptible to support by systems that facilitate, expand, or enhance

a manager's ability to work with one or more kinds of knowledge. Such knowledge-based systems are called decision support systems (DSS). – Holsapple C.W., Whinston A.B. Decision Support Systems (див. St. Paul, Minnesota: West Publishing Company, 1996. – 713 p.).

Під СППР або DSS (Decision Support System) розуміють інтерактивну комп'ютерну автоматизовану систему (програмний комплекс), яка 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.

4.1.2 Інтелектуальні систем підтримки прийняття рішень

Сучасні інтелектуальні СППР (ІСППР) характеризують широким використанням інтелектуальних методів оброблення даних та прийняття рішень, а також проектуванням інтерфейсу на принципах інтелектуалізації процесу взаємодії користувач-система. Зокрема, інтелектуалізація стосується адаптації системи до реакції користувача та його уподобань стосовно способів подання результатів оброблення даних, вибору зручного для конкретного користувача способу введення, редагування та поповнення бази знань і даних.

Системи ІСППР являють собою широкий і надзвичайно зручний клас інформаційних обчислювальних систем оброблення даних, які дозволяють інтегрувати різноманітні дані.

До інтелектуальних методів і алгоритмів (оскільки алгоритм – це реалізація методу) пошуку та оброблення даних відносять такі: алгоритми пошуку даних із заданими характеристиками, алгоритми приведення даних до заданої форми, ігрові методи пошуку та оброблення даних, способи подання знань у базі знань. До даного класу методів також відносять: різні види планування, методи оброблення невизначеностей, методи прийняття рішень на основі нейромереж, імовірнісних моделей і суджень, чіткої та нечіткої логіки, методи навчання на основі попереднього досвіду та спостережень, ймовірнісні методи оброблення лінгвістичної інформації, мережі Байєса, методи сприйняття та розпізнавання образів, методи керування у робототехніці тощо.

4.1.3 Узагальнена будова системи підтримки прийняття рішень

У процесі проектування СППР необхідно виконати аналіз відомих архітектур (або структур) та обґрунтовано вибрати ту, яка найкраще відповідає поставленій задачі. Важливим є обґрунтування вибору закритої або відкритої архітектури системи. Обов'язково треба визначити означення СППР, необхідне для розуміння головної мети проекту СППР.

Розмаїття СППР зумовлено наявністю різних типів та форм підтримки прийняття рішень, а також архітектур СППР. Необхідно розуміти, що СППР будь-якого типу повинна містити:

- підсистему введення та аналізу запитів користувача (ПВАЗ);
- підсистему оброблення запитів користувача та генерації результатів (ПОЗГР);
- базу знань і даних (БЗД);

– підсистему подання результатів (ППР) в зручній для користувача формі.

Функції цих підсистем повинні бути присутні як у комерційних, так і у некомерційних варіантах СППР.

Підсистема введення та аналізу запитів користувача повинна включати опис всіх припустимих запитів користувача та їх формалізоване подання (синтаксис). Необхідно вказати який саме тип введення використовується (командний рядок, стандартні форми тощо) та обґрунтувати його вибір.

Підсистема оброблення даних та генерації результатів являє собою ядро СППР, яке виконує оброблення коректних запитів користувача; звертається до БДі знань за необхідними алгоритмами, правилами, критеріями та даними, виконує оброблення даних і передає результат в систему подання разом із інформацією щодо форми подання результатів.

База БЗД передбачає певну структурну організацію даних та можливі алгоритми оброблення цих даних.

Підсистема ППР враховує режими запитів і форму подання оброблених даних.

4.1.4 Характеристика процесів прийняття рішень

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

Рішенням вважають обґрунтований набір дій з боку особи, що приймає рішення (ОПР). Ці дії спрямовані на об'єкт чи систему управління, а набір дій надає можливість привести даний об'єкт чи систему до бажаного стану або досягнути поставленої мети. Рішення є одним із видів розумової діяльності і проявом волі людини.

4.1.4.1 Основні ознаки рішення

Характерними ознаками рішення є:

- можливість вибору з набору альтернативних варіантів, оскільки за відсутності альтернатив, відсутній і вибір, а тому відсутнє й рішення;
- наявність мети, оскільки вибір без цілі не розглядають як рішення;
- необхідність вольового акту ОПР при виборі рішення, оскільки ОПР формує рішення в умовах боротьби мотивів і думок.

4.1.4.2 Класифікація рішень

У проектуванні СППР що важливою задачею є класифікація рішень. За існуючими підходами можна скористатись класифікацією рішень, яка наведена у табл. 4.1 [1, 2].

Прийняття рішення – це процес вибору найбільш преференційного рішення з множини припустимих рішень або упорядкування множини рішень. Прийняття рішень можливо 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. Тому необхідні адекватна модель об'єкту і модель прийняття та оцінювання прийнятого рішення.

Таблиця 4.1 – Класифікація видів рішень

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

4.1.4.3 Моделі прийняття рішень

Під моделлю прийняття рішень розуміють 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. У ТПР були поставлені та досліджені задачі опису та аналізу типів вибору та таких теоретичних конструкцій, як „корисність”, „перевага” тощо.

В основу сучасних моделей покладено припущення стосовно того, яким чином здійснює вибір варіантів індивідуум, і яким чином здійснюється вибір рішення колективом [2].

4.1.5 Характеристика етапів прийняття рішень

Процес прийняття рішення здійснюється у кілька основних етапів [34, 25]: постановки задачі, формування рішень, вибору рішення.

4.1.5.1 Основні етапи прийняття рішення

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. Зазвичай, цінність альтернативних варіантів не однакова, але за умов неявної переваги одного

варіанту перед іншим можуть виникати певні складності.

4.1.5.2 Послідовність прийняття рішення

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.

4.1.5.3 Помилки прийняття рішення

Часто в процесі прийняття рішень ОПР припускають помилки. До найбільш поширених типових належать такі помилки[2]:

- прийняття так званих односторонніх рішень;
- відсутнім є системний підхід у прийнятті рішення;
- під час вибору варіантів перевагу надають «звичній» альтернативі;
- розглядають лише позитивні варіанти, а можливий ризик не враховують;
- приймають рішення, керуючись емоціями;
- рішення приймають імпульсивно;

- рішення приймають поспіхом;
- у прийнятті рішення керуються припущеннями, прихованими бажаннями і хибними передумовами, а не достовірною об’єктивною інформацією;
- у рішенні невірно тлумачать наявні факти;
- приймають неактуальне рішення (рішення є невірним, час реалізації невчасний або несвоєчасний, що, на жаль, притаманне сучасній українській економіці тощо).

4.1.6 Ефективність і фактори прийняття рішень

Необхідно зазначити, що будь-яке рішення має сенс лише тоді, коли воно є ефективним. Виділяють два основних фактори, що впливають на ефективність рішень E : фактор якості рішення Q та фактор прийняття рішення людиною A .

Фактори Q і A можуть мати чисельні значення і пов’язані між собою аналітичними відношеннями (наприклад, найпростішими адитивними або мультиплікативними). Часто ефективність рішення E може бути формалізовано за формулою мультиплікативного об’єднання Q і A

$$E = Q \cdot A.$$

За умов, коли один із зазначених факторів зменшується (зокрема, прямує до мінімуму), ефективність рішення спадає.

Фактор якості рішення Q пов'язують із вибором кращої альтернативи з тих, які зумовлює проблемна ситуація. Проблемна ситуація може враховувати умови прийняття рішень та можливості виконавців рішення. Фактор прийняття рішення людиною A може мати кілька рівнів (градацій), які є прийнятними для окремих альтернатив.

Для підвищення ефективності рішення основні зусилля варто спрямовувати на покращення фактору якості, а саме, на вірний добір обмежень і критеріїв рішення, правильне формування множини допустимих альтернатив та на коректний вибір найкращого, за умов задачі, варіанту.

Наприклад, ефективність розв'язання задачі розподілу ресурсів характеризує ступінь співвимірності досягнутих цілей із витратами ресурсів на їх досягнення та визначається фактором якості рішення Q . Фактор Q у значній мірі обумовлюється якісністю і глибиною виконання етапу постановки задачі та вибором методів і моделей для розв'язання задачі.

4.1.7 Умови прийняття рішень

Суттєвий вплив на розв'язання задач прийняття рішень зумовлюють умови та середовище, в яких відбувається прийняття рішень. В сучасній теорії ТПР класифікують такі умови прийняття рішень [7]: визначеність, ризик, невизначеність, умови, зумовлені середовищем прийняття рішень.

Рішення приймається в умовах визначеності, якщо точно відомо про результат кожного з альтернативних варіантів вибору рішень. Таких

рішень при управлінні бізнес-процесами відносно небагато. Такі умови прийняття рішень характерні для ситуацій, які зустрічались у минулому.

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, якщо 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.

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 для обставин, що швидко змінюються.

Середовище, в якому відбувається прийняття рішення 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 у сучасних складних задачах приймаються людиною одноособово або колегіально в умовах наявності

невизначеностей різної природи та типів.

4.2 Невизначеність прийняття рішень

Невизначеність припускає наявність факторів, за якими результати дій не є детермінованими, а ступінь можливого впливу цих факторів на результати є невідомою.

4.2.1 Рівні невизначеності

Аналіз умов наявності невизначеностей може виконуватись на абстрактному теоретичному рівні або на практичному рівні, виходячи з певної точки зору прийняття рішень для конкретної ситуації. Наприклад, прийняття рішень може здійснюватись з точки зору виявлення можливості побудови математичної моделі, або з точки зору кількості інформації оцінки ситуації як ентропії з теорії інформації, де невизначеність виступає характеристикою ситуації вибору.

Категорія невизначеності характеризується деякими змінними параметрами, які описують різні види невизначеностей: глобальну невизначеність, ситуативну, політичну, соціальну тощо. Для розв'язання 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.

4.2.2 Типи невизначеностей

При розв'язанні задач системного аналізу, прийняття рішень та дослідження операцій виділяють такі основні типи невизначеностей [22]: невизначеність цілей, ситуаційна невизначеність, стратегічна невизначеність, інформаційна невизначеність.

4.2.1 Характеристика основних типів невизначеностей

Розглянемо характеристики основних типів невизначеностей у прийнятті рішень.

Невизначеність цілей – це невизначеність вибору цілей в багатокритеріальних задачах.

Ситуаційна невизначеність – це невизначеність впливу неконтрольованих факторів, що позначаються на процесах практичної діяльності. Зокрема, невизначеність може бути зумовлена:

- невизначеністю природи за відсутності достатніх знань про

- оточення та зовнішні фактори;
- ненадійністю очікувань, наприклад, як невизначеність розвитку певних подій у майбутньому;

Стратегічна невизначеність – це невизначеність цілей і дій активного або пасивного партнера чи противника (так звана невизначеність конфліктів).

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

4.2.2 Додаткові типи невизначеностей

Додатково виділяють такі типи 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 тощо. Сюди можна віднести, також, невизначеності, зумовлені наявністю збурюючих впливів та похибок (шуму) вимірів;

методична невизначеність – невизначеність (неоднозначність), притаманна методу оброблення 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 наявними є різноманітні види невизначеностей, які разом утворюють деякий комплекс невизначеностей, і називають системною невизначеністю [22].

4.3 Людино-машинні системи підтримки прийняття рішень

Слід враховувати, що процес прийняття рішень людиною має певні обмеження стосовно можливості аналізу, оброблення 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 [6].

Людина має можливість одночасно оперувати лише обмеженим числом операндів і понять, щонайбільше 7 ± 2 [6]. Крім того, при аналізі і розв'язанні багатокритеріальних задач особи ОПР досить часто проявляють мінливість, невпевненість, нелогічність, намагання суттєво спростити задачу. У таких випадках можливості обчислювальних машин значно перевищують можливості людини. Така ситуація призвела до створення напряму розробки систем та методологій, які мають можливість об'єднати переваги людини і комп'ютера та компенсувати їх недоліки, тобто людино-машинних систем [7].

4.3.1 Основні напрями створення людино-машинних систем

Серед сучасних напрямів розробки людино-машинних систем – системи автоматичного керування, експертні системи та СППР. Найбільш придатними для розв’язання багатьох задач, зокрема задачі розподілу ресурсів, виявляються СППР [7]. Саме за допомогою СППР ОПР має можливість безпосередньо за допомогою обчислювальних засобів проектувати, порівнювати та обирати альтернативні варіанти рішень у різноманітні способи.

У сучасних умовах застосування нових альтернативних підходів до формування і прийняття високоякісних рішень неможливо уявити без використання електронних інформаційних систем, інформаційних технологій [7]. Причинами широкого впровадження інформаційних технологій є їх зростаюча роль практично у кожній галузі діяльності суспільства та зростаючі потенційні можливості цих технологій. Застосування сучасних підходів на основі інформаційних технологій надає можливість використовувати обчислювальні потужності комп’ютерів для виконання розрахунків, оброблення, аналізу і прогнозування даних в режимі реального часу, для допомоги у прийнятті рішень.

За цих умов відбувається автоматизація не стільки ручної праці, скільки інтелектуальної, тобто людино-машинні системи дедалі стають інтелектуальними системами підтримки прийняття рішень. Такі системи для багатьох практичних задач виявляють себе як більш ефективні у порівнянні з іншими.

4.3.2 Людино-машинні системи прийняття рішень з передбаченням

У багатьох випадках автоматизації прийняття рішень доцільно використовувати СППР, які дозволяють приймати важливі рішення, керуючись подіями, які ще не здійснилися. Такі СППР 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 [7].

Системи СППР створюються для підтримки прийняття рішень ОПР в складних та слабоструктурованих ситуаціях. Оскільки історично виник ряд різних напрямків діяльності стосовно прийняття рішень, то розрізняють кілька 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 .

4.4 Автономні системи прийняття рішень

Слід зазначити, що для процесу прийняття рішень, який здійснює особа ОПР без допоміжних засобів, суттєве значення мають такі важливі чинники, які повинні бути досліджені і враховані при розробці структури СППР і реалізації системи [12]. Розглянемо основні з них.

Робоча пам'ять.

ОПР здійснює оброблення інформації в робочій пам'яті, яка є проміжною між короткостроковою і довгостроковою зонами 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 є семантично наближеною до інформації, що міститься у робочій пам'яті.

Обробка числових даних.

Прийняття рішень часто вимагає виконання оброблення 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 оброблення інформаційних елементів може вимагати значного часу від ОПР. Це 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 у прийнятті рішень особи ОПР без допоміжних засобів таких, зокрема без СППР. Саме такі обмеження сприяли появі і розвитку наряду створення людино-машинних систем.

4.5 Вимоги до сучасних систем підтримки прийняття рішень

За сучасним станом розвитку система СППР має відповідати таким вимогам [12]:

- 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;
- повинна бути простою у застосуванні та модифікації;
- повинна підтримувати три фази процесу прийняття рішень: інтелектуальну частину, проектування та вибір;
- система призначена для ОПР різного рівня;
- система може бути адаптована до індивідуального та групового застосування;
- СППР підтримує різні стилі та методи рішень, що можуть бути корисними при застосуванні групою ОПР;
- система виявляє гнучкість і адаптується до змін в організації та в її оточенні;
- СППР дозволяє людині керувати процесом прийняття рішення за допомогою комп'ютера, а не навпаки;
- система підтримує еволюційне застосування та легко адаптується до мінливих вимог;
- застосування СППР підвищує ефективність процесу прийняття рішень.

4.6 Особливості застосування сучасних СППР

Інтерес до створення і застосування СППР, як до 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 бізнес, що швидко розвивається. СППР набувають широкого застосування в економіках передових країн світу, з одночасним постійним збільшенням їх кількості. Суттєвого значення набувають розширення функціональних можливостей і удосконалення самих СППР.

4.6.1 Сфери застосування СППР у мікро і макроекономіці

За сферою застосування СППР виділяють такі рівні керування: стратегічного керування, орієнтовані на операційне керування СППР, СППР підтримки інвестиційної діяльності і фінансування,

На рівні стратегічного керування використовують ряд СППР, окремо для довго-, середнє- і короткострокового керування. Системи СППР також застосовують для фінансового планування, включно із системою розподілу капіталовкладень та ресурсів.

Орієнтовані на операційне керування СППР застосовують у галузях маркетингу (прогнозування й аналіз збуту, дослідження ринку і цін), у науково-дослідних і конструкторських роботах, у керуванні кадрами. Операційно-інформаційне застосування СППР пов'язано з виробництвом, придбанням і обліком товарно-матеріальних запасів, їхнім фізичним розподілом і бухгалтерським обліком.

4.6.2 Системи СППР 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) [9].

Система ISDS призначена для формування портфеля замовлень і 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.

4.6.3 Особливості інтелектуальних засобів підтримки прийняття рішень,

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.

Дружні людині системи СППР надають можливість вести рівноправний діалог із ЕОМ за допомогою звичайних мов спілкування. Системи можна підлаштовувати під стиль мислення користувача, з врахуванням рівня його знань і фахової підготовки, а також під зручні для нього засоби роботи.

Для сучасних СППР характерними є такі особливості застосування.

1. СППР надає керівнику допомогу у процесі прийняття рішень і забезпечує підтримку у всьому діапазоні контекстів задач. Думка людини та інформація, що генерує ЕОМ, становлять єдине ціле для прийняття рішень.

2. СППР підтримує і посилює (але не змінює і не відмінює) міркування та оцінку керівника. Контроль залишається за людиною. Для користувача СППР створює умови «почувати себе комфортно» і «як удома».

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

4. СППР виконує інтеграцію моделей і аналітичних методів із стандартним доступом до даних та 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. Система СППР є простою в роботі для осіб, що мають досвід роботи з комп'ютерами. Системи є дружніми для користувачів і не потребують глибоких знань про обчислювальну техніку, забезпечують просте керування обчислювальними і інформаційними ресурсами системи.

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

7. Система СППР є орієнтованою на гнучкість і адаптивність для пристосування 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. Зазвичай система СППР не повинна нав'язувати користувачу визначеного процесу прийняття рішень, а надає інтелектуальну підтримку у прийнятті правильних рішень.

4.7 Класифікація СППР

Єдиної класифікації СППР зараз не існує. Розглянемо деякі основні підходи до поділу СППР на види за різними характеристиками.

4.7.1 Підходи до класифікації СППР

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;
- кооперативна – дозволяє ОПР змінювати, поповнювати або поліпшувати рішення, пропоновані системою, надсилаючи потім ці зміни в систему для перевірки.

