

Міністерство освіти і науки України
Чорноморський державний університет
імені Петра Могили

На правах рукопису

ГОЖИЙ Олександр Петрович

УДК 519.816 : 519.226

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДИНАМІЧНОГО
ПЛАНУВАННЯ ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ
ЙМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ**

05.13.06 – Інформаційні технології.

дисертація на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

НАУКОВИЙ КОНСУЛЬТАНТ:

доктор технічних наук, професор,
БІДЮК Петро Іванович

Миколаїв – 2016

ЗМІСТ

ЗМІСТ.....	2
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. СИСТЕМОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ СТВОРЕННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДИНАМІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	18
1.1. Загальна характеристика динамічного планування і класифікація типів планування	20
1.1.1 Класифікація типів планування	28
1.2 Огляд та аналіз сучасних типів і методів динамічного планування	31
1.2.1 Аналіз методів стратегічного планування	32
1.2.2 Аналіз існуючих методів і методологій сценарного планування.....	35
1.2.3 Аналіз існуючих методів інтелектуального планування.....	48
1.2.4 Аналіз існуючих інформаційних систем планування.....	53
1.3 Аналіз типів невизначеностей в задачах планування.....	55
1.4 Сучасні методи аналізу і оцінки ризиків.....	57
1.5 Багатокритеріальні та багатоцільові методи аналізу та прийняття рішень.....	62
1.6 Змістовний аналіз проблеми досліджень.....	65
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ І МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДИНАМІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ.....	67

2.1 Основні етапи і задачі динамічного планування.....	68
2.2 Головні аспекти побудови інформаційних технологій динамічного планування.....	71
2.3 Математична постановка задач динамічного планування і прийняття рішень.....	73
2.4 Методи і процедури вибору в задачах динамічного планування і прийняття рішень.....	81
2.4.1 Методологія вибору в задачах динамічного планування і прийняття рішень.....	83
2.4.2 Процедури динамічного вибору.....	86
2.5 Багатомодельний і багатокритеріальний підхід до розв'язування завдань динамічного планування і прийняття рішень	90
2.6 Метод синтезу інформаційних технологій для розв'язування задач динамічного планування.....	94
2.7 Висновки до розділу 2.....	99
РОЗДІЛ 3 . СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ АНАЛІЗУ І ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ У ЗАДАЧАХ ДИНАМІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ.....	
3.1 Методи і моделі аналізу та обробки інформації в задачах динамічного планування.....	101
3.2 Обробка якісної інформації в задачах динамічного планування.....	105
3.3 Аналіз інформації при побудові динамічних планів на основі нечітких когнітивних карт	109

3.4 Аналіз та оцінювання ризику в задачах динамічного планування.....	120
3.5 Оцінювання невизначеностей в задачах динамічного планування.....	134
3.6 Метод оцінювання ризиків і невизначеностей при побудові структур динамічних планів.....	141
3.8 Інформаційна технологія оцінювання та аналізу інформації.....	147
3.9 Висновки по розділу 3.....	148

РОЗДІЛ 4 . СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПОБУДОВИ ДИНАМІЧНИХ ПЛАНІВ.....150

4.1 Особливості побудови і вибору моделей задачах динамічного планування.....	150
4.2 Побудова структури динамічного плану.....	152
4.3 Класифікація методів моделювання для вирішення завдань динамічного планування.....	154
4.4 Представлення моделей динамічного плану у просторі станів.....	156
4.4.1 Побудова динамічних моделей в просторі станів.....	157
4.4.2 Оцінювання нелінійностей у ймовірно-статистичних моделях.....	160
4.5 Моделі на основі регресії та різницевих рівнянь.....	161
4.6 Застосування нечітких моделей в задачах динамічного планування.....	166
4.6.1 Розробка динамічних планів на основі нечітких ситуаційних мереж.....	166
4.7 Моделювання задач динамічного планування за допомогою	

мереж Петрі	178
4.8 Розробка інформаційної технології моделювання і побудови динамічних планів.....	187
4.9 Висновки до розділу 4.....	188
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОГНОЗУВАННЯ В ЗАДАЧАХ ДИНАМІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ.....	
5.1 Концепція побудови інформаційної технології адаптивного прогнозування для вирішення завдань динамічного планування.....	190
5.2 Підхід до прогнозування на основі часових рядів для вирішення завдань динамічного планування.....	195
5.3 Прогнозування динаміки процесів довільної природи.....	196
5.3.1 Оцінювання прогнозів без розв'язків рівнянь.....	201
5.3.2 Побудова функцій прогнозування на основі розв'язків різницевих рівнянь.....	205
5.4 Прогнозування на основі мереж Байеса.....	208
5.5 Оцінювання якості моделей і прогнозу.....	219
5.6 Оцінювання і прогнозування стану системи.....	219
5.7 Комбіновані прогнози та оцінювання якості їх використання.....	229
5.8 Висновки по розділу 5.....	234
РОЗДІЛ 6 . СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ДИНАМІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ.....	
6.1 . Рішення завдань динамічного планування на основі групових методів прийняття рішень.....	237