На технічному рівні розрізняють такі СППР [7]:

- 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 [7]:

- 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 оброблення даних та відповідають властивостям декількох видів СППР.

Залежно від даних, з якими ці системи працюють, СППР умовно можна поділити на оперативні та стратегічні.

4.7.2 Оперативні і стратегічні СППР

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

Такі СППР називають Виконавчі Інформаційні Системи (Executive Information Systems). Зазвичай системи надають кінцеві множини звітів, побудовані за даними із транзакційної інформаційної системи оперативного обліку підприємства. Вони забезпечують адекватне відображення в режимі реального часу основних аспектів виробничої і фінансової діяльності підприємства.

Для оперативних СППР характерними є такі риси:

- звіти ґрунтуються на стандартних, для організації, запитах, кількість яких відносно невелика;
- СППР подає звіти у максимально зручному вигляді, що включає надання, окрім таблиць, ділової графіки, мультимедійної інформації тощо;
- СППР зазвичай орієнтовані на конкретну сферу, наприклад, фінанси, маркетинг, керування ресурсами.

Стратегічні СППР орієнтовані на аналіз значних обсягів різномірної інформації, що збирають з різних джерел. Найважливішою метою цих СППР є пошук найбільш раціональних варіантів розвитку бізнесу компанії із урахуванням впливу різних факторів, зокрема кон'юнктури цільових, для компанії, ринків, зміни фінансових ринків і ринків капіталів, зміни у законодавстві тощо. Стратегічні СППР будують на принципах багатовимірного подання та аналізу даних у системах OLAP (Online Analytical Processing).

4.8 Історія виникнення та розвитку інформаційних СППР

Інформаційні системи СППР на кожному етапі свого розвитку були тісно пов'язані з досягненнями обчислювальної техніки та інформатики. З самого початку розвитку обчислювальної техніки утворилися два основних напрями її використання у СППР: для виконання досить складних чисельних розрахунків з обробки даних, для створення автоматичних та автоматизованих інформаційних систем (ІС) даних великого об'єму. На практиці іноді дуже важко провести між ними грань, оскільки для

обчислювальної техніки та інформатики характерними є прискорені темпи розвитку (за продуктивністю, енергоспоживанням, об'ємами оперативної та зовнішньої пам'яті, можливостями програмного забезпечення тощо). .

4.8.1 Напрями застосування засобів обчислювальної техніки

Перший напрям застосування обчислювальної техніки для виконання чисельних розрахунків СППР дозволяє виконувати обробку даних, яку занадто довго або взагалі неможливо робити вручну. Становлення цього напрямку сприяло інтенсифікації методів чисельного розв'язання складних математичних задач, розвитку класу мов програмування, орієнтованих на зручний запис чисельних алгоритмів, встановленню зворотного зв'язку із розробниками нових архітектур комп'ютерів.

Другий напрям пов'язано з використанням засобів обчислювальної техніки для створення автоматичних та автоматизованих інформаційних систем. У самому широкому розумінні ІС являє собою апаратно-програмний комплекс, функції якого полягають у підтримці надійного збереження інформації в пам'яті комп'ютера, виконанні специфічних для даного додатка перетворень інформації та/або проведенні обчислень, наданні користувачам зручного і легкого для засвоєння 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, бортові системи літальних апаратів тощо.

Слід зазначити, що другий напрям виник пізніше, ніж перший. Це зв'язано з тим, що у початковий період розвитку обчислювальної техніки комп'ютери мали обмежені можливості стосовно об'єму пам'яті (оперативної та зовнішньої), швидкодії, доступу до ресурсів, надійного та довгострокового зберігання даних у запам'ятовувальних пристроях, що зберігають дані після вимкнення електричного живлення.

4.8.2 Зовнішня пам'ять

З появою магнітних дисків розпочалася історія систем керування даними в зовнішній пам'яті.

Історичним кроком з'явився перехід до використання централізованих систем керування файлами, файлових систем. Система керування файлами бере на себе розподіл зовнішньої пам'яті, відображення імен файлів у відповідні адреси в зовнішній пам'яті і забезпечує доступ до даних.

4.8.3 Інформаційні системи і бази даних

Інформаційні системи головним чином орієнтовані на збереження, вибір і модифікацію постійно існуючої інформації. Структура інформації найчастіше дуже складна і хоча структури даних різні у різних інформаційних системах, між ними часто буває багато спільного.

Прагнення виділити й узагальнити загальну частину інформаційних систем, відповідальну за керування складними структурованими даними, спонукало до створення систем управління базами даних (СУБД). Поява СУБД призвела до виникнення і розвитку великих інформаційних систем.

4.8.4 Хронологія розвитку інформаційних СППР

Бонзек, Холсеппл та Уінстон [10] 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 подання (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.

У [18] було розроблено інформаційну систему керівника (Executive Information System (EIS)). Система EIS є комп'ютерною системою, призначеною для забезпечення поточною адекватною інформацією менеджера з метою підтримки прийняття управлінських рішень.

Починаючи з 1990-х, розробляються так називані Data Warehouses — сховища даних великого об'єму.

4.9 Системи OLAP

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 подають у вигляді багатовимірної 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 багатовимірної куба й обчислення на клієнтському комп'ютері, а OLAP-сервер одержує запит, обчислює і зберігає агрегатні дані на сервері, видає тільки результати.

На початку XXI сторіччя було створено СППР на основі Web-технологій.

4.10 Покоління систем підтримки прийняття рішень

Аналіз еволюції систем СППР дає можливість виділити два покоління СППР:

- СППР першого покоління, яке розроблялося у період з 1970 по 1980 р.;
- СППР другого покоління, яке започатковано у 1980 р. і існує дотепер.

4.10.1 СППР першого покоління

СППР першого покоління майже цілком повторювало функції звичайних управлінських систем по відношенню до 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 комп'ютерів, що використовуються винятково програмістами.

4.10.2 СППР другого покоління

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» тощо, пояснення ходу рішення; пошук і видача аналогічних рішень у минулому і їхні результати.

4.10.3 СППР на основі GRID-систем та систем хмарних обчислень

Світова GRID-архітектура включає ряд національних GRID-архітектур, які орієнтовані на концентрацію інформаційно-обчислювальних ресурсів у комп'ютерних кластерах, суперкомп'ютерах і інших глобальних середовищах ресурсів у межах країни (NGI — National Grid Initiative) і забезпечують ефективну віддалену взаємодію цих GRID-архітектур між собою для розв'язання складних задач.

Сучасне програмне забезпечення GRID-архітектур (ПЗГА) розробляють з використанням взаємоузгоджених наборів засобів обслуговування Grid-інфраструктур – платформ. Залежно від конкретної

Grid-архітектури, використовують різні платформи: ARC(NorduGrid), Alien, LCG, DataGrid (www.datagrid.org), Unicore (www.unicore.org), gLite (www.glite.org), які ґрунтуються на одній базі — системі Globus Toolkit (www.globus.org).

Платформа gLite дозволяє підтримувати такі сервіси: аутентифікації і авторизації; брокера; моніторингу і діагностики; реплікації даних і програм; пошуку програмного забезпечення; каталогів даних і додатків; менеджменту ресурсів і завдань; розв'язання задачі; обліку і оплати отриманих послуг. Доступ користувача до сервісів відбувається через Grid – портал і служби доступу, які дозволяють вирішити основні проблеми ідентифікації, аутентифікації і авторизації до ресурсів Grid-архітектури.

Основними класами задач, для яких Grid –технології найбільш ефективні, є: масова обробка потоків даних великого об'єму; багатопараметричний аналіз даних; моделювання на віддалених суперкомп'ютерах; реалістична візуалізація великих наборів даних; складні бізнес-додатки з великими об'ємами обчислень.

Існує п'ять основних груп Grid-додатків: розподілені супер-обчислення, обчислення з високою пропускнуою спроможністю та за запитом, з інтенсивним обміном даними і сумісні додатки.

Найбільшою в світі Grid-інфраструктурою є європейська EGEE (Enabling Grids for E-sciencE).

Розвитком EGEE стали EGEE-II, EGEE III. Зокрема EGEE-II складається з мережних напрямів робіт (Networking Activities, NA), служб (Service Activities, SA) і напрямів сумісних досліджень (Joint Research Activities, JRA). Відповідно до сучасного стану Grid-технологій в EGEE-II частка фінансування SA і NA підвищиться, а JRA — знизиться. Це дозволить включити до інфраструктури проекту нові країни, додатки і сайти, а також у більшому масштабі поширювати інформацію, вести

навчання і підтримувати додатки. Скоротиться розробка програмного забезпечення, оскільки його можна буде інтегрувати з інших проектів і джерел.

Більшість інфраструктур хмарних обчислень приховують міжмережну взаємодію і включають такі рівні: додаток, клієнт, інфраструктура, платформа, служба, сховище даних.

Складовими компонентами є IaaS (Interface as a Service), PaaS (Platform as a Service), SaaS (Software as a Service). Клієнт звертається до цих сервісів і отримує їх із середовища Інтернет на час проведення обчислень. Як наслідок проблеми, пов'язані з інсталяцією, модифікацією адаптацією програмного забезпечення значно спрощуються, уніфікується сам програмний продукт. Інфраструктура хмарних обчислень включає, зокрема, комп'ютерні кластери, суперкомп'ютери, локальні мережі. Тому системі на основі хмарних обчислень мають фізичне апаратно-програмне забезпечення від найпростіших обчислювальних пристроїв (смартфонів, планшетів, сенсорів, GPS, лаптопів тощо) до суперкомп'ютерів, кластерів, GRID-архітектур.

У хмарних обчислення загальною концепцією є використання програмного забезпечення як служби (SaaS). Іноді це може призводити до відмінностей порівняно з Grid-обчисленнями для кластерних структур, обчислень на основі використання утілітів (зокрема, використання програмних пакетів обробки дани) і автономних обчислень для систем з самоменеджментом. Хмарні обчислення можуть бути основою соціальних обчислювальних мереж (BitTorrent, Skipe, Facebook тощо).

5 ОСНОВИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Основою створення СППР є аналіз процесу прийняття рішення. Такий аналіз є підґрунтям для вибору стратегії прийняття рішення.

Реальні задачі прийняття рішень приводять до значної кількості можливих реалізацій СППР. Тому важливим є врахування досвіду аналізу реальних процесів прийняття рішень.

Результатом аналізу і вибору стратегії є формулювання основних вимог до СППР і подальша побудова СППР за існуючими підходами. Ці підходи узагальнюють як етапи проектування СППР.

5.1 Аналіз процесу прийняття рішення

Аналіз процесу прийняття рішення полягає у визначенні атрибутів прийняття рішень і дослідженні процесів ухвалення рішень особою, яка приймає рішення.

5.1.1 Атрибути прийняття рішень

Для розуміння процесу прийняття рішень необхідно знати три ключових атрибути [7]: використання внутрішнього (розумового) подання проблеми (задачі), досягнення мети; сприйняття інформації.

1. Використання внутрішнього (розумового) подання проблеми (задачі). Коли людина приймає рішення, вона у дійсності не покладається або ж мало покладається на той досвід, який був накопичений раніше. У більшості випадків прийняття рішення використовують підхід, заснований на поданні або розумінні поточних даних. Особа (експерт), що приймає рішення, досить глибоко розуміє ситуацію, має ширше і більш повне уявлення 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 подання 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 подання 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 оперативно 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 являти собою лише абстрактний малюнок із прямих ліній, а для фахівця – це чітка вказівка до визначення типу речовини, що аналізується. Принцип розпізнавання (сприйняття) взаємодіє з принципом внутрішнього подання інформації. ОПР швидше і легше сприймає інформацію, що збігається із звичним для неї внутрішнім поданням.

5.4 Етапи проектування СППР

Процес реалізації етапів проектування СППР тісно пов'язан з визначенням складу етапів та когнітивними процесами виконання окремих підетапів (кроків) проектування.

5.4.1 Склад етапів 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.

5.4.2 Когнітивний процес проектування

Процес проектування представлено графічно на рис. 5.1. Центральний ряд прямокутників показує які конкретно етапи або дії необхідно виконати для того щоб спроектувати 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. 5.1, 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. 5.1, являють 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.

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.



Рис. 5.1 Когнітивний процес проектування СППР

5.4.3 Визначення і декомпозиція задачі прийняття рішень

Визначення і декомпозиція задачі прийняття рішень є першим етапом проектування СППР. Створення опису й аналіз задачі прийняття рішень є фактично основним етапом у проектуванні системи. Якщо не встановити із самого початку обмеження на функції і дані системи, то всі подальші зусилля можуть виявитися марними, оскільки вони можуть виходити за рамки можливостей проекрованої СППР.

5.4.3.1 Визначення задачі прийняття рішень

Експерти, що приймають рішення і звикли бачити весь процес «у цілому», можуть мати істотні труднощі з використанням системи, що змусить «звужити» 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.

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 ОНР. 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 ОНР. Ця задача вирішується шляхом декомпозиції головної мети. Потім кожна ситуація докладно описується за допомогою структурованого формату.

5.4.3.2 Декомпозиція задачі прийняття рішень

Декомпозиція мети. Першим кроком виконання аналізу проблеми, у відношенні якої приймається рішення, є встановлення й опис цілей, що ставить перед собою ЛНР. 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.

Часто ОНР має чітке подання про процес. Кожну дію у процесі ухвалення рішення називають цільовою подією. Зазвичай, це фізичні події (підвищення доходу до заданого рівня, досягнення бажаних характеристик системи тощо).

Після визначення мети 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.

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. Проектувальник системи повинен побудувати хоча б 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 систему проектують із урахуванням цих можливостей і потреб. СППР не повинна проектуватися для досягнення мети проміжного рівня, навіть якщо це найпростіший шлях з обчислювальної точки зору. Тобто після виконання декомпозиції головної мети подальший аналіз і опис повинні будуватися

таким чином, щоб процес проектування був зосереджений на індивідуальних ситуаціях прийняття рішень.

5.4.3.3 Опис ситуації з прийняття рішення

Опис ситуації з прийняття рішення. Пропонується підхід до підтримки рішень, що ґрунтується на когнітивному описі цього процесу. Існує дві сторони опису ситуації з ухвалення рішення: біхевіористично-фізичний і когнітивний. Подвійний опис процесу дозволяє знайти ті «вузькі місця» архітектури прийняття рішень ОПР. Для цього необхідно докладно структурувати і описати весь процес прийняття рішень. Структура опису створюється за допомогою двох інструментів: формат опису, що ґрунтується на широких категоріях аналізу, загальних для більшості рішень; є протокол збору даних і опитування для збору конкретної докладної інформації з кожної широкої категорії, необхідної для аналізу труднощів прийняття рішень і визначення необхідності підтримки їхнього прийняття.

5.4.3.4 Формат опису ситуації з ухвалення рішення

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. Однією із складних задач 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.

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 ОПР.

5. Інформаційна підтримка. Сама істотна різниця між сучасною ОПР і ОПР 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 ОПР:

- 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 ОПР 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 БДта/або знань для СППР.

6. Проміжний аналіз. Очевидно, що досвідчені ОПР (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 проектувальник СППР знає, що представляє собою і з чого складається процес мислення експерта. Ідентифікація й опис цього процесу складають предмет проміжного аналізу.

7. Подання рішення. Досвідчений експерт з прийняття рішень має свій «алгоритм» мислення і подання 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 подання 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 подання проблеми виявляють своє втілення у візуальних образах і картинах. Визначення цього розумового подання 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».

Корисно створити скорочений опис, який займав би одну сторінку у вигляді таблиці. Формат такої таблиці представлений на рис. 5.2.

5.4.4 Аналіз ситуації з прийняття рішення

5.4.4.1 Визначення обмежень процесу прийняття

Аналіз ситуації є другим етапом проектування СППР і потребує визначення обмежень та аналіз типових проблем прийняття рішень.

Визначення обмежень (труднощів) враховує шість загальних моментів використання способів підтримки прийняття рішень. Їх розглядають як «вузькі місця» у процесі прийняття рішень ОПР.

Після визначення слабких місць процесу прийняття рішень вибирають необхідну технологію для посилення цих місць.

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

Рис. 5.2 Формат таблиці для опису процесу прийняття рішень

5.4.4.2 Характеристика типових проблем прийняття рішень

Можна виділити кілька типових проблем 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 оброблення числових атрибутів. Такі обчислення легко і швидко може виконати комп'ютер.

3. Труднощі з обробкою даних, що необхідні для прийняття рішень. Зазвичай 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. Необхідно враховувати, що процес «пошуку і читання» інформації з довгострокової пам'яті не характеризується високою надійністю.

У зв'язку з цими особливостями ОПР може просто застосувати правило вгадування» замість того щоб скористатися істинною інформацією. 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). ОНР знають як необхідно обмірковувати задачу, але часто не можуть виконати цю задачу внаслідок обмежених ресурсів пам'яті і часу. ОНР 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 оброблення великих обсягів інформації, таких як обмеження робочої пам'яті, труднощі оброблення 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 подання 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 подання 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 ОНР змушена робити логічні висновки, які можна пояснити тільки з погляду *суджень*, тобто без застосування числових критеріїв. Досвідчені ОНР 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.

5.4.4.3 Категорії опису ситуацій

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;
- подання рішення – труднощі з візуалізацією або постановкою у відповідність даних і розумової моделі;
- необхідність у судженнях – кількісні неточності евристичних суджень.

Наведене подання допомагає структурувати (уточнити) процес підтримки прийняття рішень. Наведена вище таблиця (рис. 5.2) 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.

5.4.5. Визначення функцій системи підтримки прийняття рішень.

Визначення функцій системи підтримки прийняття є третім етапом проєктування СППР. Сучасні технології проєктування СППР надають ряд можливостей проєктування.

5.4.5.1 Функції для підтримки прийняття рішень з боку ОПР

Загальноприйнятим є використання 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 оброблення інформації, даних, знань використовують сучасні комп'ютерні технології. Завдяки цьому значно розширюються можливості ОПР із прийняття рішень і оброблення даних.

4. Автоматизований і напівавтоматизований 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 подання результатів. Для того щоб реалізувати функції доступу до інших СППР, баз даних і знань, необхідно застосовувати засоби комп'ютерної графіки й інструментарій для оброблення 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.

5.4.5.2 Вибір конкретних обчислювальних процедур

Вибрані функції СППР для підтримки прийняття рішень з боку ОПР потребують певної реалізації. Тому 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.