6.2 Прийняття рішень в задачах динамічного планування на основі багатocільових методів прийняття рішень.....	239
6.3 Використання еволюційних методів прийняття рішень в динамічному плануванні	257
6.4. Створення СППР для вирішення завдань прогнозування.....	262
6.5 Створення інформаційної системи прийняття рішень при вирішенні завдань динамічного планування.....	265
6.6 Висновки по розділу 6	267
РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА І СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЛАНУВАННЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ	269
7.1 Планування розподілу енергетичних ресурсів у автономній енергетичній системі.....	269
7.2 Планування маршрутів при управлінні безпілотними літальними апаратами (БПЛА)	275
7.3 Дослідження та прогнозування економічних показників для планування діяльності підприємства теплопостачання.....	281
7.4 Дослідження соціально-економічної ситуації в прикордонному регіоні для планування заходів для розвитку регіону.....	297
7.5 Висновки по розділу 7.....	302
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ І ВИСНОВКИ.....	304
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	307
Додаток А Процедура побудови мережі Байеса.....	338
Додаток Б Оцінювання якості моделей і прогнозу.....	345
Додаток В СППР на основі нечітких когнітивних карт.....	351
Додаток Г СППР на основі нечітких ситуаційних мереж.....	353

Додаток Д Інформаційна система прогнозування.....	357
Додаток Е Інформаційна система підтримки прийняття рішень на основі багатокритеріальних генетичних алгоритмів	358
Додаток Ж СППР на основі групових методів прийняття рішень.....	361
Додаток З СППР на основі багатоцільових методів.....	363
Додаток И СППР для керування БПЛА.....	364
Додаток К Акти впровадження	370

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АР - авторегресія

АРКС - процес (модель) авторегресії із ковзним середнім

АРІКС - процес (модель) авторегресії із інтегрованим ковзним середнім

АРУГ - авторегресійний умовно гетероскедастичний процес (модель)

БМ – байесівська мережа

БПР – блок прийняття рішень

БОС – блок оцінки станів

БВУР – блок видачі управляючих рішень

ГА – Генетичний алгоритм

ДБМ – динамічна байесівська мережа

ДП – Динамічне планування

ДРЧП - диференціальне рівняння в часткових похідних

ЗДР - звичайне диференціальне рівняння

ІП – інтелектуальне планування

ІС – Інформаційна система

ІТ – Інформаційна технологія

МНК - метод найменших квадратів

НМНК - нелінійний метод найменших квадратів

НКК – Нечітка когнітивна карта

НСМ – Нечітка ситуаційна мережа

ОПР – Особа, яка приймає рішення

ПР – Прийняття рішень

СП – стратегічне планування

СППР – Системи підтримки прийняття рішень

ПС – Простір станів

УМНК - узагальнений метод найменших квадратів

ЧАКФ – частково автокореляційна функція

ВСТУП

Актуальність теми. Ефективний розвиток складних динамічних систем різного типу (соціально-економічних, політичних, військових і технічних) залежить від визначення цілей які необхідно досягти, планування та оптимального вибору стратегій розвитку із урахуванням всіх факторів, що впливають на систему, а також врахуванням та подоланням різного роду невизначеностей і ризиків. Основним напрямом ефективного вирішення зазначених завдань є динамічне планування, основою якого є системне використання різнотипних математичних моделей, методів аналізу ситуацій і прийняття рішень та інформаційних технологій, орієнтованих на використання в умовах ризику і невизначеності та швидких структурних змін у зовнішньому середовищі і в різних елементах систем, для побудови планів і прогнозів розвитку систем різного типу і вирішення завдань стратегічного планування та управління.

Планування і прогнозування розвитку складних динамічних систем і процесів різного типу пов'язане із подоланням різного роду невизначеностей, нелінійностей і ризиків, які породжуються самою системою і зовнішнім середовищем в якому функціонує система. Наявність невизначеностей різного типу, таких як ситуаційна невизначеність, неточність і невизначеність різних параметрів системи та зовнішнього середовища, недостатність інформації про систему, нелінійність і стохастичність процесів, які протікають як у системі, так і в зовнішньому середовищі, а також великої кількості ризиків – всі ці ознаки роблять проблему вирішення завдань динамічного планування слабо структурованою та важко формалізованою.

На даний час науково-прикладна область динамічного планування [288] акумулює в собі новітні досягнення більшості наукових, економетричних та інформаційних галузей і належить до інноваційних технологій, при цьому вона є ефективним інструментом планування та прогнозування розвитку складних динамічних систем на різних ієрархічних рівнях. Потреба в ефективному плануванні зростає з кожним роком і вимагає

інформаційної підтримки у вигляді створення інформаційно-аналітичних систем, за допомогою яких можна ефективно вирішувати завдання дослідження та аналізу різних складних динамічних систем і процесів шляхом оптимізації їх структури, ідентифікації та визначення основних ризиків та побудови ефективних динамічних планів для вибору найбільш ймовірних і доцільних шляхів їх функціонування, розвитку та управління. Все це приводить до необхідності створення ефективних інструментальних засобів для дослідження, аналізу, прийняття рішень і прогнозування розвитку складних систем. Результати їх застосування повинні надавати можливість створювати динамічні плани, за якими будуються стратегії розвитку, поведінки та управління складними системами і процесами на основі найбільш ймовірних та оптимальних рішень за основними напрямками розвитку систем, які досліджуються.

Існуючий рівень інформаційних технологій в динамічному плануванні не задовольняє потребам аналітиків, експертів і осіб які приймають рішення (ОПР) за якістю, надійністю, оперативністю, ступенем врахування різних типів невизначеностей і ризиків. Це пов'язано, насамперед, з відсутністю методології побудови та застосування інформаційних технологій для вирішення різних проблемно-орієнтованих завдань динамічного планування, недостатньо розвиненим математичним забезпеченням, відсутністю математичних моделей, методів та інформаційних технологій, що дозволяють вирішувати завдання планування, які слабо структуровані та важко формалізуються, з урахуванням сучасних вимог. Розмаїття цілей і завдань, що виникають в процесі побудови динамічних планів, їх складність і часові обмеження характерні для дуже багатьох проблем, за якими приймаються рішення, вимагають комп'ютерної підтримки цього процесу. Створення інформаційно-аналітичних систем динамічного планування і систем підтримки прийняття рішень, які забезпечили б дослідника сучасними засобами аналізу інформації, генерування варіантів рішень, оцінками ризиків і невизначеностей, вибором і побудовою найкращого варіанту плану є

складним системним завданням.