5.4.6 Вибір технології для реалізації СППР

Вибір технології (методів) для реалізації СППР є четвертим етапом створення системи. Цей вибір виконують у межах біхевіористичних і когнітивних обмежень.

Функціональне проектування СППР являє 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.

5.5 Засоби підтримки прийняття рішень

Основним інструментарієм, який необхідно мати на цьому етапі, є чітке визначення і категоризація технологічної бази СППР. Таке визначення і категоризація ґрунтується на функціях і потребах, розглянутих вище.

5.5.1 Види математичного інструментарію

Можна виділити шість видів математичного інструментарію, що використовується при проектуванні і реалізації СППР (рис. 5.3):

- 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 подання 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. 5.3, 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.



Рис. 5.3 Класифікація засобів підтримки прийняття рішень
Категорії ще не дають достатньої підтримки для інформаційного проектування. Їх перелік визначає наявні технології 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.

5.5.2 Правила реалізації функцій СППР

Правила реалізації повинні ґрунтуватись на даних, що характеризують ситуацію з ухвалення рішення і збираються шляхом декомпозиції/опису конкретної ситуації.

На етапі вибору методів кожна потреба у підтримці ухвалення рішення узгоджується з конкретним методом, наведеним на рис. 5.3. 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.

6 ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ І ДАННИХ В СППР

6.1 Вибір моделей і критеріїв для побудови СППР

Створення і використання СППР тісно пов'язано із застосуванням моделей і інструментаріїв обслуговування. Можна виділити моделі і критерії побудови самої СППР, моделі для оцінювання наслідків прийняття рішень з використанням даної СППР і інструментарій обслуговування або менеджменту СППР з врахуванням різноманітних режимів і ситуацій прийняття рішень.

Існує кілька умов, які визначають необхідність використання моделі процесу прийняття рішень. Очевидною умовою є те, що рішення повинне безпосередньо ґрунтуватись на первинному процесі, що аналізується. Також слід аналізувати поводження процесу з прогнозуванням у сильному або слабкому сенсі.

Процес розглядають як прогнозований у сильному сенсі, 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» сенсі, оскільки прогнозоване значення є достовірним лише для тих умов, які відповідають конкретному наборові даних.

Наприклад, «слабко прогнозованими» є процеси на товарному ринку. Економетричний аналіз свідчить, що агреговане поводження великої

кількості 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, які характеризують його поведінку 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 за їх наявності. Правила вибору конкретної моделі процесу подано на рис. 6.1.

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, у динаміці або в даних на виході). Якщо невизначеності мають місце, то необхідно вибирати 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 (зокрема, забруднення, погода), і з економікою.

Важливою характеристикою є бачення реального процесу з погляду ОПР. ОПР має своє уявлення щодо того, 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.

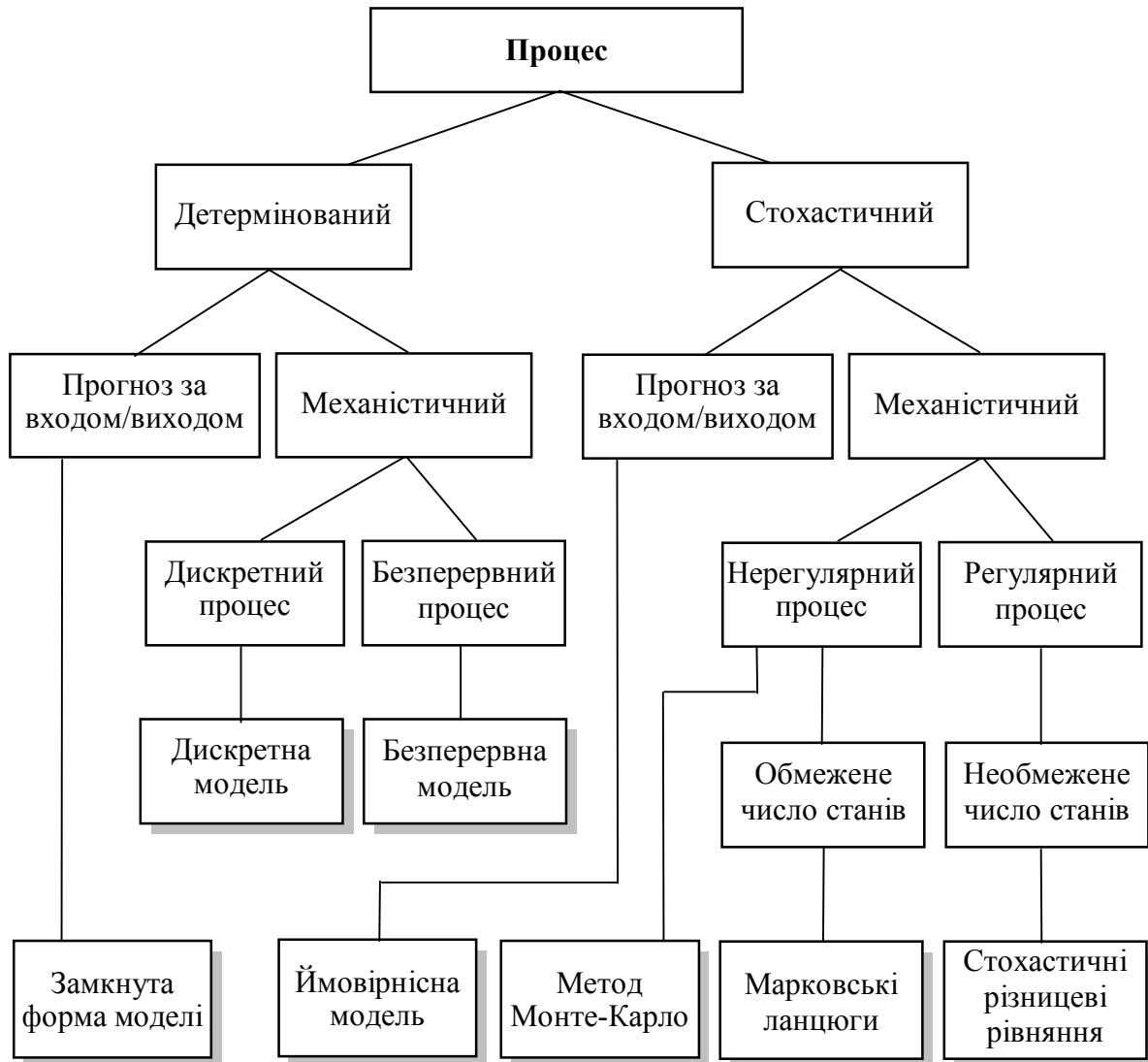


Рис. 6.1 Вибір моделі процесу при проектуванні СППР

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 (дискретну або неперервну) слід використовувати з погляду врахування протікання часу.

Очевидно, що найбільше труднощів пов'язано з аналізом стохастичних процесів. Якщо процес адекватно описується за допомогою двадцяти або меншої кількості станів, то його вважають процесом з обмеженою кількістю станів.

Істотною характеристикою процесу є його регулярність. Процес вважають 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 тощо. Підхід до моделювання на основі методу Монте-Карло передбачає відсутність можливості вивчення процесу або збору обсяг даних, необхідний для побудови адекватної математичної моделі. Необхідним є достатній обсяг обчислювальних ресурсів і часу для побудови подібної моделі.

6.2 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. 6.1, для конкретної ситуації з прийняття рішень, подано на рис. 6.2.

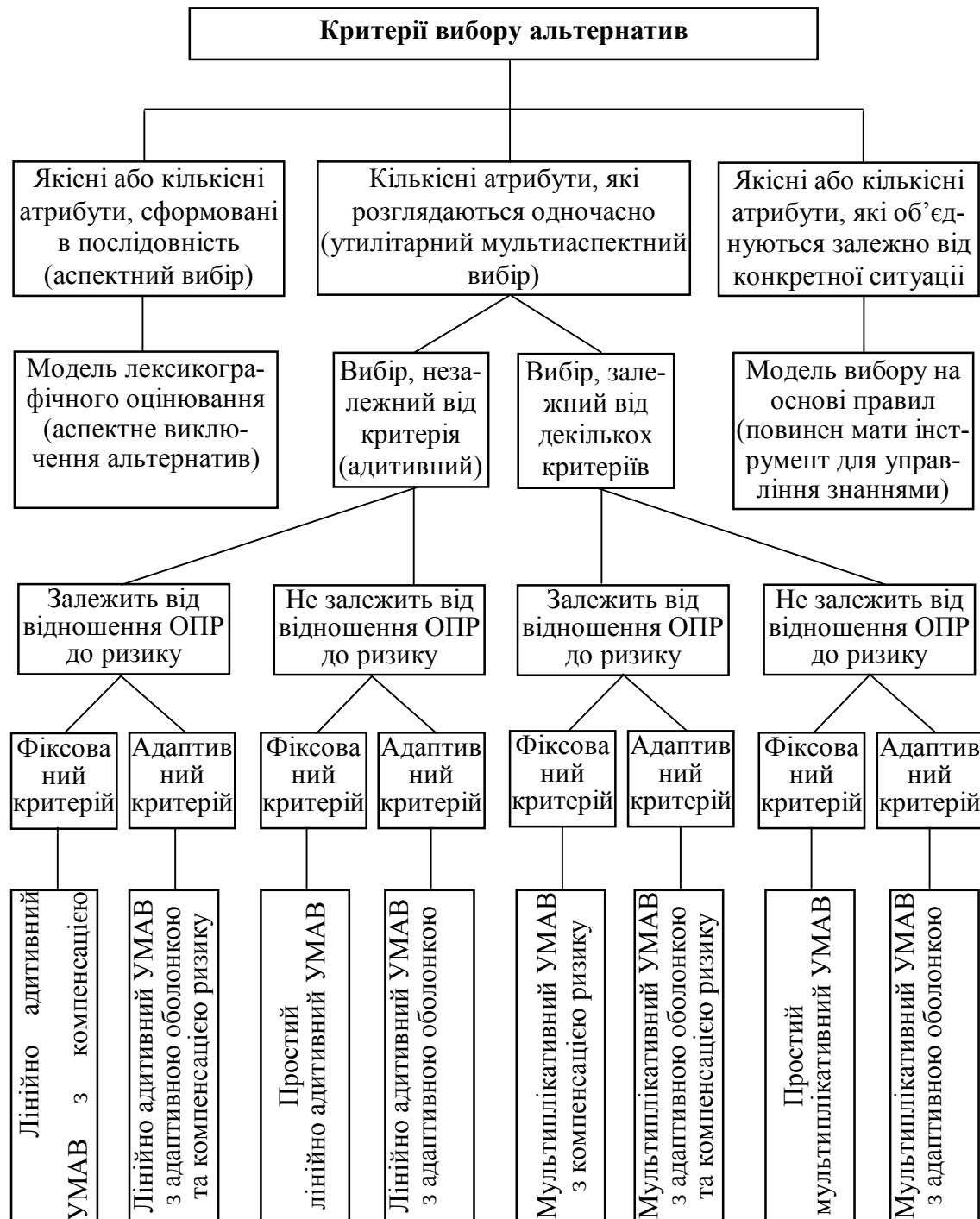


Рис. 6.2 Вибір моделі для оцінювання результату роботи СППР

Якщо у процесі прийняття рішень без засобів підтримки аналізують кілька альтернатив, кожен з яких описують більше ніж одним атрибутом, то такий процес називають мультиатрибутним процесом прийняття рішень.

Якщо всі атрибути розглядають 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.

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 (зокрема, з осіб 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 (у ролі 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. 6.2, очевидна з вищенаведеного аналізу попередніх випадків.

6.3 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 оброблення 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[7].

Проблема іншого типу зв'язана з відсутністю необхідного навчання і досвіду ОПР. Тут відіграє також роль специфічна архітектура процесора оброблення 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, яка терміново потрібна у 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. 6.3.

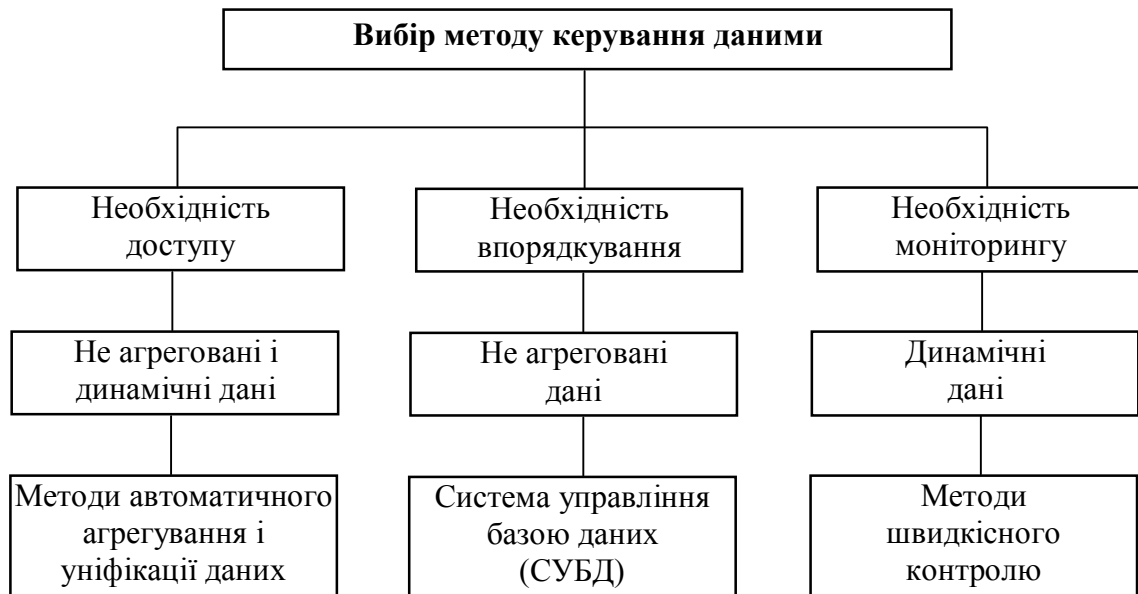


Рис. 6.3 Вибір методу керування даними

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 [7]. 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 баз даних 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 вимірювальної 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 оброблення 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. Для створення мережевої форми або асоціативної структури СУБД повинна ґрунтуватися на мережевому підході до її побудови. У загальному випадку мережеві структури можна реалізувати на основі реляційного підходу.

7 ПРОЕКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ СППР

7.1 Основні підходи до проектування СППР

Існують різні підходи до проектування СППР. Системний аналіз цих підходів дозволяє узгодити існуючі вимоги до СППР з вибраною архітектурою СППР.

Проектування СППР передбачає визначення типу архітектури і подальшу деталізацію основних функцій системи оброблення даних та генерування результатів (СОДГР) СППР. Розробку системи СОДГР починають з вибору та опису алгоритмів відповідно до методів оброблення даних, форм і засобів подання даних і знань, які можуть використовуватись в СППР.

На завершальній стадії проектування важливими є функції системи подання результатів, форми подання даних і результатів обробки даних тощо. Розгляд цих питань і складає основу проектування архітектури СППР.

За категорією класифікації – концептуальна модель (схема) виділяють : інформаційний підхід до проектування; підхід, що ґрунтується на знаннях; інструментальний підхід.

7.2 Інформаційний підхід

З позицій інформаційного підходу СППР належать до класу інформаційних систем, основне призначення яких полягає у поліпшенні характеру діяльності управлінського персоналу підприємства (саме

покращення характеру, а не у наданні потрібної інформації у певний час) за рахунок застосування засобів інформаційних технологій. У межах цього підходу запропоновано дві моделі СППР: „Спрага” та еволюціонуюча модель.

Основними компонентами моделі СППР „Спрага” є: інтерфейс “користувач – система”, БД і база моделей. Інтерфейс “користувач – система” забезпечує зв’язок з кожною БД. Він включає програмні засоби: систему управління БД (СУБД), систему управління базою моделей (СУБМ), управління і генерування діалогу. Інтерфейс повинен забезпечити виконання таких функцій: керування різними стилями ведення діалогу; змінювання стилю діалогу за бажанням користувача; подання даних у різних форматах і видах; надання гнучкої підтримки користувачеві.

Структурну схему СППР „Спрага” подано на рис. 7.1.

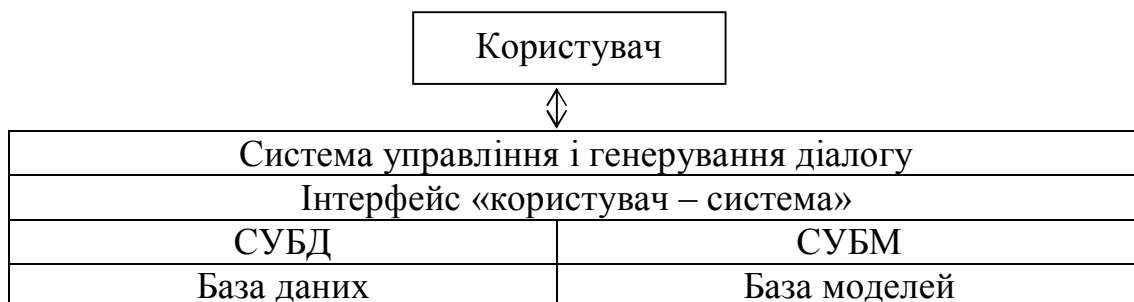


Рис. 7.1 Структурна схема СППР „Спрага”

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; надавати 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 обслуговувати широкий спектр моделей, які підтримують всі рівні управління; легко і видко створювати нові моделі; пов'язувати моделі з відповідними БД.

Подальшим розвитком СППР є еволюціонуюча СППР. Крім інтерфейсу користувача, бази даних, бази моделей ця система включає базу текстів і базу правил. Завдяки цьому розширюється їх функціональні можливості. Інформаційна база СППР дає змогу використовувати як менш структуровані види інформації (наприклад, тексти звичайною мовою), так і більш структуровану інформацію (наприклад, правила подання знань, евристичні процедури).

Структурна схема еволюціонуючої СППР зображена на рис. 7.2.



Рис. 7.2 Структурна схема еволюціонуючої СППР

7.3 Підхід, заснований на знаннях

Одним із перспективних напрямів розвитку систем підтримки прийняття рішень є об'єднання технологій підтримки рішень і технології

штучного інтелекту [7]. 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, 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. 7.3. 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 оброблення (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 синтаксичні та семантичні засоби, запропоновані мовною системою. Система знань вміщує інформацію стосовно предметної області.

Типи цих систем відрізняються за характером подання в них даних і використаними моделями формалізації знань (ієрархічні структури, графи, семантичні мережі, фрейми, обчислення предикатів тощо).

Система оброблення 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.

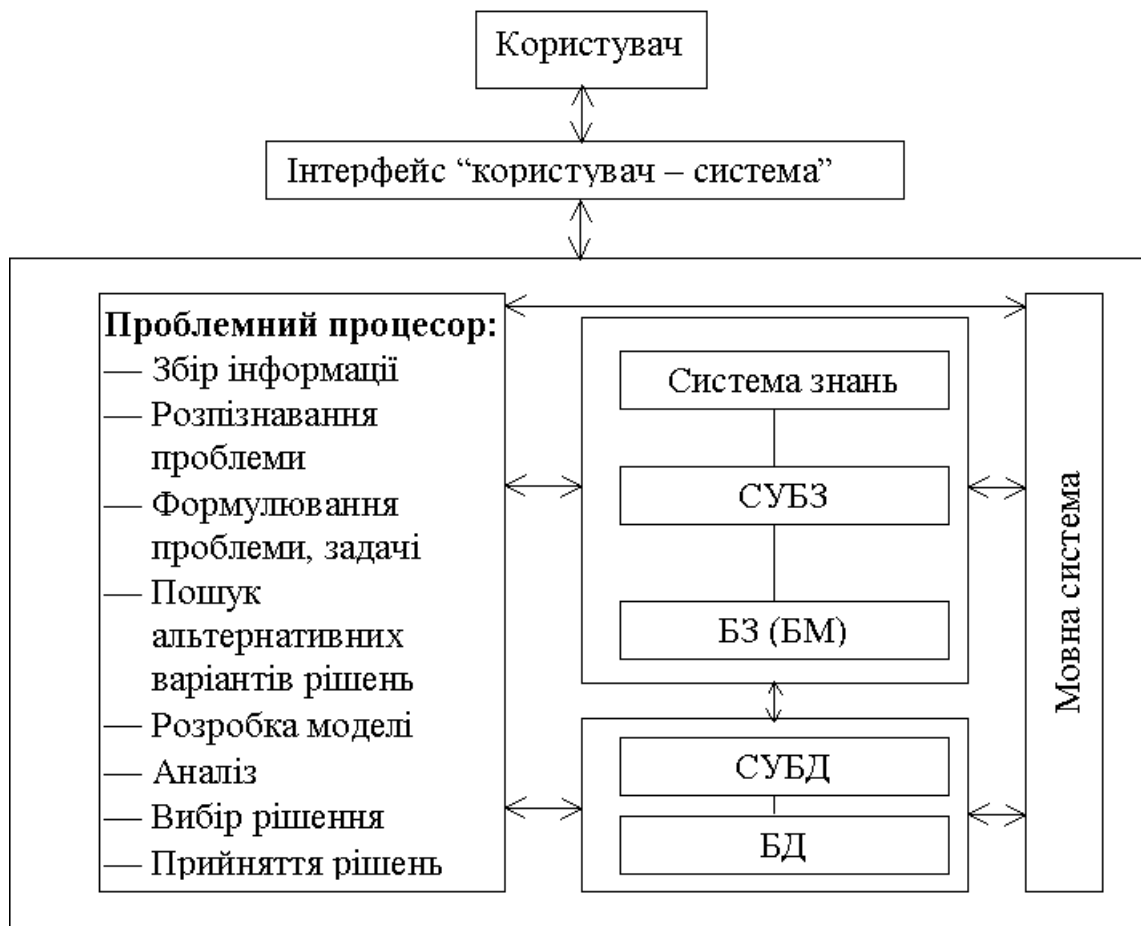


Рис. 7.3 Структурна схема СППР, яка ґрунтується на знаннях

Проблемний процесор є динамічною компонентою СППР, що відображає (моделює) поведінку особи, яка вирішує проблему. Він повинен мати можливість інтегрувати інформацію від користувача через мовну систему і систему знань і може 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.

8 ПОСЛІДОВНІСТЬ РОЗРОБКИ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ СППР

8.1 Основні етапи розробки та реалізації

Процес розробки та реалізації СППР складається з таких послідовних етапів:

- формулювання постановки задачі;
- аналіз можливості реалізації СППР;
- формулювання вимог до СППР;
- створення проекту СППР;
- опис програмного забезпечення системи;
- послідовність програмування модулів системи;
- послідовність тестування системи;
- підготовка інсталяційної версії і експлуатаційної документації;
- впровадження системи на технічних засобах замовника;
- супроводження СППР;

8.2 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.

8.3 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 введення 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.

8.4 . 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 $\frac{1}{2}$ 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 подання 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 оброблення 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 умовчуванням) 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.

8.5 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 відрізнятися 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 подання результатів (СПР) повинен містити:

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

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

- опис всіх алгоритмів і правил оброблення 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.

8.6 Сучасні СППР ринку інформаційних послуг

Системи підтримки прийняття рішень набули широкого застосування в економіках передових країн світу, причому їхня кількість постійно зростає.

Сучасні СППР ринку інформаційних послуг охоплюють широке коло застосувань. Будемо розглядати ці системи за типами і за галузями використання.

8.6.1 Типи сучасних СППР

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 застосовують 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 поєднують дві чи більше з перелічених функцій. Пріоритетними галузями використання є: 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 %.

Типовими СППР для проблем мікро- та макроекономіки є:

“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 ;

8.6.2 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 введення 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.

8.6.3 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 БДРІМС 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”.

8.6.4 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.

8.6.5 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.

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.

8.6.6 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 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 введенняється 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 зручний для користувача час без проведення додаткового налагодження.

8.6.7 Пакети і інтегровані системи

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. Віргінія) 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 СППР, 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.

8.7 Проектування банківських СППР

8.7.1 Аналітичний програмний комплекс

СППР ринку інформаційних послуг у якості об'єктів виступають засоби доступу до даних і методи їх аналізу, системи збору, збереження, оброблення і передачі інформації, комунікаційні системи тощо., а у якості суб'єктів виступають аналітики, експерти і керівники.

Взаємини між суб'єктами СППР, які регламентують від постановки проблеми до ухвалення рішення, розрізняють для кожної окремої організації. Тому такий опис потребує окремого обговорення.

Основна увагу тут приділимо структурі і можливостям аналітичного програмного комплексу (АПК).

Комплекс АПК являє собою універсальний інструментальний засіб збору, консолідації, оброблення і аналізу великих обсягів інформації. Він здатний, на основі наявних даних, наприклад про клієнтів банку, філій,

зроблених банківських операціях, послідовності зовнішніх подій тощо, виконувати такі функції:

- 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.

8.7.2 Підсистема збору і збереження даних

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

- перетворення різнорідних даних з різних джерел до єдиного формату;
- перевірка логічної коректності і повноти інформації, що введених;
- контроль за виконанням регламенту надходження і повноти інформації, що введених;

- 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 введення 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 оброблення 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.

8.7.3 Підсистема доступу до даних, аналізу і репортиingu

Для безпосередньої оброблення даних у сховищі пропонують використовувати програмне забезпечення Business Objects, який є одним з лідерів на ринку засобів доступу і репортиingu, що максимально відповідає сьогоdnішньому 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.

8.7.4 Інструмент опису семантичного шару

Семантичний процесор створюється за допомогою BusinessObjects Designer. Програміст або адміністратор, який 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 створюваних 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 вибирати осі подання 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.

8.8 Основні можливості звітів у АПК

8.8.1 Інструментарій АПК

При побудові різних звітів АПК має широкі можливості масштабування, «розгортання» формул (drill-down) і побудови похідних графіків, а також спеціальні аналітичні функції. 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 кількох 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 багато методик, які 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 показати на прикладі класичної панелі керування технічним об'єктом, на яку виведена велика кількість різних приладів і індикаторів (стрілок, лампочок тощо.). 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. 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 визначенні 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. Вказують величину 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 вибирають 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. Вказують кількість днів до поточної дати, за які перевіряється монотонне зниження (зростання) значення показника. Спрацьовує, якщо на цьому інтервалі показник немонотонний.

8.8.2 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 подання 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).

8.8.3 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 тощо.

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 завантажується 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.

8.8.4 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.

8.9 Перелік аналітичних і управлінських задач, які розв'язуює АПК

У загальному випадку, для визначених структури і можливостей аналітичного комплексу, можна окреслити повний перелік задач, які можна вирішувати банку за допомогою АПК. Завдяки цьому можуть прийматись зважені рішення. : До таких задач можна віднести:

- 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.

Деякі з перерахованих задач мають універсальний характер і не відносяться винятково до банківської сфери. Частина з цих задач можна цілком віднести до банківської сфери для розв'язання банківських задач.

8.10 Етапи впровадження АПК та її налагодження

8.10.1 Вартість впровадження АПК

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.

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 оброблення.

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

8.10.2 Розробка АПК

Розробка АПК передбачає виконання ряду етапів. Основними є такі.

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.

8.10.3 Впровадження і налагодження системи

Впровадження АПК передбачає виконання низки заходів. Зокрема, можна виділити такі важливі моменти.

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.

8.10.4 Супровід і подальший розвиток системи

Подальша експлуатація створеного АПК передбачає регулярну роботу з підтримання життєдіяльності системи. Основними етапами цієї роботи є такі.

1. Поточне адміністрування системи.
2. Навчання користувачів.
3. Подальша робота стосовно модернізації системи.

9 МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ПОБУДОВА СППР ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ДИНАМІКИ 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].

9.1 Методи прогнозування на основі часових рядів

Методи прогнозування можна поділити на три основні класи [1,2]:

1. прогнозування на основі суджень; прогнозування, що ґрунтується на суб'єктивних судженнях (оцінках), інтуїції, поглиблених знаннях конкретної області та іншій інформації, що має відношення до прогнозованого процесу (зокрема, 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.

У третьому випадку ендогенна змінна, що прогнозується, залежить від кількох регресорів або екзогенних змінних у правій частині рівняння.

Очевидно, що в загальному випадку метод прогнозування може поєднувати у собі 2-3 наведених вище методи.

Відомо багато методів прогнозування на основі використання часових рядів. Найбільш поширеними серед них є: метод групового врахування аргументів (МГВА), регресійний аналіз; нейромережі; байєсівські мережі; нечіткі множини; нечіткі нейромережі тощо.

Регресійний аналіз включає методи авторегресії (АР), авторегресії з ковзним середнім (АРКС), авторегресії з інтегрованим ковзним середнім (АРИКС), лінійної та нелінійної множинної регресії, квантильної регресії, регресійні дерева.

У загальному випадку прогноз може бути подано 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.

9.2 Основні складові прогнозування процесу

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 тощо);
- 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.

9.2.1 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.

9.2.2 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.

9.2.3 Прогнозування коливань, що накладаються на тренд

Коливання, 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 різниць 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.

9.2.4 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.

9.3 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:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y(k), \quad Var(x) = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N [x(k) - \bar{x}]^2,$$

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 вибраний (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:

$$\begin{aligned} E_k[y(k+1) | y(k), y(k-1), \dots, y(0), \varepsilon(k), \varepsilon(k-1), \dots, \varepsilon(0)] = \\ = E_k[a_0 + a_1 y(k) + \varepsilon(k+1)] = a_0 + a_1 y(k) \end{aligned}$$

за умови, що $E_k[\varepsilon(k+l)] = 0, l \geq 1$.

Умовне вибіркове середнє та умовну вибіркovu 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:

$$y(k) = \sqrt{f[x(k)]} \varepsilon(k), \quad (9.1)$$

$$\varepsilon(k) = \beta \varepsilon(k-1) + v(k), \quad (9.2)$$

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 $N(0,1)$;

$$\beta \in \Theta = (-1; 1), \quad f[x(k)] \in C^p[0, 1].$$

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:

$$x(1) \leq x(2) \leq \dots \leq x(N),$$

$$\text{де } x(k) = \frac{k}{N}, \quad k = 1, 2, \dots, N.$$

Функцію $f[x(k)]$ називають функцією дисперсії, хоча вона не повністю описує дисперсійно-коваріаційну структуру процесу (9.1) – (9.2). Припустимо, що $f[x(k)]$ має p неперервних похідних. Безумовну дисперсію процесу $y(k)$ можна визначити таким чином:

$$\begin{aligned} \text{var}[y(k)] &= f[x(k)] E[\varepsilon^2(k)] = f[x(k)] E\{[\beta \varepsilon(k-1) + v(k)]^2\} = \\ &= \left\{ \beta^2 E[\varepsilon^2(k-1)] + E[v^2(k)] \right\} f[x(k)] = \\ &= \beta^2 f[x(k)] E[\varepsilon^2(k-1)] + f[x(k)] = \\ &= \beta^2 \text{var}[y(k)] + f[x(k)]. \end{aligned}$$

Звідси отримаємо:

$$\text{var}[y(k)] = \frac{f[x(k)]}{1 - \beta^2}.$$

Таким чином, процес (9.1) – (9.2) є умовно і безумовно гетероскедастичним. Задача полягає у тому, щоб коректно побудувати та оцінити функцію $f[x(k)]$.

9.4 Побудова функцій прогнозування

9.4.1 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].

9.4.1.1 Прогнозування для рівняння AP(1)

Розглянемо рівняння AP(1):

$$y(k) = a_0 + a_1 y(k-1) + \varepsilon(k), \quad E[\varepsilon(k)] = 0. \quad (9.3)$$

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 (9.3) 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:

$$E(k+s) = E_s[y(k+s)] = a_0 \left(\sum_{i=0}^{s-1} a_1^i \right) + a_1^s y(k) = a_0 \sum_{i=0}^{s-1} a_1^i + a_1^s y(k). \quad (9.4)$$

Отримане рівняння називають функцією прогнозування на довільне число кроків. Прогноз представляє собою збіжний процес, якщо $|a_1| < 1$, тобто

$$\lim_{s \rightarrow \infty} E_k[y(k+s)] = \frac{a_0}{1-a_1}, \quad |a_1| < 1, \quad (9.5)$$

де a_1 – знаменник геометричної прогресії.

Вираз (9.5) 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:

$$\begin{aligned}
f_k(2) &= y(k+2) - E_k[y(k+2)] = \\
&= a_0 + a_1[a_0 + a_1y(k) + \varepsilon(k+1)] + \varepsilon(k+2) - E_k[y(k+2)] = \\
&= a_0 + a_0a_1 + a_1^2y(k) + a_1\varepsilon(k+1) + \varepsilon(k+2) - a_0 - a_0a_1 - a_1^2y(k) = \\
&= \varepsilon(k+2) + a_1\varepsilon(k+1).
\end{aligned}$$

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 (9.4), є незміщеною. Дисперсія похибки прогнозування:

$$Var[f_k(s)] = \sigma^2 [1 + a_1^2 + a_1^4 + a_1^6 + \dots + a_1^{2(s-1)}],$$

тобто дисперсія є функцією кількості кроків s . Асимптотичне значення дисперсії похибки прогнозу для стаціонарного процесу

$$\lim_{s \rightarrow \infty} Var[f_k(s)] = \frac{\sigma^2}{1 - a_1^2},$$

де a_1^2 – знаменник геометричної прогресії.

9.4.1.2 Узагальнення функції прогнозування (на процес АРКС(p,q))

Знайдемо спочатку функцію прогнозування для процесу АРКС(2,1), який описується наступним рівнянням:

$$y(k) = a_0 + a_1 y(k-1) + a_2 y(k-2) + \varepsilon(k) + \beta_1 \varepsilon(k-1).$$

Для наступного моменту часу можна записати

$$y(k+1) = a_0 + a_1 y(k) + a_2 y(k-1) + \varepsilon(k+1) + \beta_1 \varepsilon(k).$$

Умовне математичне сподівання для $y(k+1)$ має вигляд:

$$E_k[y(k+1)] = a_0 + a_1 y(k) + a_2 y(k-1) + \beta_1 \varepsilon(k),$$

Значення $\varepsilon(k)$ розглядають як відому величину на момент k включно.

При цьому $E_k[\varepsilon(k+j)] = 0, \quad \forall j > 0$.

Для моменту часу $k+2$ маємо:

$$y(k+2) = a_0 + a_1 y(k+1) + a_2 y(k) + \varepsilon(k+2) + \beta_1 \varepsilon(k+1),$$

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:

$$\begin{aligned} E_k[y(k+3)] &= a_0 + a_1 E_k[y(k+2)] + a_2 E_k[y(k+1)] = \\ &= a_0(1 + a_1 + a_1^2 + a_2) + (a_1^3 + 2a_1a_2)y(k) + (a_1^2a_2 + a_2^2)y(k-1) + \\ &\quad + \beta_1(a_1^2 + a_2)\varepsilon(k) . \end{aligned}$$

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:

$$E_k[y(k+s)] = a_0 + a_1 E_k[y(k+s-1)] + a_2 E_k[y(k+s-2)] . \quad (9.6)$$

Якщо корені характеристичного рівняння, записаного для (9.6), 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:

$$E_k[y(k+s)] = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i E_k[y(k+s-i)] .$$

9.4.2 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

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(k-i) &= \varepsilon(k) + a_1 \varepsilon(k-1) + a_1^2 \varepsilon(k-2) + \dots + a_1^k \varepsilon(0) + a_1^{k+1} \varepsilon(-1) + \dots, \\ -a_1^k \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(-i) &= -a_1^k \varepsilon(0) - a_1^{k+1} \varepsilon(-1) - a_1^{k+2} \varepsilon(-2) - \dots, \end{aligned}$$

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 $E_o[y(k)]$. 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

$$\beta_1 \sum_{i=0}^{k-1} a_1^i \varepsilon(k-1-i) = \beta_1 \varepsilon(k-1) + \beta_1 a_1 \varepsilon(k-2) + \beta_1 a_1^2 \varepsilon(k-3) + \dots + \beta_1 a_1^{k-1} \varepsilon(0),$$

то отримаємо:

$$y(0+k) = E_0[y(k)] = \frac{a_0}{1-a_1} + \beta_1 a_1^{k-1} \varepsilon_0 + \left[y_0 - \frac{a_0}{1-a_1} \right] a_1^k. \quad (9.7)$$

Рівняння (9.7) 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 (9.7):

$$y(0+s) = E_0[y(s)] = \frac{a_0}{1-a_1} + \beta_1 a_1^{s-1} \varepsilon_0 + \left[y_0 - \frac{a_0}{1-a_1} \right] a_1^s =$$

$$= \left(\frac{a_0}{1-a_1} \right) (1 - a_1^s) + \beta_1 a_1^{s-1} \varepsilon_0 + y_0 a_1^s.$$

Тепер виконаємо оновлення часового індексу для змінних y і ε 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 являє 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:

$$E_N[y(N+1)] = a_0 + a_1 E_N[y(N)] + a_2 E_N[y(N-1)] + \beta_1 \varepsilon(k),$$

$$E_N[y(N+2)] = a_0 + a_1 E_N[y(N+1)] + a_2 E_N[y(N)],$$

.

$$\dots E_N[y(N+s)] = a_0 + a_1 E_N[y(N+s-1)] + a_2 E_N[y(N+s-2)],$$

$$s \geq 2$$

Приклад 9.1. 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:

$$y^{ps}(k) = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i \varepsilon(k-i),$$

$$\text{де } \alpha_0 = 1; \alpha_1 = 0,9; \alpha_i = 0,9\alpha_{i-1} - 0,2\alpha_{i-2}, \quad \forall i > 1.$$

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:

$$y(k+s) = 10,0 + 0,4^S \{5,0[y(k-1) - 10] - 10[(y(k) - 10)]\} + \quad (9.8) \\ + 0,5^S \{[10y(k) - 10] - 4[y(k-1) - 10]\} + \sum_{i=0}^{S-1} \alpha_i \varepsilon(k+s-i),$$

де $y(k-1), y(k)$ – початкові умови відносно k – го моменту часу.