Оскільки вирішення завдань динамічного планування – це наукомісткий процес, який вимагає системного застосування різних підходів і методологій, та який неможливий без застосування сучасних методів математичного моделювання, методів, алгоритмів і програмних засобів для розробки адекватних моделей та прийняття рішень на їх основі, тема досліджень актуальна.

Розвинута в даній роботі теорія вирішення завдань динамічного планування і прийняття рішень, розроблені моделі, методи, алгоритми та засоби ґрунтуються на дослідженнях та теоретичних результатах, отриманих такими відомими зарубіжними вченими як Р. ДеНойвил (динамічне стратегічне планування), Д. МакАлістер, Д. Розенблат, М. Гхалаб, Д. Люгер (інтелектуальне планування та теорія планування), Кононов А.А., Кульба В.В. (сценарне планування), та вітчизняними вченими на основі праць Глушкова В.М., Михалевича В.С. (обчислювальні методи дослідження складних систем), Згуровського М.З., Панкратової Н.Д., Коваленка І.І., Данилова В.Я. (теорія та прикладні методи системного аналізу, теорія сценарного аналізу), Гладуна В.П. (планування рішень), Павлова О.А. (теорія та методи адаптивного планування в виробничих системах), Бідюка П.І. (аналіз нелінійних систем та методи прогнозування), Бодянського Є.В., Міхальова О.І., Кондратено Ю.П. (методи нечіткого аналізу) та інші.

Таким чином, актуальною **науково-прикладною проблемою** є підвищення ефективності планування і прийняття рішень в системах різного призначення засобами сучасних інформаційних технологій з урахуванням динаміки супутніх процесів.

Зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконувалась в ЧДУ ім. П.Могили. Тема дисертаційної роботи повністю відповідає науковим напрямам, які виконуються на факультеті комп'ютерних наук, зокрема науковим дослідженням в області систем і методів прийняття рішень, прогнозування, побудови інтелектуальних

інформаційних систем. Робота виконувалась в рамках держбюджетних тем, госпдоговорів, зокрема таких: “Системні дослідження методів генерації і аналізу сценаріїв інноваційних проектів”, номер державної реєстрації №0104UKR003092; “Розробка систем опріснення на острові Зміїний за рахунок нетрадиційних та альтернативних джерел енергії”, номер державної реєстрації № 0108U006554; “Розробка інструментальних засобів для прогнозування стану екологічних систем” номер державної реєстрації № 0112U001104; “Розробка інструментальних засобів для систем підтримки прийняття рішень на основі еволюційних методів і алгоритмів”, номер державної реєстрації № 0112U001103; “Теоретичні основи визначення індикаторів та коефіцієнтів вагомості індексів екологічної безпеки в системі сталого розвитку Південного регіону України”, номер державної реєстрації № 0114U004572.

Метою дисертаційного дослідження – є підвищення якості динамічного планування завдяки подальшому розвитку та удосконаленню методів, моделей, засобів та інформаційних технологій вирішення завдань динамічного планування і прийняття рішень в умовах наявності невизначеностей та ризиків.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв’язати такі *задачі*:

- Виконати аналіз існуючих методів, моделей і алгоритмів планування з метою розв’язання задач формування динамічних планів різних типів.
- Розробити метод синтезу інформаційних технологій для розв’язування задач динамічного планування.
- Розробити метод аналізу і оцінювання інформації, який враховує зміни інформації в динамічному середовищі.
- Розробити метод оцінювання ризиків і невизначеностей при оцінюванні ситуації для розв’язання задач динамічного планування.
- Розробити метод ситуаційного моделювання на основі ймовірнісно-статистичних методів та нечітких ситуаційних мереж.
- Розробити метод побудови динамічних ситуаційних моделей на основі

кольорових мереж Петрі.

- Розробити метод прогнозування для розв'язання завдань динамічного планування на основі адаптивних алгоритмів та мереж Байєса різного типу.
- Розробити метод розв'язування багатокритеріальних задач прийняття рішень на основі еволюційних методів і багатокритеріальних генетичних алгоритмів.
- Вдосконалити метод розв'язання багатоцільових задач на основі використання методу аналізу співвідношень.
- Вдосконалити метод прогнозування на основі використання комбінованих прогнозів і їх оцінювання.
- Створити інструментальні засоби для розв'язання прикладних завдань динамічного планування та прийняття рішень в різних галузях.

Об'єкт дослідження – процеси динамічного планування і прийняття рішень в системах управління різного призначення.

Предмет дослідження – методи, моделі та інформаційні технології динамічного планування і прийняття рішень в умовах наявності невизначеностей і ризиків.