В рівнянні (9.8) 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.

9.4.3 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 моменту 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

$$y(k+1) = -ay(k) + \varepsilon(k+1) + \beta\varepsilon(k), \quad (9.9)$$

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 (9.9). 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 (9.9) у вигляді:

$$\varepsilon(\tau+1) - y(\tau+1) + \beta \varepsilon(\tau) = a y(\tau), \quad 0 \leq \tau \leq k$$

і знайдемо розв'язок для цього рівняння. Додамо до лівої і правої частин 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:

$$\begin{aligned} x(1) &= -\beta x(0) + (a - b)y(0), \\ x(2) &= -\beta x(1) + (a - b)y(1) = -\beta[-\beta x(0) + (a - b)y(0)] + (a - b)y(1) = \\ &= -\beta^2 x(0) - \beta(a - b)y(0) + (a - b)y(1), \\ x(3) &= -\beta x(2) + (a - b)y(2) = \\ &= -\beta^3 x(0) + \beta^2(a - b)y(0) - \beta(a - b)y(1) + (a - b)y(2). \end{aligned}$$

Для довільного k розв'язок має наступний вигляд:

$$x(k) = (-\beta)^k x(0) + (a - \beta) \sum_{i=0}^{k-1} (-\beta)^{k-1-i} y(i). \quad (9.10)$$

Виконаємо 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 (9.10) змінюються в належних інтервалах.

Використовуючи рівняння (9.10), можемо записати вираз для $\varepsilon(k)$:

$$\varepsilon(k) = [\varepsilon(0) - y(0)](-\beta)^k + y(k) + (a - \beta) \sum_{i=0}^{k-1} (-\beta)^{k-1-i} y(i), \quad (9.11)$$

а для довільного початкового моменту часу k_0 отримаємо

$$\varepsilon(k) = [\varepsilon(0) - y(0)](-\beta)^{k-k_0} + y(k) + (a - \beta) \sum_{i=0}^{k-1} (-\beta)^{k-1-i} y(i). \quad (9.12)$$

Оскільки для стаціонарного процесу $|\beta| < 1$, то перший член (9.11) і (9.12) 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:

$$\begin{aligned} y(k+1|k) &= y(k+1, k) = y(k+1) = -a y(k) + \beta \varepsilon(k) = \\ &= -a y(k) + \beta y(k) + \beta(a - \beta) \sum_{i=-\infty}^{k-1} (-\beta)^{k-i-1} y(i) = \\ &= -(a - \beta) y(k) + \beta(a - \beta) \sum_{i=-\infty}^{k-1} (-\beta)^{k-i-1} y(i) = (\beta - a) \sum_{i=-\infty}^k (-\beta)^{k-i} y(i). \end{aligned}$$

Це рівняння можна переписати у зручнішій рекурсивній формі

$$\begin{aligned} y(k+1, k) &= (\beta - a) [y(k) + \sum_{i=-\infty}^{k-1} (-\beta)^{k-i} y(i)] = \\ &= (\beta - a) [y(k) + (-\beta) \sum_{i=-\infty}^{k-1} (-\beta)^{k-1-i} y(i)] = -\beta y(k, k-1) + (\beta - a) y(k). \end{aligned} \quad (9.13)$$

Тобто функція прогнозування на один крок описується РР першого порядку. Динаміка прогнозу визначається коефіцієнтом β .

За визначенням, похибка прогнозу дорівнює

$$f(k+1, k) = y(k+1) - y(k+1, k) = \varepsilon(k+1),$$

а її математичне сподівання $E[f(k+1, k)] = 0$.

9.4.4 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

$$y(k+1) = -ay(k) + \varepsilon(k+1) + \beta\varepsilon(k) \quad (9.14)$$

можна переписати у вигляді

$$\begin{aligned} y(k+1) &= \frac{1+\beta z^{-1}}{1+az^{-1}} \varepsilon(k+1) = \varepsilon(k+1) - \varepsilon(k+1) + \frac{1+\beta z^{-1}}{1+az^{-1}} \varepsilon(k+1) = \\ &= \varepsilon(k+1) + \frac{-\varepsilon(k+1) - a\varepsilon(k) + \varepsilon(k+1) + \beta\varepsilon(k)}{1+az^{-1}} = \\ &= \varepsilon(k+1) + \frac{\beta - a}{1+az^{-1}} \varepsilon(k). \end{aligned} \quad (9.15)$$

Із рівняння (9.14) знайдемо вираз для випадкової величини

$$\varepsilon(k) = \frac{1+az^{-1}}{1+\beta z^{-1}} y(k)$$

і підставимо цей вираз в (9.15) щоб уникнути змінної $\varepsilon(k)$ з метою зменшення невизначеності прогнозу:

$$y(k+1) = \varepsilon(k+1) + \frac{\beta - a}{1 + \beta z^{-1}} y(k).$$

Відніmemo від обох частин цього рівняння прогнозоване значення $y(k+1, k)$ і знайдемо математичне сподівання квадрата похибки прогнозу:

$$E_k[y(k+1) - y(k+1, k)]^2 = E[\varepsilon^2(k+1)] + E\left[\frac{\beta - a}{1 + \beta z^{-1}} y(k) - y(k+1, k)\right]^2$$

за умови, 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 (9.13).

9.4.5 Функція прогнозування на два кроки

Побудуємо функцію прогнозування на два кроки $y(k+2, k)$ для випадкового процесу АРКС(1,1):

$$y(k) = -a y(k-1) + \varepsilon(k) + \beta \varepsilon(k-1),$$

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:

$$\begin{aligned} y(k+2) &= \varepsilon(k+2) - \varepsilon(k+2) + \frac{1+\beta z^{-1}}{1+z^{-1}} \varepsilon(k+2) = \\ &= \varepsilon(k+2) + \frac{-\varepsilon(k+2) - a\varepsilon(k+1) + \varepsilon(k+2) + \beta\varepsilon(k+1)}{1+az^{-1}} = \\ &= \varepsilon(k+2) + \frac{\beta-a}{1+az^{-1}} \varepsilon(k+1). \end{aligned}$$

Тепер домножимо чисельник на багаточлен $(1+az^{-1}-az^{-1})$:

$$\begin{aligned} y(k+2) &= \varepsilon(k+2) + \frac{(\beta-a)(1+az^{-1}-az^{-1})\varepsilon(k+1)}{1+az^{-1}} = \\ &= \varepsilon(k+2) + \frac{(\beta-a)(1+az^{-1})}{1+az^{-1}} \varepsilon(k+1) - \frac{a(\beta-a)\varepsilon(k)}{1+az^{-1}} = \\ &= \varepsilon(k+2) + (\beta-a)\varepsilon(k+1) - \frac{a(\beta-a)}{1+az^{-1}} \varepsilon(k), \end{aligned} \tag{9.16}$$

де $\varepsilon(k)$ можна обчислити за спостереженнями:

$$\varepsilon(k) = \frac{1+az^{-1}}{1+\beta z^{-1}} y(k).$$

Якщо підставити цей вираз в (9.16), то отримаємо наступне рівняння:

$$\begin{aligned} y(k+2) &= \varepsilon(k+2) + (\beta - a)\varepsilon(k+1) - \frac{a(\beta - a)}{1 + az^{-1}}\varepsilon(k) = \\ &= \varepsilon(k+2) + (\beta - a)\varepsilon(k+1) - \frac{a(\beta - a)}{1 + \beta z^{-1}}y(k). \end{aligned} \quad (9.17)$$

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 (9.17):

$$\begin{aligned} E[y(k+2) - y(k+2, k)]^2 &= E[\varepsilon^2(k+2)] + (\beta - a)^2 E[\varepsilon^2(k+1)] + \\ &+ E[y(k+2, k) + \frac{a(\beta - a)}{1 + \beta z^{-1}}y(k)]^2. \end{aligned} \quad (9.18)$$

Таким чином, можна записати, що

$$E[y(k+2) - y(k+2, k)]^2 \geq 1 + (\beta - a)^2.$$

Із (9.18) 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).

9.5 Загальна постановка задачі прогнозування з мінімумом дисперсії

Модель процесу можна подати у вигляді:

$$A(z^{-1})y(k) = B(z^{-1})\varepsilon(k), \quad (9.19)$$

де $A(z^{-1}), B(z^{-1})$ – поліноми стосовно z виду:

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n},$$

$$B(z^{-1}) = 1 + b_1 z^{-1} + \dots + b_n z^{-n},$$

$$\{\varepsilon(k)\} \sim N(0, 1),$$

тобто $\varepsilon(k)$ – нормально розподілена випадкова величина з нульовим середнім та одиничною дисперсією.

Необхідно побудувати найкращу, у розумінні мінімуму дисперсії похибки, функцію прогнозування на s кроків за умови, що відомі значення $y(k)$, $y(k-1)$, $y(k-2)$, ..., 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 (9.19) можна записати:

$$y(k+s) = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} \varepsilon(k+s). \quad (9.20)$$

Права частина цього рівняння є лінійною комбінацією змінних $\varepsilon(k+s)$, $\varepsilon(k+s-1)$, $\varepsilon(k+s-2)$, ..., $\varepsilon(k+1)$, $\varepsilon(k)$, $\varepsilon(k-1)$, $\varepsilon(k-2)$,

Значення змінних $\varepsilon(k)$, $\varepsilon(k-1)$, ... можна обчислити за результатами вимірів $y(k)$, $y(k-1)$, ..., а значення $\varepsilon(k+1)$, ..., $\varepsilon(k+s)$ не залежать від вимірів, тому що ці виміри ще невідомі.

Для того щоб виділити вказані групи змінних, перепишемо праву частину (9.20) у вигляді (це допустимо для лінійних систем):

$$\frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} \varepsilon(k+s) = F(z^{-1}) \varepsilon(k+s) + z^{-s} \frac{G(z^{-1})}{A(z^{-1})} \varepsilon(k+s), \quad (9.21)$$

де $F(z^{-1}), G(z^{-1})$ – поліноми від z^{-1} степені $s-1$ та $n-1$, відповідно, тобто,

$$F(z^{-1}) = 1 + f_1 z^{-1} + \dots + f_{s-1} z^{-(s-1)},$$

$$G(z^{-1}) = g_0 + g_1 z^{-1} + \dots + g_{n-1} z^{-(n-1)}.$$

Таке розщеплення є допустимим для лінійних систем, якщо правильно визначити степені z та коефіцієнти поліномів F, G . Для першої складової в правій частині рівняння (9.21) 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 (9.21) 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 (9.20) можна записати у вигляді:

$$y(k+s) = F(z^{-1})\varepsilon(k+s) + \frac{G(z^{-1})}{A(z^{-1})}\varepsilon(k). \quad (9.22)$$

Другий член в правій частині цього рівняння є функцією випадкових змінних $\varepsilon(k)$, $\varepsilon(k-1)$, ..., а тому його можна обчислити за результатами спостережень $y(k)$, $y(k-1)$, ..., тобто скориставшись рівнянням (9.19), отримаємо:

$$\varepsilon(k) = \frac{A(z^{-1})}{B(z^{-1})} y(k).$$

Тепер рівняння (9.22) можна звести до рівняння

$$y(k+s) = F(z^{-1})\varepsilon(k+s) + \frac{G(z^{-1})}{B(z^{-1})}y(k). \quad (9.23)$$

Перший член у правій частині цього рівняння представляє собою лінійну комбінацію змінних $\varepsilon(k+1)$, $\varepsilon(k+2)$, ..., $\varepsilon(k+s)$, 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 (9.23).

Віднімемо $\hat{y}(k+s, k)$ від обох частин рівняння (9.23), 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:

$$\begin{aligned} E_k \left[F(z^{-1})\varepsilon(k+s) \right]^2 + 2 E_k \left\{ \left[F(z^{-1})\varepsilon(k+s) \right] \left[\frac{G(z^{-1})}{B(z^{-1})}y(k) - \hat{y}(k+s, k) \right] \right\} + \\ + E_k \left[\frac{G(z^{-1})}{B(z^{-1})}y(k) - \hat{y}(k+s, k) \right]^2. \end{aligned}$$

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

$$E \left[y(k+s) - \hat{y}(k+s, k) \right]^2 = E_k \left[F(z^{-1})\varepsilon(k+s) \right]^2 +$$

$$+ E_k \left[\frac{G(z^{-1})}{B(z^{-1})} y(k) - \hat{y}(k+s, k) \right]^2.$$

Якщо знехтувати другим членом у правій частині цієї рівності, то можна записати нерівність:

$$E \left[y(k+s) - y(k+s, k) \right]^2 \geq [\varepsilon(k+s) + f_1 \varepsilon(k+s-1) + f_2 \varepsilon(k+s-2) + \dots + f_{s-1} \varepsilon(k+1)]^2.$$

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:

$$\begin{aligned} y(k+s, k) + b_1 y(k+s, k-1) + \dots + b_n y(k+s-n, k-n) = \\ = g_0 y(k) + g_1 y(k-1) + \dots + g_{n-1} y(k-n-1). \end{aligned} \quad (9.24)$$

Похибка прогнозування:

$$\begin{aligned}
 f(k+s, k) &= y(k+s) - y(k+s, k) = F(z^{-1})\varepsilon(k+s) = \\
 &= \varepsilon(k+s) + f_1 \varepsilon(k+s-1) + \dots + f_{s-1} \varepsilon(k+1).
 \end{aligned}
 \tag{9.25}$$

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 (9.24) і (9.25), необхідно знати коефіцієнти поліномів $F(z^{-1})$ і $G(z^{-1})$. Знайти невідомі коефіцієнти можна за допомогою тотожності:

$$B(z^{-1}) = A(z^{-1})F(z^{-1}) + z^{-s}G(z^{-1}). \tag{9.26}$$

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 $G(z^{-1})$

$$\begin{aligned}
 B(z^{-1}) &= b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_n z^{-n}, \\
 A(z^{-1}) &= 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}, \\
 F(z^{-1}) &= 1 + f_1 z^{-1} + f_2 z^{-2} + \dots + f_{s-1} z^{-(s-1)},
 \end{aligned}$$

$$G(z^{-1}) = g_0 + g_1 z^{-1} + \dots + g_{n-1} z^{-(n-1)},$$

$$z^{-s} G(z^{-1}) = g_0 z^{-s} + g_1 z^{-(s+1)} + g_2 z^{-(s+2)} + \dots + g_{n-1} z^{-(n-1+s)}$$

отримаємо такі рівності для визначення коефіцієнтів:

$$\begin{aligned} \text{при } z^{-1} : \quad & b_1 = a_1 + f_1, \\ \text{при } z^{-2} : \quad & b_2 = a_2 + a_1 f_1 + f_2, \\ & \vdots \\ \text{при } z^{-(s-1)} : \quad & b_{s-1} = a_{s-1} + a_{s-2} f_1 + a_{s-3} f_2 + \dots + a_1 f_{s-2} + f_{s-1}, \quad (9.27) \\ \text{при } z^{-s} : \quad & b_s = a_k + a_{k-1} f_1 + a_{k-2} f_2 + \dots + a_1 f_{s-1} + g_0, \\ \text{при } z^{-(s+1)} : \quad & b_{s+1} = a_{k+1} + a_k f_1 + a_{k-1} f_2 + \dots + a_2 f_{s-1} + g_1, \\ & \vdots \\ \text{при } z^{-n} : \quad & b_n = a_n + a_{n-1} f_1 + a_{n-2} f_2 + \dots + a_{n-s-1} f_{s-1} + g_{n-s}, \\ \text{при } z^{-(n+1)} : \quad & 0 = a_n f_1 + a_{n-1} f_2 + \dots + a_{n-s+2} f_{s-1} + g_{n-s+1}, \\ & \vdots \\ \text{при } z^{-(n+s-1)} : \quad & 0 = a_n f_{s-1} + g_{n-1}. \end{aligned}$$

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 виведення 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 $l > 0$.

9.6 Приклад побудови функцій прогнозування

Приклад 9.2. 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 (9.27), можна визначити коефіцієнти функції прогнозування:

$$b_1 = a_1 + f_1$$

або

$$f_1 = b_1 - a_1 = -1,2 + 1,5 = 0,3;$$

$$b_2 = a_2 + a_1 f_1 + f_2$$

або

$$f_2 = b_2 - a_2 - a_1 f_1 = 0,6 - 0,5 + 1,5 \cdot 0,3 = 0,55;$$

Таким чином,
$$F(z^{-1}) = 1 + 0,3z^{-1} + 0,55z^{-2}.$$

Використовуючи тотожність (9.26), запишемо:

$$1 - 1,2z^{-1} + 0,6z^{-2} = (1 - 1,5z^{-1} + 0,5z^{-2}) \cdot (1 + 0,3z^{-1} + 0,55z^{-2}) + z^{-3}(g_0 + g_1 z^{-1}).$$

Звідси визначимо, що

$$G(z^{-1}) = 0,675 + 0,275z^{-1},$$

тобто, всі необхідні коефіцієнти для функції прогнозування знайдено.

Отримаємо 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 АР(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 АР(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:

$$y(k+s, k) = \frac{G(z^{-1})}{B(z^{-1})} y(k) .$$

9.7 Схема створення СППР для прогнозування часових рядів

Для реалізації СППР при прогнозуванні динаміки часових рядів вибирається технологія на основі застосування методів структуризації задач, методів попередньої оброблення 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. 9.1.

9.8 Алгоритм процесу аналізу та прогнозування

Розглянемо алгоритм процесу аналізу та прогнозування на основі часових рядів при підтримці прийняття рішень за схемою на рис. 9.1. Алгоритм складається із послідовності кроків:

Крок 1. Попередня обробка та аналіз даних

Крок 2. Перевірка наявності нелінійностей

Крок 3. Визначення порядку не лінійності Перехід на крок 9

Крок 4. Перевірка процесу на стаціонарність Якщо процес стаціонарний, переходимо до кроку 9, інакше до кроку 5.

Крок 5. Перевірки наявності гетероскедастичності Якщо процес гетероскедастичний, то переходимо до пункту 6, якщо містить тренд, то до кроку 7, інакше до кроку 8.

Крок 6. Визначення типу моделі для опису гетероскедастичності
Після вибору найбільш підходящої моделі переходимо до кроку 9.

Крок 7. Визначення способу вилучення або моделювання тренду.
Перейти 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.

Крок 10. На основі обраної моделі, будується функція прогнозування. Обчислюється прогноз поведінки ряду та визначаються оцінки точності прогнозу .

Крок 11. Якщо точність прогнозу не задовольняє особу, що приймає рішення, то уточнюються вхідні дані і переходимо до кроку 1. Інакше, процес закінчується.

9.8.1 Попередня обробка та аналіз даних

Крок 1. Попередня обробка та аналіз даних, що включає в себе:

- заповнення пропусків;
- згладжування екстремальних значень;
- логарифмування;
- нормування в діапазоні від -1 до $+1$;
- 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.

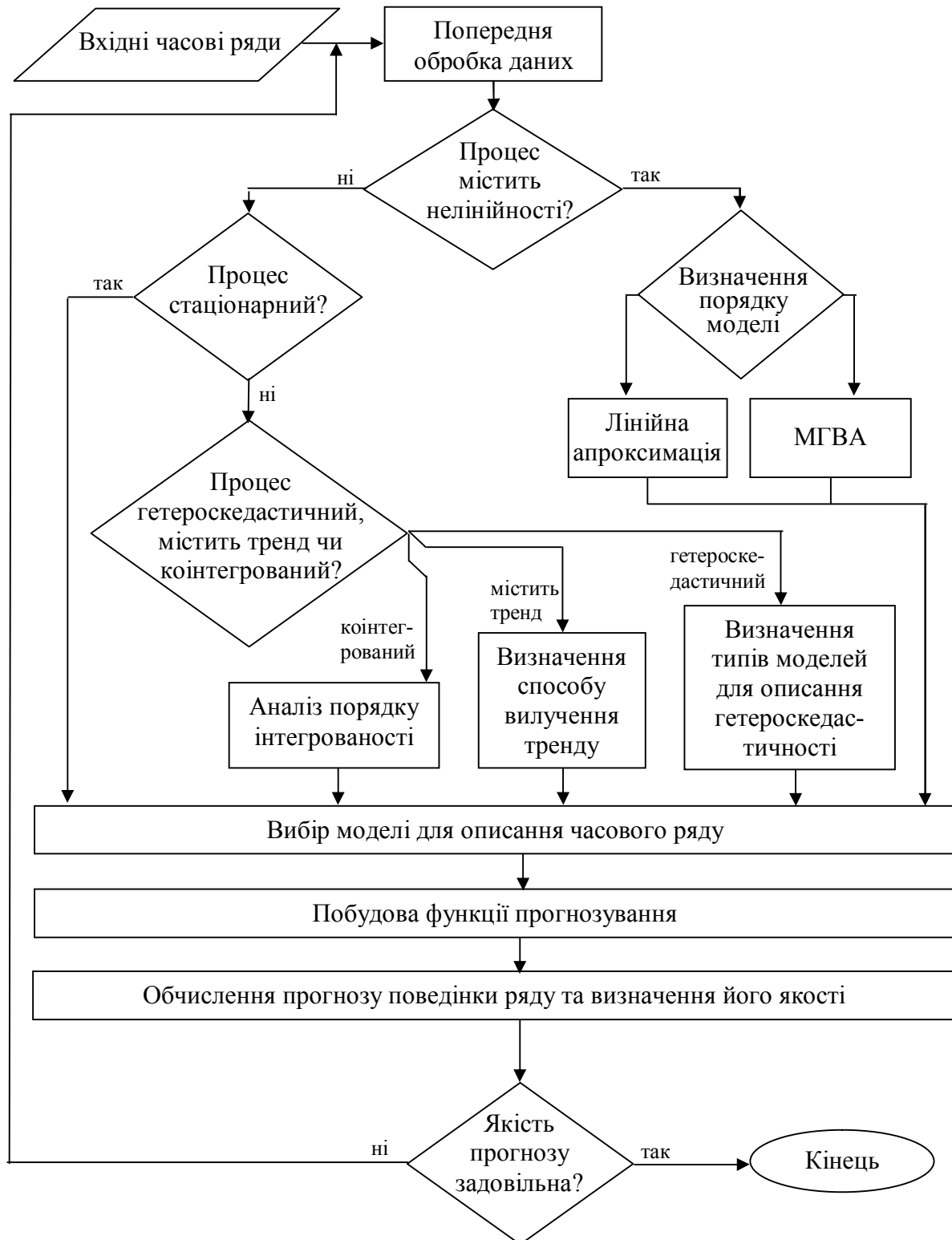


Рис. 9.1 Схема процесу прогнозування на основі часових рядів

9.8.2 Перевірка наявності нелінійностей

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.

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:

$$\xi(k) = cu(k-1)e(k-1) + e(k), \quad (9.28)$$

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 (9.28) 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 $X_{ij} = \text{const}$, 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 оброблення 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 $v_1 = k - 2$, $v_2 = n - k$ ступенями свободи досягає або перевершує рівень значущості, то гіпотезу про лінійність потрібно відкинути.

9.8.3 Визначення порядку нелінійності

Крок 3. Визначення порядку нелінійності, побудова моделі за МГВА і лінійна апроксимація процесу з метою її порівняння з нелінійною моделлю. Перехід на крок 9.

9.8.4 Перевірка процесу на стаціонарність

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:

$$\Delta y(k) = \gamma y(k-1) + \varepsilon(k), \quad (9.29)$$

$$\Delta y(k) = a_0 + \gamma y(k-1) + \varepsilon(k), \quad (9.30)$$

$$\Delta y(k) = a_0 + \gamma y(k-1) + a_2 k + \varepsilon(k), \quad (9.31)$$

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 (9.29) та (9.30), (9.31) полягає у присутності детермінованих членів a_0 і $a_2 k$ у рівняннях (9.30) і (9.31), відповідно. Рівняння (9.29) 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 γ . 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 γ 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 (9.29)-(9.31). Однак, критичні значення t -статистики залежать від структури моделі, тобто від того чи наявні у моделі зміщення α_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 (9.29) використовується статистика, що позначається через τ , для рівняння (9.30) – статистика позначається τ_μ , а для рівняння (9.31) – через τ_τ .

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 τ_τ дорівнюють $-3,45$ та $-4,04$ на рівнях значущості 5% і 1%, відповідно.

Критичні значення не зміняться, якщо рівняння (9.29), (9.30) і (9.31) замінити такими рівняннями авторегресії:

$$\Delta y(k) = \gamma y(k-1) + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta y(k-i+1) + \varepsilon(k), \quad (9.32)$$

$$\Delta y(k) = a_0 + \gamma y(k-1) + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta y(k-i+1) + \varepsilon(k), \quad (9.33)$$

$$\Delta y(k) = a_0 + \gamma y(k-1) + a_2 k + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta y(k-i+1) + \varepsilon(k). \quad (9.34)$$

Тобто при використанні цих рівнянь для тестування нуль-гіпотези $\gamma = 0$ використовують ті ж статистики: τ , τ_μ і τ_τ . Для перевірки

об'єднаних гіпотез щодо коефіцієнтів Дікі і Фулер запропонували ще три F – статистики: ϕ_1, ϕ_2 і ϕ_3 .

Так, статистика ϕ_1 використовується для перевірки нуль-гіпотези щодо $\gamma = a_0 = 0$ в рівняннях (9.30) і (9.33). Статистика ϕ_2 використовується для перевірки об'єднаної гіпотези $a_0 = \gamma = a_2 = 0$ в рівняннях (9.31) і (9.34), а статистика ϕ_3 – для перевірки об'єднаної гіпотези $\gamma = a_2 = 0$.

Статистики ϕ_1, ϕ_2 і ϕ_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 їх структуру.

Обчислення значення ϕ_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, ϕ_i буде мати при цьому невелике значення, тобто, при великих значеннях ϕ_i обмеження відіграють суттєву роль і нуль-гіпотеза відхиляється.

Таким чином, якщо розраховане значення ϕ_i є меншим ніж відповідна статистика Дікі і Фуллера, то приймається модель з обмеженнями (тобто, приймається нуль-гіпотеза). Якщо ж розраховане значення ϕ_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 (9.34), або статистикою $\tau_{\alpha\mu}$, якщо оцінюється модель (9.33).

9.8.5 Перевірки наявності гетероскедастичності

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.

9.8.5.1 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 будеться 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 χ^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.

9.8.5.2 Тест Бройша-Пагана/Годфрі

Розглянемо лінійну регресію

$$y(k) = \mathbf{x}^T(k) \boldsymbol{\beta} + \varepsilon(k), \quad (9.35)$$

де $\mathbf{x}^T(k) = [1 \ x_2(k) \ x_3(k) \ \dots \ x_r(k)]$.

Припустимо, що гетероскедастичність має таку форму:

$$E[\varepsilon(k)] = 0, \quad \forall k,$$

$$\text{var}[\varepsilon(k)] = E[\varepsilon^2(k)] = \sigma_\varepsilon^2 = h(\alpha \mathbf{z}^T(k)), \quad (9.36)$$

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 (9.35) 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 (9.35) за допомогою звичайного МНК, сформувати 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 μ_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 χ^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.

9.8.5.3 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 σ_ε^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 $c \approx N/3$.

9.8.6 Визначення типу моделі для опису гетероскедастичності

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.

Основними є такі 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)):

$$\begin{aligned} \log(h^2(k)) = & \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \frac{|\varepsilon(k-i)|}{h(k-i)} + \sum_{i=1}^p \gamma_i \frac{\varepsilon(k-i)}{h(k-i)} + \\ & + \sum_{i=1}^q \beta_i \log(h^2(k-i) + \varepsilon_1(k)) \end{aligned}$$

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 ε . Це дозволяє додатнім і від'ємним попереднім значенням ε мати різний вплив на волатильність. Подання 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:

$$\begin{aligned} y(k) &= \beta + \gamma h(k) + \varepsilon_1(k), \\ h^2(k) &= a_0 + a_1 \sum_{i=1}^p \varepsilon^2(k-i) + \sum_{i=1}^q h^2(k-i) + \varepsilon_2(k). \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} y(k+1) &= \beta_0 + \beta_1 \varepsilon^2(k) + \gamma_1 h^2(k), \\ y(k+j) &= \beta_0 + (\beta_1 + \gamma_1) h^2(k+j-1). \end{aligned}$$

У другому рівнянні ε^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:

$$fp(k) = a_0 + u(k) \quad u(k)F(k-1) \sim N(0; \omega^2).$$

Дисперсія ω^2 незмінна й має бути додатною. Для моделювання збурень використовується гаусівська випадкова величина.

9.8.7 Визначення способу вилучення або моделювання тренду

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.

9.8.8 Для коінтегрованих процесів будується модель корекції похибок

Крок 8. Для коінтегрованих процесів будується модель корекції похибок і переходимо до кроку 10.

9.8.9 Побудова моделі часового ряду

Крок 9. Будується модель часового ряду та обчислюються критерії адекватності отриманої моделі і переходимо до кроку 10.

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 Стюдента.
2. Коефіцієнт детермінації R^2 .
3. Сума квадратів похибок моделі
4. Інформаційний критерій Акайке
5. Статистика Дарбіна-Уотсона
6. Статистика Фішера F ,
7. Коефіцієнт Тейла

9.8.9.1 t – статистика Стьюдента

t – статистика Стьюдента. Значимість кожного коефіцієнта регресії в статистичному сенсі визначають за допомогою t – *статистики*, що, як правило, обчислюється всіма пакетами статистичної оброблення 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 α (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 $t_{\text{крит}}$. Якщо $-t_{\text{крит}} < t_a < t_{\text{крит}}$, 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 для більшого значення t_a , буде вищою значущість конкретного коефіцієнта.

9.8.9.2 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: $R^2 = \frac{\text{var}(\hat{y})}{\text{var}(y)}$.

Очевидно, що для адекватної моделі коефіцієнт детермінації повинен прямувати до одиниці, тобто: $R^2 \rightarrow 1$.

9.8.9.3 Сума квадратів похибок моделі

Сума квадратів похибок моделі $\sum e^2(k)$, тобто

$$SSE = \sum_{k=1}^N [\hat{y}(k) - y(k)]^2,$$

де $\hat{y}(k) = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 \hat{y}(k-1) + \hat{a}_2 \hat{y}(k-2) + \hat{b}_1 x(k) + \hat{b}_2 z(k)$; $y(k)$ – вимірювання; N – довжина вибірки. Очевидно, що з можливих кандидатів необхідно вибирати ту модель, для якої $\sum e^2(k)$ приймає мінімальне значення.

9.8.9.4 Інформаційний критерій Акайке

Інформаційний критерій Акайке (AIC 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.

9.8.9.5 Статистика Дарбіна-Уотсона

Статистика Дарбіна-Уотсона (Durbin-Watson) обчислюється за формулою:

$$DW = 2 - 2\rho,$$

де ρ – 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.

9.8.9.6 Статистика Фішера

Статистика Фішера F визначає ступінь адекватності моделі в цілому. Для адекватної моделі виконується умова:

$$F > F_{\text{крит}},$$

де $F_{\text{крит}}$ 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.

9.8.9.7 Коефіцієнт Тейла

Коефіцієнт Тейла є дуже важливим індикатором точності моделі та її сумісності:

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i)^2} + \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i)^2}}.$$

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 UM, менші значення US є індикатором меншого зміщення.

US – 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 US показує, наскільки корельованими є прогнозовані та реальні ряди. Рівність $US = 0$ є свідченням того, що прогнозовані і реальні ряди ідеально корельовано.

Три зазначені статистики пов'язані між собою таким чином:

$$U^C + U^M + U^S = 1.$$

9.8.10 Побудова функції прогнозування

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):
- 2.

$$СКП = \sqrt{\frac{1}{S} \sum_{i=1}^S (y(k+s) - \hat{y}(k+s, k))^2}.$$

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 (MiАП):

$$MiАП = \min \{ |y(k+1) - \hat{y}(k+1, k)|, \dots, |y(k+s) - \hat{y}(k+s, k)| \}.$$

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.

9.8.11 Уточнення вхідних даних

Крок 11. Якщо точність прогнозу не задовольняє особу, що приймає рішення, то уточнюються вхідні дані і переходимо до кроку 1. Інакше, процес закінчується.

10 ПОБУДОВА СППР НА ОСНОВІ МЕРЕЖ БАЙЄСА

10.1 Інформаційні СППР на основі 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 тощо.

10.1.1 Передумови застосування сучасних технологій обробки даних

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 тощо. 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.

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. 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 подання 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 [7]. 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 подання результатів у зручній для сприйняття формі.

10.1.2 Технологія розробки інформаційної системи на основі БМ

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.

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 тощо. 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 тощо.

Різновидністю СППР є експертні системи (ЕС) [7], 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. 10.1): ідентифікація, концептуалізація, формалізація, реалізація, тестування і дослідно-експериментальна експлуатація.

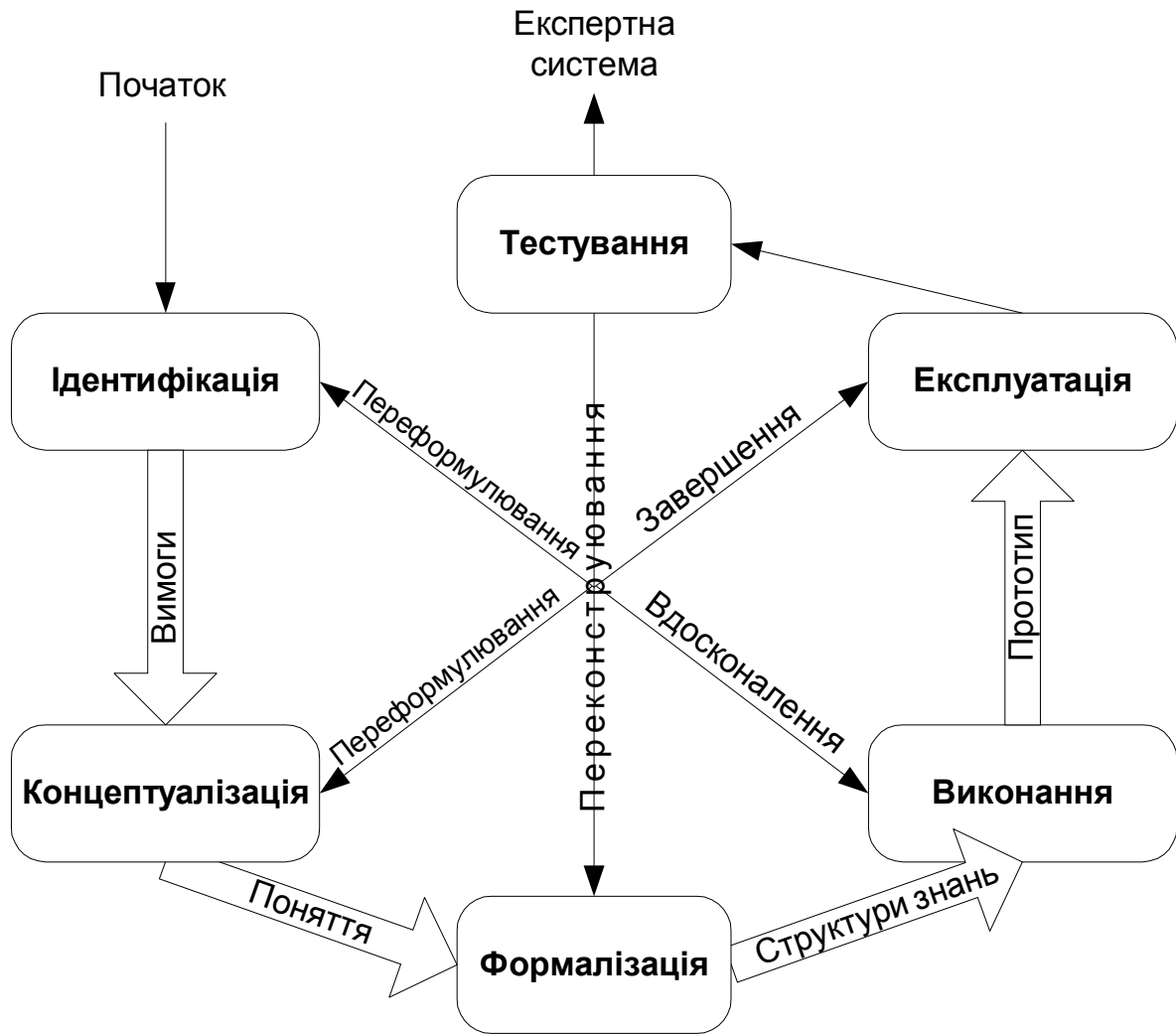


Рис. 10.1 Технологія розробки ЕС

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 подання 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 (БМ) та інші.