Методи дослідження. З урахуванням специфіки об'єкта досліджень й сформульованої мети методами дослідження є:

- для аналізу і обробки інформації та визначення цілей планування – методи системного аналізу та експертного оцінювання, методи статистичного і когнітивного аналізу;
- для моделювання і побудови структури динамічних планів – методи ймовірнісно-статистичного моделювання і теорії графів, методи нечіткого когнітивного моделювання, нечіткого ситуаційного моделювання, байєсівські мережі і мережі Петрі;
- для побудови і оцінювання прогнозів в задачах динамічного планування – методи прогнозування на основі теорії часових рядів,

різницевих рівнянь, методів регресійного аналізу та байєсівських мереж;

- для розроблення інформаційної технології прийняття рішень використано методи групового прийняття рішень, методи багатокритеріального аналізу та прийняття рішень, еволюційні методи і генетичні алгоритми;
- для побудови практичних реалізацій – методи, засоби і технології сучасного прикладного програмування.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень вирішено важливу науково-прикладну проблему розроблення методів, моделей та сучасних інформаційних технологій для розв’язання завдань динамічного планування та прийняття рішень. При цьому отримано такі нові результати:

Вперше

- розроблено метод синтезу інформаційних технологій для розв’язування задач динамічного планування, який ґрунтується на принципах багатомодельного та багатокритеріального підходів, інтеграції різнотипної інформації й заснований на системному використанні методів аналізу даних, моделювання, методів прогнозування і прийняття рішень, що підвищує ефективність процесу динамічного планування в умовах наявності невизначеностей та ризиків різних типів;
- розроблено метод прогнозування на основі адаптивного підходу до моделювання з комбінованим використанням регресійних та ймовірнісно-статистичних моделей у формі мереж Байєса, який завдяки врахуванню структурно-параметричних невизначеностей ймовірнісно-статистичних моделей, надає можливість визначати динамічні параметри плану та забезпечує адекватний опис причинно-наслідкових зв’язків при розв’язуванні задач динамічного планування;
- розроблено метод оцінювання ризиків та невизначеностей, який завдяки використанню процедур оцінювання ситуації та вибору,

підвищує точність процесів ситуаційного моделювання, а також надає можливість уточнювати структуру динамічних планів;

- розроблено метод розв'язування багатокритеріальних задач, який базується на використанні еволюційних процедур та генетичних алгоритмів, що дало можливість підвищити точність і ефективність прийняття рішень.

Отримали подальший розвиток

- метод аналізу інформації на основі теорії нечіткого когнітивного моделювання, який за рахунок ітеративного обчислення системних показників, дає змогу враховувати зміни інформації в динамічному середовищі, а також зменшує суб'єктивність при аналізі експертної інформації в задачах планування і прийняття рішень;
- метод ситуаційного моделювання, який за рахунок використання нечітких ситуаційних мереж та часових обмежень, що підвищує точність врахування часових ресурсів в процесах ситуаційного моделювання та побудови структури динамічних планів;
- метод побудови динамічних ситуаційних моделей за рахунок використання кольорових мереж Петрі, який надає можливість створювати ефективні моделі динамічних процесів і забезпечує підвищення точності ситуаційного моделювання.

Удосконалено

- методологію розв'язання багатокритеріальних і багатоцільових задач за рахунок використання методу аналізу співвідношень, який забезпечує визначення важливості цілей і підвищує ефективність прийняття рішень;
- метод прогнозування, який за рахунок оцінювання та використання комбінованих прогнозів характеризується суттєвим зменшенням обчислювальних ресурсів та алгоритмічної складності відповідних процедур в процесах планування із заданим рівнем якості оцінок

прогнозів;

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що розроблені інформаційні технології, методи і моделі забезпечують:

- зменшення часу, необхідного для розробки інформаційно-аналітичних систем з метою розв'язання задач динамічного планування та прийняття рішень у різних галузях науки і промисловості;
- підвищити достовірність оцінювання і моделювання ситуацій, за рахунок врахування причинно-наслідкових зв'язків і використання ймовірнісно-статистичних моделей у вигляді мереж Байєса;
- підвищення якості прогнозування за рахунок об'єднання і комбінування різних методів прогнозування дозволяє прогнозувати часові ряди довільної природи з різними статистичними характеристиками, і дає можливість підвищити якість прогнозування у середньому до 3,5%
 - підвищення якості рішень за рахунок використання багатокритеріальних генетичних алгоритмів при розробці сезонних планів використання ресурсів в автономній енергосистемі, що дає можливість підвищити ефективність використання ресурсів системи у середньому на 5%;
 - підвищення якості планування маршрутів для БПЛА за рахунок оцінювання ситуаційних ризиків і надають можливість збільшувати ефективність використання БПЛА приблизно на 10-12%.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації були подані і обговорені більш ніж на 30 міжнародних науково-технічних конференціях та наукових семінарах та симпозіумах, зокрема: Міжнародна наукова конференція "Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій, ISDMIT" (м. Євпаторія, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, м. Залізний Порт, 2014, 2015); Міжнародна наукова конференція «Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації» (м. Кам'янець-Подільський, 2004); Міжнародна конференції «Автоматизація: проблеми, ідеї та рішення» (м. Севастополь, 2009, 2010, 2011, 2012). На науково-практичних

конференціях: Теоретичні та Прикладні аспекти побудови програмних систем, Київ (ТАAPSD'2010); Науково-практичній конференції «Актуальні проблеми розвитку авіаційної техніки» (м. Київ, 2012 р.); Науково-практичній конференції «Інформаційні технології в металургії і машинобудуванні, ІТММ» (м. Дніпропетровськ, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015). International conference on computer science and information technologies CSIT, (м. Львів, 2013, 2014); Міжнародній конференції «Ольвійський форум» (м. Ялта, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013), Міжнародній конференції «Ольвійський форум»; (м. Миколаїв, 2014, 2015), Міжнародній конференції «Інформатика. Культура. Техніка» (м. Одеса, 2013). VI-й Міжнародній школі-семінарі "Теорія прийняття рішень" (м. Ужгород, 2012).

Основні положення дисертаційної роботи розглядалися на науково-технічних семінарах факультету комп'ютерних наук ЧДУ ім. П.Могили, національного технічного університету «Львівська політехніка», на регіональному семінарі « Математичне моделювання, проблеми управління і прикладної інформатики» у Національній металургійній академії, м. Дніпропетровськ.