10.1.3 Системи на основі БМ

Мережі довіри Байєса, або просто БМ, 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) [7].

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 БМ 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 БМ. Крім того, БМ 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.

БМ 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 БМ довіра – це розподіл ймовірностей.

Нехай БМ – мережа на множинні змінних U , і нехай e – множина тверджень вигляду „змінна A знаходиться у стані a ”. Таким чином, e являє 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 свідоцтв e відносно БМ 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. 10.2, 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).

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 – π -повідомлення; (2) повідомлення дочірнім вершинам – λ -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 БМ, наведеної на рис. 10.2.

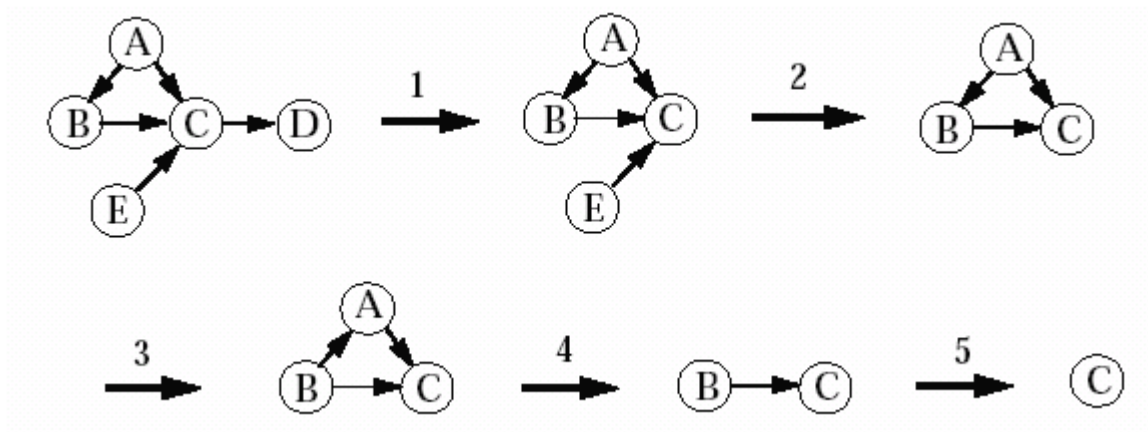


Рис. 10.2 Приклад формування ймовірнісного висновку

Якщо отримано новий розподіл $P^*(A)$ для вершини A , то фундаментальне правило числення ймовірностей і маржиналізація можуть бути використані для обчислення нового розподілу B за формулою:

$$P^*(B) = \sum_A P(B | A) P^*(A)$$

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 БМ 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 БМ, 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. 10.3 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.

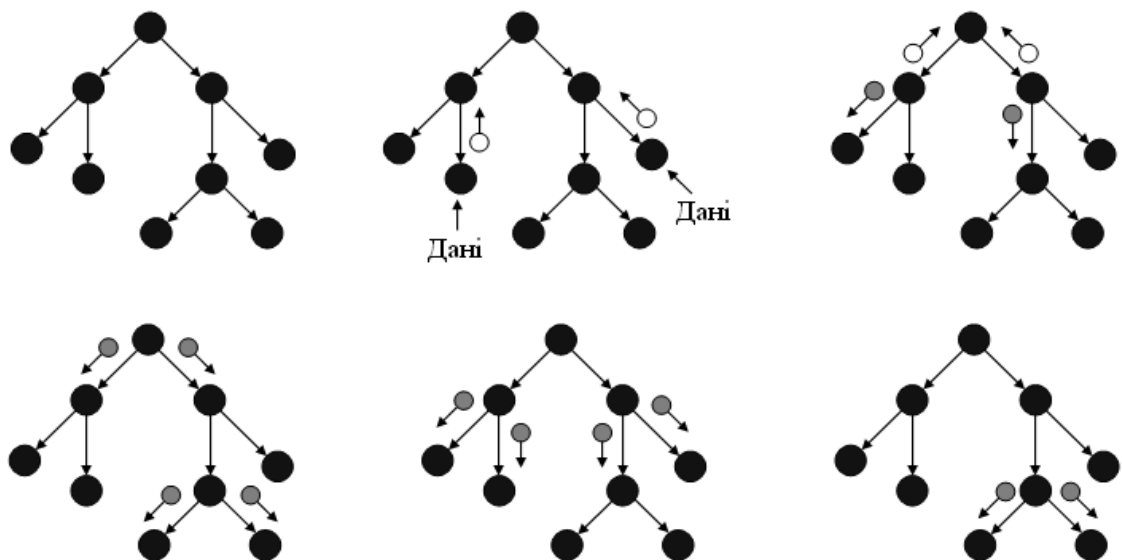


Рис. 10.3 Розповсюдження інформації через повідомлення

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.

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. 10.4.

Структура мережі найчастіше визначається експертами предметної області, хоча існують методи структурного навчання БМ 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 байєсівський підхід не вимагає „об'єктивності” ймовірностей, а тому дозволяє при формуванні таблиць умовних ймовірностей спиратися на суб'єктивні оцінки експертів..

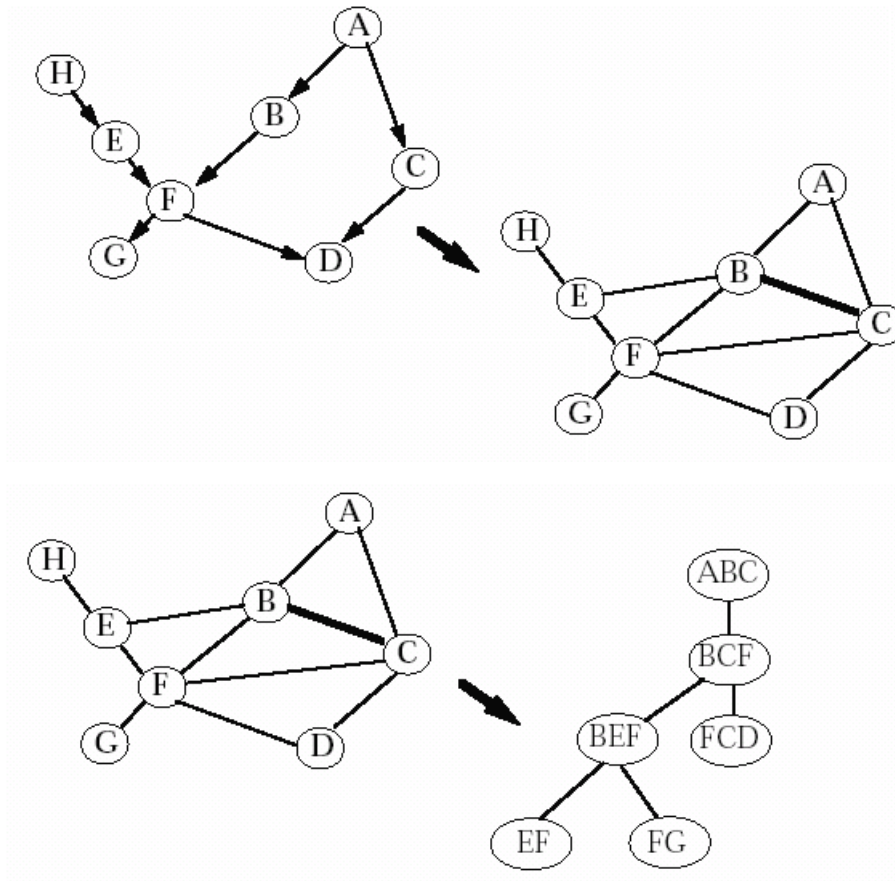


Рис. 10.4 Метод кластеризації для отримання сполученого дерева

10.2 Розробка експертної СППР для підприємства на основі мереж Байеса

10.2.1 Виділення класу задач експертної системи

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, мета якого є виявлення ризи 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 (рис. 10.5).



Рис. 10.5 Оцінка стану бізнесу в рамках стратегічного аналізу

Логічним виходом цього аналізу є оцінка привабливості стратегічних альтернатив (чи бізнесу в цілому).

10.2.2 Побудова БМ у 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 БМ. Сукупність частини вузлів БМ визначена; їх можливі стани і стратегічне значення наведені у табл. 10.1.

Таблиця 10.1 Частина вершин БМ 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

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.

10.2.3 Використання статистичних даних

Використання статистичних даних в ЕС розглянемо таких вхідних вершин 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.

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, зазвичай, 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 прогнозні значення, можна визначити стани вершин БМ.

11 ЕВРИСТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ПРОЕКТІВ СППР

11.1.3 Методологія евристичного розв'язання задач розподілу ресурсів

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, зазвичай, не можуть бути відтвореними. Необхідно зазначити, що при підтримці прийняття рішень необхідно не лише вірно описати поведінку системи, але й передбачати вплив людського фактору [7].

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 некрітеріальних та критеріальних методів [1, 7].. 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. 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 .

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.

11.1.4 Застосування методу експертних оцінок Дельфі

Метод експертних оцінок відомий у зарубіжній науковій літературі як метод Дельфі [6] (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 [6]:

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.

11.1.5 Методологія розв'язання задачі розподілу ресурсів в умовах невизначеності

Застосування експертних оцінок за сучасними технологіями сполучене із використанням механізмів опису і оперування якісними неточними нечіткими поняттями.

11.1.5.1 Основні етапи розв'язання задачі

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 послідовних етапів (рис. 11.1.)

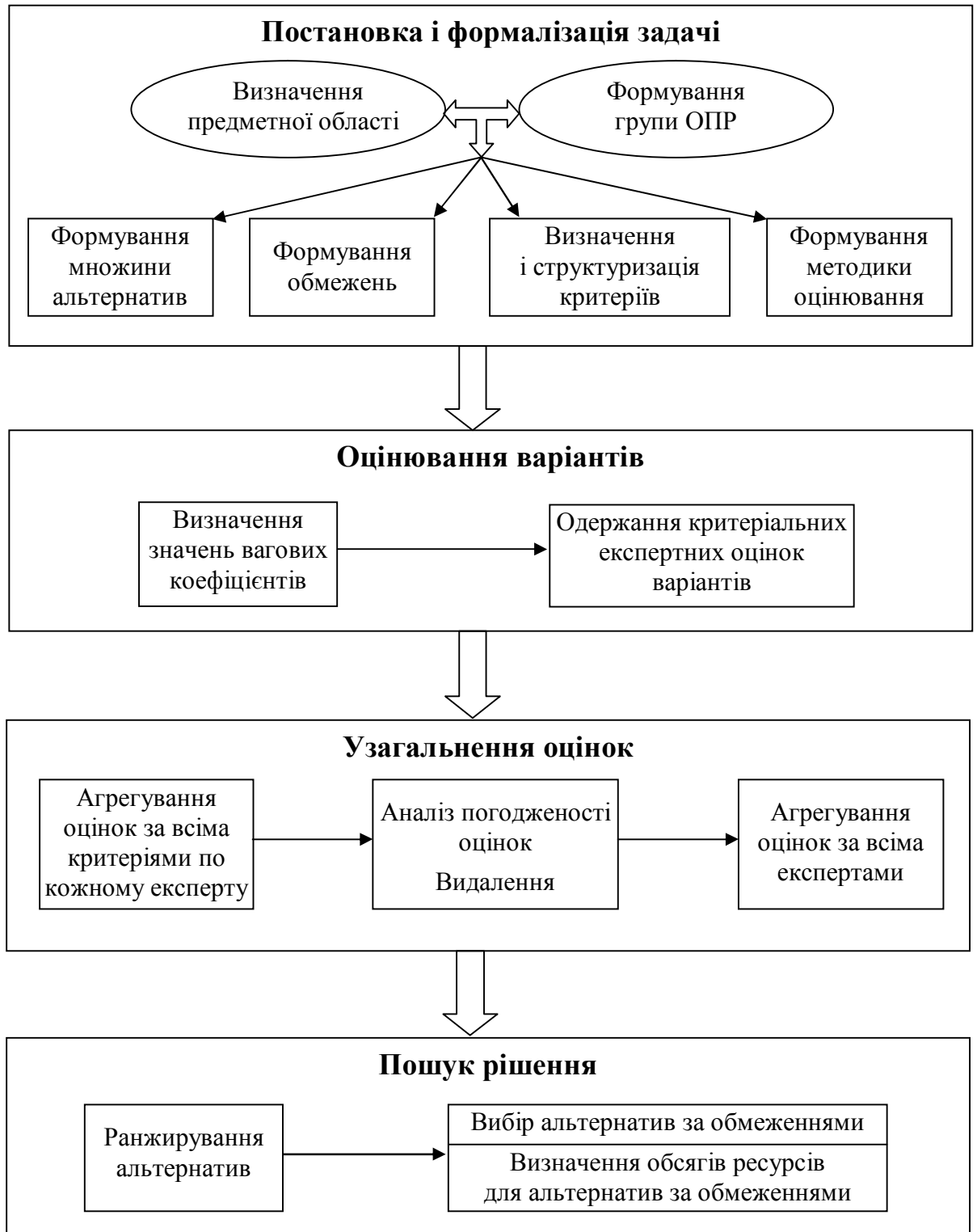


Рис. 11.1 Структура методології розв’язання задачі розподілу ресурсів і вибору варіантів

11.1.5.2 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. 11.2).

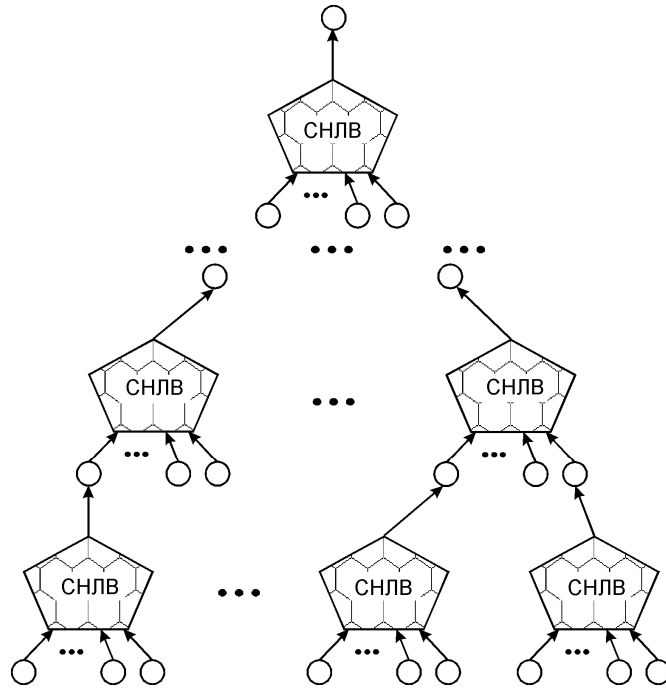


Рис. 11.2 Ієрархічна структура критеріїв оцінювання проектів

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: $fl_1 = BossLevel$ – 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 $C = \{C_l\}, l = \overline{1, h}$.

11.1.5.3 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:

$$W_{lt}^{norm} = W_{lt} / \left(\sum_{l=1}^h W_{lt} \right), \quad l = \overline{1, h}, \quad t = \overline{1, k}; \quad (11.1)$$

$$V_t^{norm} = V_t / \left(\sum_{t=1}^k V_t \right), \quad t = \overline{1, k}. \quad (11.2)$$

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 .

11.1.5.4 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 [6], 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. 11.3а).

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. 11.3б) [7]:

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 вхідних 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:

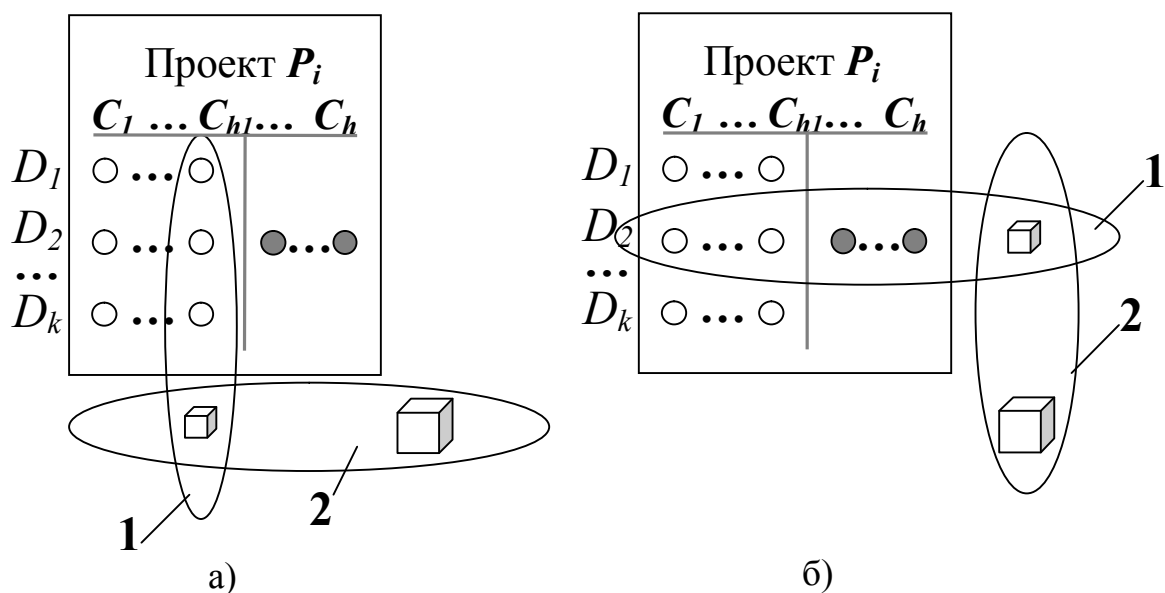
операції узагальнення оцінок проектів від кожної ОПР за критеріями системою НЛВ;

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 .