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано у 48 наукових працях, з яких 30 публікацій у фахових наукових виданнях України з технічних наук, 1 монографія, 6 публікацій у іноземних фахових виданнях, 11 публікацій в збірниках матеріалів міжнародних і державних конференцій.

Структура та обсяг роботи. Робота складається із вступу, 7 розділів, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 306 сторінок основного тексту. Загальний обсяг дисертації складає 373 сторінки. Список використаних джерел складається із 323 найменувань на 30 сторінках. Дисертація містить 9 додатків, розміщених на 35 сторінках.

РОЗДІЛ 1

СИСТЕМОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ДИНАМІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Представлена робота присвячена вирішенню проблеми створення інформаційних технологій для розв'язання задач динамічного планування і підвищення ефективності їх застосування в сучасних умовах, які характеризуються значною мінливістю ситуацій, високою динамікою розвитку, ризиками та великим ступенем невизначеності. У даному розділі виконано системологічний аналіз проблем, завдань та інформаційно-обчислювальних аспектів динамічного планування. Проведено аналіз сучасного стану досліджень в області динамічного планування та прийняття рішень. Описано різні типи динамічних планів і проведена їх класифікація. Проаналізовано основні методи та методології побудови динамічних планів. Виконано порівняльний аналіз інформаційних систем для вирішення завдань динамічного планування, виділено їх можливості та переваги. Проаналізовано основні методи багатокритеріального аналізу і прийняття рішень та прогнозування. Проведено аналіз ризиків і невизначеностей які мають місце при вирішенні завдань динамічного планування. Показано, що застосування різних методів динамічного планування стало провідною тенденцією в сучасних технологіях стратегічного планування та управління. Сформульовано основні проблеми і завдання досліджень при побудові інформаційних технологій для вирішення задач динамічного планування. Виходячи із складності та актуальності досліджуваної проблеми, доцільно почати виклад роботи з означень і понять, що відносяться до сучасних технологій динамічного планування.

Динамічне планування сьогодні – це один з найбільш ефективних системних інструментів сучасного менеджменту і стратегічного управління,

аналізу і планування. Динамічне планування є ефективним методом побудови та розвитку раціональної політики, а також для поглибленого аналізу та ефективного розвитку технологій або масштабних інженерних проєктів [288]. Динамічне планування має три відмінні особливості, які відрізняють його від інших типів планування. Перше це те, що система при побудові плану розглядається у часі з урахуванням наявності ризиків і різнотипних невизначеностей та з врахуванням їх змін з плином часу. Крім того, обов'язкова побудова прогнозів стосовно майбутньої ефективності плану та обліку будь-яких змін середовища [288]. Отже, потрібно будувати гнучкий план та коригувати його у відповідності до подій, які відбуваються та впливають на результати. Друге це те, що планування носить довгостроковий характер, оскільки розглядаються не тільки короткострокові цілі а й довгострокові. І третє те, що процес побудови плану носить еволюційний характер з метою досягнення найкращих результатів для поточних вихідних даних.

Історично динамічне планування виникло в 50-х роках ХХ століття як альтернатива для одноваріантних прогнозів при побудові планів майбутнього розвитку окремих компаній і прогнозів щодо розвитку окремих ситуацій. Одноваріантні прогнози, як правило, досить жорстко задавали єдиний шлях майбутнього розвитку системи або ситуації і на практиці, особливо в умовах швидко мінливого зовнішнього середовища, вони дуже часто виявлялися помилковими. Очевидно, що в умовах наявності ризиків значної зовнішньої невизначеності і швидких змін зовнішнього середовища розробляти стратегічні плани з опорою на єдиний імовірнісний прогноз є неефективними. Ситуації в сучасному світі швидко і несподівано змінюються, при цьому виникають стрибкоподібні зміни ситуацій, раптові події, які неможливо передбачати. При цьому завжди існує певна множина можливих варіантів розвитку майбутніх подій, які можливо передбачити і спрогнозувати. Тому при впровадженні динамічного підходу почали розробляти приблизно однаково правдоподібні, але значимо контрастні варіанти майбутнього

розвитку подій і зовнішнього середовища для складних динамічних систем і ситуацій. При цьому істотна особливість таких динамічних планів полягала у тому, що вони були інструментами не тільки для розробки прогнозів, але і для розробки стратегій розвитку складних динамічних систем і процесів. Динамічне планування включає в себе різноманітні методи обробки кількісної та якісної інформації, методи моделювання, методи оптимізації та прийняття рішень на різних етапах побудови планів, оцінювання ризиків і невизначеностей. Але основним змістом динамічного планування є конструювання добре структурованих і логічно вивірених динамічних планів, або їх елементів, різних і однаково правдоподібних і адекватних варіантів майбутнього плану розвитку системи та оцінювання ефективності цих планів. При цьому план, що будується, повинен бути гнучким та ефективним для того щоб отримати можливість врахування всіх змін зовнішнього середовища при різних варіантах майбутнього розвитку досліджуваних систем.

1.1 Загальна характеристика динамічного планування і класифікація типів планування

У повсякденному житті під терміном планування (planning) визначається як процес складання деякої послідовності дій, яка веде до намічених цілей. Планування полягає у знаходженні дій, необхідних для розв'язання поставленої задачі, і складання цих дій у певну послідовність, що приводить до розв'язку. Фактично, планування – це знаходження способу (плану) досягнення цілей при заданих можливостях. План визначає, як досягти цілі при наявності певних механізмів впливу. В практичній діяльності особам, що приймають рішення (ОПР) досить часто доводиться зустрічатись із завданнями планування чого-небудь. При цьому знайдені рішення є не завжди оптимальними. Крім того пошук оптимального рішення потребує обробки великого обсягу інформації. Було б зручніше, якби план складався автоматично інформаційно-аналітичною системою. При цьому відразу можна вирішувати задачу оптимізації рішення за деяким критерієм або навіть

множини критеріїв. ОПР залишалося б лише оцінити ефективність плану для завдання, яке вирішується. Таким чином планування – це задача побудови певної послідовності дій, яка переводить систему із початкового стану в цільовий.

Автоматичний пошук плану прийнято відносити до завдань з області штучного інтелекту [146,185,286,291]. Тому сам процес пошуку плану обчислювальною машиною називають інтелектуальним плануванням (AI planning). Ця проблема досліджується вже досить давно. Головні роботи у цьому напрямі з'явилися в 60-х роках 20 сторіччя; з тієї пори з'явилося багато підходів до розв'язання цієї задачі в рамках загального підходу.

Планування – це вид діяльності, пов'язаний з постановкою та визначенням цілей, завдань і дій у майбутньому [6]. Планування передбачає виконання наступних етапів:

- Визначення головних цілей і задач;
- Визначення певної програми дій;
- Визначення необхідних ресурсів;

Зміст процесу планування полягає у відповіді на ключові питання.

1. В якому стані знаходиться система?
2. Який цільовий стан?
3. Як досягти цільового стану?

Планування є головною з функцій управління, оскільки прийняті в процесі її реалізації рішення визначають характер впливу і здійснення всіх інших функцій управління. До функцій планування відносяться: встановлення цілей, прогнозування, моделювання, реалізація плану. Сутність планування, як функції управління системою, полягає в визначенні цілей та шляхів їх досягнення, а також визначення методів, способів і ресурсів, необхідних для виконання цих завдань.

Планування – це процес синтезу майбутньої поведінки системи до того, як отримані таким чином плани будуть використані для реалізації цієї поведінки. Результатом планування є множина дій, а також накладені на них

часові та інші обмеження. На рис.1 схематично представлено процес планування



Рис.1.1 Представлення планування як процесу

Головне завдання планування полягає у пошуку послідовності дій, застосування якої до початкового стану моделі приведе до такого стану, в якому досягається заздалегідь задана мета. Мета планування полягає у створенні планових документів, керуючих рішень, які визначають зміст та певний порядок дій для досягнення визначених цілей або забезпечення тривалого, правильного, безаварійного існування.

По суті, планування – це задача синтезу нового рішення. Вона включає в себе визначення цілі та побудова послідовності дій для досягнення деякої бажаної мети або цілей. У загальному сенсі під курсом дій визначається програму дій по досягненню цілі, яка може включати такі речі, як умовні гілки, цикли і паралельні дії. На практиці модель часто обмежена простими послідовностями дій. Мета в задачі планування може охоплювати багато речей, включаючи досягнення множини цілей, конкретизацію і виконання абстрактної задачі або оптимізацію деякої цільової функції:

$$S_0 \xrightarrow{R_1} S_1 \xrightarrow{R_2} S_2 \dots \xrightarrow{R_n} S_G \quad (1.1)$$

де S_0 – це початковий стан; S_G – це цільовий стан; $R_1 \dots R_n$ – операції переходу із одного стану в інший.

Проблеми автоматизованого планування розглядаються як проблеми штучного інтелекту [146,185,247,291]. Спочатку, планування розглядалось як доведення теорем, тобто план будувався на основі доведення теорем. Цей підхід було реалізовано в планувальнику інтелектуальної системи STRIPS [243]. В роботі Дж. Макартні [285] планування розглядалось як пошук доведення, але в спеціальному численні – ситуаційній логіці. В роботах [220, 231] розвинуто підхід, при якому планування розглядалось як пошук у просторі задач і пошук у просторі станів.

Пошук у просторі станів ґрунтується на представленні кожного стану у термінах бінарних змінних стану; до цих станів застосовуються дії із заданої множини. З кожною дією пов'язані передумови дії та ефекти цієї дії, тобто списки тих змінних, значення яких змінюються. Таким чином дії змінюють стани. Було розроблено планувальники, які використовують пошук у просторі станів Prodigy [312], SNLP [306], Grafplan [304,316], SATPLAN [280].

Пошук у просторі задач зводиться до вирішення головної задачі шляхом вирішення окремих підзадач [277]. До планувальників, які використовують цей підхід, відносяться NOAN [295], Noulin[300].

Пошук у просторі планів дав поштовх для розробки множини методів, серед яких необхідно виділити методи упорядкованого планування та частково упорядкованого планування. При частково упорядкованому плануванні план розглядається як множина підпланів, при цьому головний план, що будується з цих підпланів, приводить до цілі. В роботі МакАлістера і Розенбліта [284] доведена повнота алгоритму частково упорядкованого планування. Ця робота задала напрям подальших досліджень у галузі планування.

В середині 80-х років у МІТ були сформульовані, запропоновані та розвинені методи динамічного планування. Під динамічним планування визначають планування у середовищі яке змінюється (динамічному), яке має

багато невизначеностей і ризиків та суттєво впливає на побудову плану [288,289].

Означення 1.1

Динамічне планування – вид ситуаційного планування при якому враховується зміна поточної ситуації із врахуванням можливих ризиків і невизначеностей, які характерні для цієї ситуації, з використанням моделей динаміки досліджуваних процесів (об’єктів); при цьому можуть корегуватись цілі планування, плани та засоби досягнення цілей, а також часові параметри плану.