- - S_{il_1t} 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 –
ступень його привабливості A_i .

Рис. 11.3 Схеми послідовності подвійного агрегування оцінок проектів: а) яка використовується; б) запропонована

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.

За допомогою методу α, β -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_t^{norm} за допомогою методу агрегування за міжгруповим консенсусом агрегуються в єдину остаточну узагальнену оцінку A_i – ступінь привабливості проекту.

11.1.5.5 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 В.

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.

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..

11.5 Експертне оцінювання проектів

11.5.1 Підходи до оцінювання проектів

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, що розроблений на теорії нечітких множин, 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 [7].

11.5.2 Застосування лінгвістичних змінних

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 (11.3).

Наприклад, таку характеристику деякого проекту як «важливість» можна оцінити значенням лінгвістичної змінної Imp з такого набору:

$$Imp = \{EN, N, M, I, EI\}, \quad (11.16)$$

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 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. 11.4.

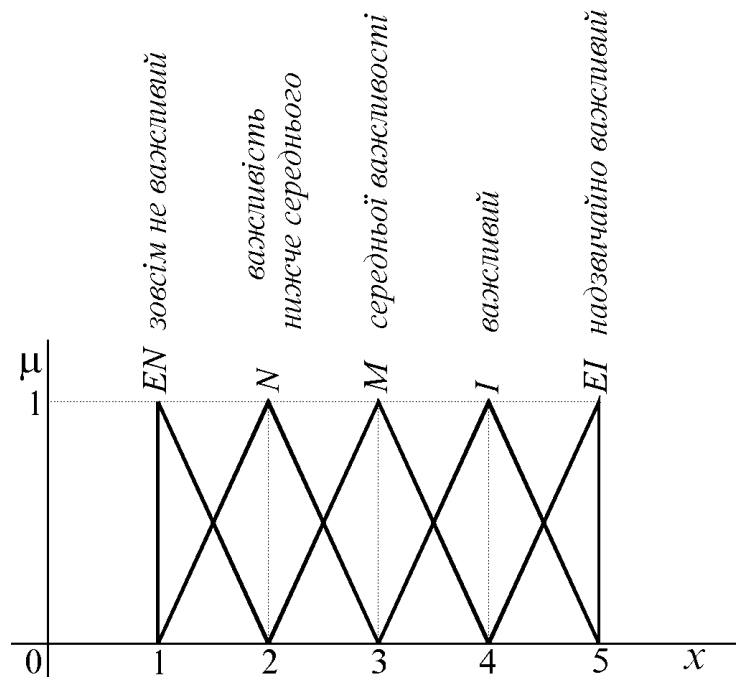


Рис. 11.4 Нечіткі множини значень лінгвістичної змінної Imp

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 [7]. Наприклад, при наданні якісних оцінок двом проектам за характеристикою «важливість» вибором значення лінгвістичної змінної із наведеної п'ятибальної шкали лінгвістичних змінних (11.4) ОПР змушена надати цим проектам однакові оцінки I = «важливий», хоча, у дійсності, могла би надати перевагу

другому проекту, наприклад, оцінку $VI =$ «дуже важливий», $VI = (3,5; 4,5; 5)$, яка знаходилась би між змінними $I =$ «важливий» та $EI =$ «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, зазвичай, відбувається у рівномірний спосіб [6, 7]. Крім того, велика кількість значень у шкалі лінгвістичних змінних може спричиняти внутрішній опір у багатьох ОПР під час надання оцінок.

11.5.3 Геометричний спосіб визначення 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. За таким підходом ОПР для надання якісних експертних оцінок характеристик проекту чи деякого об'єкту чи процесу використовує прийом геометричного позиціонування показника між крайніми полярними значеннями, тобто між точками $\min$ та $\max$, які є мінімально та максимально можливими значеннями оцінок, як зображено на рис. 11.5.



Рис. 11.5 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 (11.3) 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 показника, яка обрана ОПР, на неперервному числовому відрізку $[\min, \max]$;

c – допоміжний коефіцієнт;

n – ціле значення потенційної лінгвістичної потужності числового відрізку $[\min, \max]$.

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 ± 2 [6]. Чим більше значення n , тим коротшим буде відрізок носія нечіткої множини оцінки.

Наприклад, якщо ОПР виставила показник 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 (11.3), так $\tilde{E} = (3,2; 4,2; 5)$.

За дослідженнями Норвича і Турксена 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.

12 ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ З ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СППР

12.1 Практичне заняття № 1 Проектування структури інформаційної СППР

Проектування структури інформаційної СППР передбачає вивчення типів 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 може бути таким.

1. Прочитайте уважно теоретичні відомості щодо підходів до побудови СППР та можливих типів архітектури за розділами 1-11 даного посібника.

2. Виберіть тип СППР з наведеного нижче переліку (або запропонуйте свою систему).

Підготуйте рисунок її узагальненої структурної схеми (архітектури). 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 тощо).

Структура системи може наближатись, але не обов’язково повністю співпадати зі стандартною структурою, наведеною у теоретичній частині навчального посібника.

Основними типами є СППР:

- при моделюванні та прогнозуванні стаціонарних процесів;
- при прогнозуванні часових рядів, нестаціонарних відносно тренду;

- при прогнозуванні часових рядів, нестационарних відносно дисперсії (гетероскедастичні процеси);
- при прогнозуванні нестационарних часових рядів;
- при прогнозуванні процесів на основі байєсівського підходу;
- при класифікації образів;
- при менеджменті банківських ризиків;
- при менеджменті економічних ризиків за умов ризику та/або невизначеності;
- при управлінні торговельним або виробничим підприємством;
- при виконанні політичних досліджень;
- при виконанні соціальних досліджень;
- при оптимізації перевезень (товарів, сировини і т.ін.);
- при оптимізації розміщення складів оптової торгівлі на території України;
- при багатокритеріальній оптимізації економічних рішень;
- при оптимізації реалізації приватизаційного процесу;
- при оптимізації розміщення обладнання (верстатів, роботів, складських приміщень) в цеху виробничого підприємства;
- при оптимізації розкрою матеріалів; 7
- при плануванні кар'єри;
- при виконанні маркетингових досліджень;
- при виборі та придбанні житла;
- при плануванні виробництва конкретної продукції;
- при управлінні якістю на виробництві;
- при діагностуванні та виявленні місця пошкодження (поламки) автомобіля, літака або космічного корабля;
- при медичному діагностуванні (необхідно вибрати конкретний напрям, наприклад, захворювання серця або нирок);

- при проектуванні фільтрів Калмана;
- на основі експертної системи будь-якого призначення.

3. Поясніть (письмово) призначення кожної підсистеми СППР.

Підготовлені рисунки і записи можна використати при оформленні курсового і дипломного проекту.

4. Запишіть вимоги до СППР, які ви збираєтесь задовольнити і типи запитів до системи, які ви плануєте реалізувати.

Можливими є вимоги:

- типи моделей, які можна побудувати за допомогою СППР;
- методи (функції) прогнозування, які можна використати для обчислення прогнозів;
- критерії адекватності моделей буде пропонувати система;
- критерії якості оцінок прогнозів буде пропонувати система;

Характерними для СППР є запити:

- на доповнення типів моделей;
- на розширення множини алгоритмів оцінювання параметрів моделей;
- на доповнення кількості критеріїв адекватності моделей;
- на введення даних (значень ряду);
- на доповнення і редагування даних;
- на побудову моделі ряду;
- на обчислення оцінки прогнозу;
- на виведення результату у заданій формі (таблиця, графік, діаграма, текст тощо);
- на ретроспективний перегляд раніше отриманих результатів моделювання;
- на ретроспективний перегляд раніше отриманих результатів прогнозування;

- на надання допомоги стосовно використання функцій системи;
- на розширення кількості допустимих запитів, тобто ми даємо завдання СППР розширити її власні можливості стосовно інтерактивної взаємодії з користувачем.

Звичайно, що вимоги і кількість запитів можна розширити, а їх функції модифікувати. Наведений перелік можливих запитів являє 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. Результатом виконання практичної роботи є

- тип СППР, яку ви вибрали для проектування та реалізації;
- опису 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.

Практичні поради при виборі теми, створенні проекту СППР та його реалізації:

- задача, яку передбачається розв'язувати за допомогою СППР, що проектується, повинна бути досяжна людині-експерту у даній галузі за допомогою доступних засобів і методів; повинен бути 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 враховувати особливості процесу мислення людини; така СППР буде справді практично корисною;
- формулювання задачі проектування повинно бути структурованим, тобто, максимально чітким і зрозумілим, зокрема треба чітко визначити, яку конкретно підтримку ми хочемо отримати від СППР і в якому об'ємі;
- з самого початку розробки треба 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 сформувати і описати бібліотеку таких випадків для системи, що проектується;

- треба визначити конкретні знання (теорія, алгоритми, критерії, числова та текстова інформація), які необхідні для розв’язання задачі у вибраній предметній області; це дозволить встановити можливість успішної реалізації системи;

- із самого початку спробуйте або самостійно розробити окремі модулі програмного забезпечення СППР або (при можливості) скористайтесь вже розробленим програмним забезпеченням (ПЗ) і виконуйте тестування за його допомогою проектної концепції на вибраних представницьких (контрольних) прикладах;

- описуйте 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 притримуйтесь правила: “короткі програми (модулі) скорочують шлях до успіху і підвищують надійність системи”; старайтесь реалізовувати подібні функції подібними методами в усіх компонентах програмного коду і оформляйте їх в одному стилі;

- жертвуйте продуктивністю програми, якщо це робить її зрозумілішою і прозорою (в тому числі і в розумінні читання програмного коду), а також спростуйте 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 до марнування часу і фінансів;
- необхідно запам'ятати: 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.

Результати виконання роботи подаються у письмовій формі.

12.2 Практичне заняття № 2 Проектування системи обробки даних

Проектування системи обробки даних і генерування результатів, а також формування бази знань і бази даних передбачає виконання низки завдань. Типовими є такі завдання.

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.

Для перевірки наявності відповідних знань для побудови СППР необхідним є визначення відповідей на такі запитання.

1. Який спосіб подання 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 являють собою процедурні знання?

7. Які типи структур баз даних є найбільш поширеними?

Обґрунтовані відповіді на поставленні запитання дозволяють створити ефективну архітектуру СППР.

12.3 Практичне заняття № 3 Побудова архітектури і вибір інструментальної системи реалізації СППР

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

$$x(t) = [f(t) - g(t)] v(t) + \frac{f'(t)}{n'} \alpha(t) [NK - y(t)]$$

$$y(t) = - (N - n) v(t) + \alpha(t) [NK - y(t)]$$

$$S(t) = v(t) [C_0 + C(t)].$$

Обмеження на змінні:

- обмеження на швидкість приватизації: $v(t) > 0$
- обмеження на число підприємств, що приватизуються:

$$\int_0^t v(t) dt \leq K ; \text{ де } K\text{-число підприємств, що приватизуються;}$$

- 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: $I_1 = \max_{\substack{0 \\ v(t) \in c}}^T \int_0^T x(t) d(t);$ де c –

клас кусочно-неперервних функцій;

- максимізація прибутку від продажу підприємств:

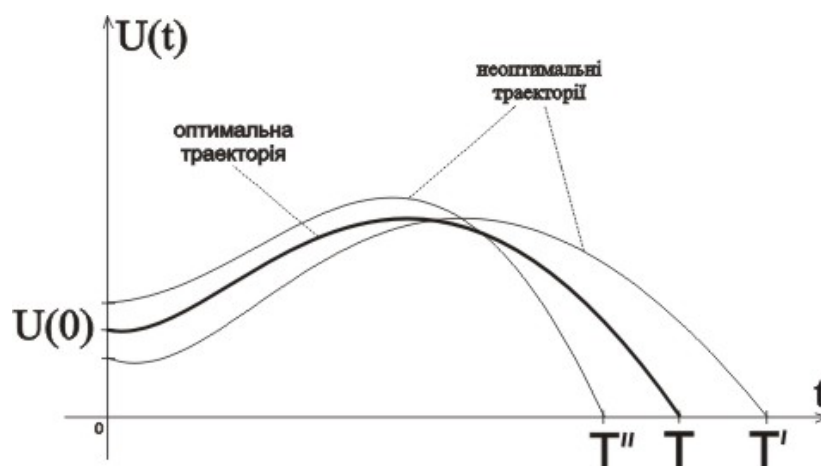
$$I_2 = \max_{v(t)} \int_0^T s(t) d(t);$$

- 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. 12.1.



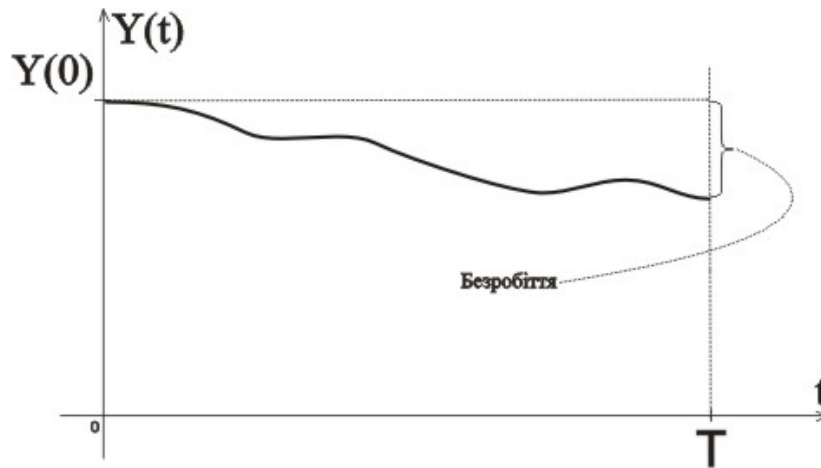


Рис. 12.1 Оптимальні траєкторії процесу приватизації

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.

Результат виконання завдання по роботі повинен містити таку інформацію у письмовому вигляді :

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 подання результатів.
8. Критерії, що використовуються при виборі кращого рішення з множини можливих альтернатив.
9. Який інструментарій пропонується використати для реалізації СППР і чому.

12.4 Практичне заняття № 4 Проектування інтерфейсу користувача

Проектування інтерфейсу користувача СППР, наприклад, при управлінні процесом приватизації, повинен включати такі завдання до виконання.

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 подання результатів;
- запит на ретроспективний аналіз розв’язування подібних задач;
- перевірка запитів на коректність та генерація підказок користувачу;
- запит щодо поточного стану системи.

Звіт по роботі треба 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.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бідюк П.І. Аналіз та моделювання економічних процесів перехідного періоду /Бідюк П.І., Половцев О.В. – К.: НТУУ КП, 1999. 230с.
2. Довгий С.А. Математическое прогнозирование процессов приватизации и инвестирования / Довгий С.А., Савенков А.И., Бидюк П.И. – К.:НТУУ– 2001. 232 с.
3. Моделювання та прогнозування нелінійних динамічних процесів / [Бідюк П.І., Баклан І.В., Баклан Я.І., та ін.] – К.:ЕКМО, 2004. 120с.
4. Бідюк П.І. Часові ряди: моделювання та прогнозування / Бідюк П.І., Савенков О.І. Баклан І.В. – К.: ЕКМО, 2004. 144 с.
5. Гнатієнко Г.М. Експертні технології прийняття рішень / Гнатієнко Г.М., Снитюк В.Є. – К.: ТОВ „Маклаут”, 2008. 444 с.
6. Згуровский М.З. Системный анализ: проблемы, методология, приложения / Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. – К.: Наукова думка. – 2005. 743с.
7. Бідюк П.І., Коршевніук Л.О.Проектування ком’ютерних інформаційних систем підтримки прийняття рішень:навч. Навчальн. посіб. / [Бідюк П.І., Коршевніук Л.О.]. — К.: ННК ІПСА НТУУ „КП”, 2010. - 310с
8. Проектування інформаційних систем підтримки прийняття рішень:навч. посіб. / [Бідюк П.І., Коршевніук Л.О., Коваленко А.Є., Гожий О.П.]. — К.: НТУУ „КП”, 2013. 608с
9. Олексюк О.С. Системи підтримки прийняття фінансових рішень на мікрорівні / Олексюк О.С. – К.: Наукова думка, 1998. 508 с.

10. Bonczek R.H. Foundations of Decision Support Systems / Bonczek R.H., Holsapple C., Whinston A.B. – New York: Academic Press, 1981. 453 p.
11. Enders W. Applied econometric time series / Enders W. – New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995. 434 p.
12. Holsapple C.W. Decision Support Systems (a knowledge based approach) / Holsapple C.W., Whinston A.B. – New York: West Publishing Company, 2003. 860 p.
13. Kosko B. Fuzzy Engineering / Kosko B. – Prentice-Hall, New Jersey., 1997. 549 p.
14. Nunnally J.M. Psychometric Theory, 2nd ed. / Nunnally J.M. – McGraw-Hill, New York. , 1978. 515 p.
15. Pearl J. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference / Pearl J. – San Mateo, CA (USA): Morgan Kauffmann Publishers, Inc., 1988. 550 p.
16. Scott Morton M. S. Management Decision Systems: Computer-based Support for Decision Making / Scott Morton M. S. — Boston: Harvard University, 1971.515 p.
17. Simon H.A. The New Science of Management Decision / Simon H.A. – New York: Harper and Row. 1960. 516 p.
18. Sprague R. H. Building Effective Decision Support Systems / Sprague R. H., Carlson E. D. — Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1982. 613 p.
19. Yager Ronald R. Fuzzy Set and Possibility Theory. Recent Developments / Yager Ronald R. Edited by Ronald R. Yager. – N.Y.:Pergamon Press, 1982. 420p.
20. 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. -1997– 9. – pp.111-127.