Результатом динамічного планування є побудова динамічного плану.

Означення 1.2

Динамічний план – це план який складається із множини ситуацій, які характеризують послідовність станів (еволюцію динаміки) системи; він має конкретну тактичну або стратегічну ціль, а його реалізація пов’язана з невизначеностями і можливими ризиками, зумовленими випадковими внутрішніми факторами та впливами зовнішнього середовища.

При побудові динамічного плану необхідно дослідити зовнішнє середовище на наявність невизначеностей, ризиків та часових обмежень.

Означення 1.3

Середовище планування – це мінливе динамічне середовище, в якому розробляється і реалізується план; зміни цього середовища впливають на структуру, параметри та послідовність дій плану, що розробляється, а також на можливості досягнення заданих цілей плану.

При дослідженні середовища на першому етапі досліджується та моделюється поведінка системи з метою визначення головних невизначеностей та ризиків, які можуть суттєво впливати на побудову плану. На другому етапі необхідно визначити динаміку системи. Опис невизначеностей системи та ризиків можливо здійснювати за допомогою

кількісних і якісних показників, а опис динаміки системи – функціями, які задаються будь-яким способом, відношеннями, правилами.

Таким чином, для вирішення проблем динамічного планування необхідно дослідити поведінку зовнішнього середовища, визначити функції які визначають параметри поведінки системи. Визначити головні невизначеності та ризики, які виникають при побудові планів. Та дослідити динаміку змін всіх показників динамічного плану в часі.

Функціонування багатьох систем носить цілеспрямований характер. Типовим актом такого функціонування є розв'язання задачі планування шляху досягнення потрібної мети з деякої фіксованої початкової ситуації. Результатом рішення задачі повинен бути план дій – частково упорядкована сукупність дій. Такий план нагадує сценарій, в якому як відношення між вершинами виступають відношення типу: "*мета – підціль*", "*мета - дія*", "*дія - результат*" і т. ін. Будь-який шлях у цьому сценарії, що веде від вершини, відповідної поточній ситуації, в будь-яку з цільових вершин, визначає план дій. Пошук плану дій виникає лише тоді, коли вона стикається з нестандартною ситуацією, для якої немає заздалегідь відомого набору дій, що приводять до цілі. Усі завдання побудови плану дій можна розбити на два типи, яким відповідають різні моделі: планування у просторі станів (*SS-проблема*) і планування в просторі завдань (*PR-проблема*)[249].

У першому випадку вважається заданим деякий простір ситуацій. Опис ситуацій включає стан зовнішнього світу і стан, що характеризуються рядом параметрів. Серед станів можна виділити початковий стан і кінцевий (цільовий) стан. *SS-проблема* полягає у пошуку шляху, що веде з початкового стану в кінцевий.

При плануванні у просторі задач інша ситуація. Цей простір утворюється в результаті введення на множині завдань відношень такого типу: "*частина - ціле*", "*завдання - підзадача*", "*загальний випадок – окремий випадок*" і т. ін. Таким чином, простір задач відображає декомпозицію задач на підзадачі (цілі на підцілі). *PR-проблема* полягає у пошуку декомпозиції

вихідної задачі на підзадачі, що приводить до завдань, розв'язки яких відомі [146].

Класична постановка задачі планування сформульована в кінці 60-х років минулого сторіччя в роботі [259]; вона була представлена як послідовність логічних дій для розв'язання задачі доведення теорем. Але складність вирішення проблем за допомогою логіки першого порядку привели до розробки більш універсальних процедур планування, таких як STRIPS [243]. Основа алгоритмів побудови планів в STRIPS – це пошук у просторі станів з метою виявлення цільового стану. Але подібний підхід не виявився зручним для розв'язання багатьох задач планування; головний недолік – це неможливість розв'язання багатовимірних задач. Тому була сформульована задача планування як пошук у просторі з обмеженнями та частковими обмеженнями [308, 309, 310, 231,233, 267, 268]. Це дозволило звести процес планування до абстрактної послідовності дій, які можуть бути поступово зведеними до конкретних дій. Новий підхід до побудови алгоритмів планування намітився із впровадженням алгоритмів вирішення задач з обмеженнями, це системи типу GRAPHPLAN [228,229,246] та SATPLAN [280].

Динаміка змін зовнішнього середовища потребує відповідної адаптації плану до умов ситуацій, які виникли. Таку адаптацію плану можна досягти за допомогою впровадження технології динамічного планування, яка дає можливість постійно вдосконалювати план до відповідних змін зовнішнього середовища.

В умовах нестабільності та непередбачуваності зовнішнього середовища неможливо точно спланувати кінцеві результати розвитку як у довгострокових, так і в короткострокових планах. Стратегічне планування є більш невизначеним та швидкозмінним. При цьому воно здійснюється не деталізовано, а у вигляді визначення найбільш важливих напрямів розвитку, а значну частину своїх функцій передає до оперативного, та динамічного планування.

Динамічне планування використовується в умовах ризиків, невизначеності та динамічних змін зовнішнього середовища. Воно, як основа для прийняття організаційних і управлінських рішень носить ситуативний характер, динамічне планування здійснюється з урахуванням конкретної ситуаційної невизначеності та ризиків, які склалися в тих чи інших умовах.

При застосуванні динамічного планування відбувається постійне оновлення даних і відображення всіх змін у режимі реального часу, тобто планування на основі реальних даних про систему (процес). Воно дає можливість оптимізувати рішення на основі економіко-математичних методів та методів прийняття рішень, а також спрогнозувати зміни у майбутньому головних критеріїв та вплив цих змін на досягнення цілей планування. [6]

Використання динамічного планування набуває актуальності та важливості при підсиленні динамічності змін зовнішнього середовища, впливу різного типу ризиків.

Застосування методів динамічного планування на основі автоматизованих процедур значно покращує якість планування та мінімізує витрати на побудову плану. Автоматизація процедур планування допоможе підвищити якість самого планування. Розробка планів при динамічному плануванні може здійснюватися для кожного окремого фіксованого моменту часу або інтервалу. За межами цього інтервалу рішення не приймається. На відміну від динамічного планування статичні методи планування не передбачають швидких змін параметрів, що призводить до значних помилок у результатах.

Мета динамічного планування полягає у прийнятті швидких та ефективних рішень при значній кількості невизначеностей та ризиків. Для реалізації та використання методів динамічного планування потрібно спочатку визначити фактори, які впливають на побудову плану, та визначити головні цілі планування. Після цього слід виконати аналіз зовнішнього середовища й установити фактори, які впливають на побудову плану. Далі за допомогою методів системного аналізу необхідно проаналізувати

невизначеності та ризику, які впливають на досягнення цілей планування. І в разі отримання інформації вносити відповідні корективи до планів або розробляти ефективніші плани, які відповідають цілям планування. Змінюються лише процеси та середовище, у якому будується план, а загальні закони взаємовпливу факторів зберігаються.

1.1.1 Класифікація типів планування

На сьогодні існує багато типів планування і класифікацій планування. Класифікація видів планування ґрунтується, насамперед, на типі об'єкта планування. За типом об'єкта планування розрізняють такі види планування: *Виробниче* (балансове, планування витрат ресурсів, планування маркетингу, завдання якого завчасно визначити терміни виконання деякої сукупності виробничих процесів з урахуванням завантаження устаткування і необхідних циклів виробництва), *військове, соціальне, планування освіти, політичне, планування експериментів, планування руху (навігація), навчання* і т. ін.

За тривалістю інтервалу планування розрізняють *стратегічне і тактичне* планування. Стратегічне планування – це планування розвитку систем, тобто таких операцій, які пов'язані із зміною в структурі, функціях з появою нових якісних характеристик. Тактичне планування (або оперативне) – у реальному масштабі часу – припускає таке планування функціонування систем: це швидке прийняття управлінських рішень стосовно способів досягнення цілей, при цьому тактичні рішення розробляються на основі стратегічних.

Планування розрізняють *статичне і динамічне*. У першому випадку значення компонент вектора запланованого стану системи не залежать від часу, у другому – значення вихідних координат розраховуються для кожного моменту часу.

Стосовно планування виробничих операцій говорять про *короткострокове, середньострокове* (тактичне) планування та про

довгострокове (стратегічне) планування. Короткострокові (річні) плани передбачають випуск продукції встановленої номенклатури при заданій технології. При середньостроковому плануванні випуск продукції з новими технічно досяжними характеристиками (включається планування ДКР, підготовки виробництва, модернізація технологічних процесів). Особливості цих видів планування: брак часу на опрацювання альтернативних варіантів плану, але переваги: мала ступінь невизначеності. Довгострокове планування є планом розвитку і носить проблемний характер з точки зору сьогодення (проблема – мета, шляхи досягнення якої невизначені). Особливості довгострокового планування – це ретельне опрацювання багатьох альтернативних варіантів, високий ступінь невизначеності через труднощі прогнозування поведінки середовища. Слід відмітити, що існує поняття цільової програми (наприклад, космічні програми, програми освоєння світового океану, програми використання енергії термоядерних реакцій). Програма орієнтована на виконання конкретних цілей; довгострокові плани мають багатоцільовий характер і включає в свій склад частини багатьох програм.

За спрямованістю плану у часі розрізняють *ретроспективне* планування (орієнтоване на виправлення прорахунків, недоліків у минулих рішеннях) і *перспективне* планування (орієнтовано на формування справи ситуацій у майбутньому).

З точки зору того, хто планує існує три великі групи видів планування:

- *Поточне планування* (це планування процесу функціонування системи на основі наявної структури та її параметрів, при цьому цілі часто корегуються під існуючу структуру).

- *Оптимальне планування* (складання планів, найкращих в будь-якому сенсі; математичні моделі оптимального планування являють собою постановку класичної задачі оптимізації; оптимальне планування відображає яку-небудь одну сторону процесу, який планується нехай навіть саму важливу, тому не зовсім правомірно ці плани називати оптимальними) [11].

- *Адаптивне планування* – вид динамічного планування (планування здійснюється на основі експериментів з математичною моделлю планованої операції, внаслідок чого план удосконалюється).

За ступенем знання майбутнього визначають такі види планування:

– *Детерміноване планування* (передбачає певні знання майбутнього, відомі знання структури системи і моделі впливу). Детерміноване планування широко поширене в економіці з таких причин: по-перше, багато операцій в економіці мають унікальний неповторюваний характер , коли важко говорити про статистичні характеристики; по-друге , виникають відхилення вихідних координат від планових, які компенсуються на етапі оперативного управління, при цьому для визначення ресурсів на операцію необхідно планові ресурси збільшити на величину резерву для оперативного управління.

–*Ймовірнісне планування* має декілька варіантів:

а) *коли відомі статистичні характеристики* (математичне сподівання, дисперсія) передбачуваних складових і тоді використовуються методи стохастичного програмування;

б) *планування за варіантами*: використовується тоді, коли невизначеність дуже велика, при цьому пропонується кілька варіантів майбутнього стану середовища і для кожного з них розробляється свій детермінований план (зведення невизначеності до детермінованої задачі); це характерно для планування військових дій і економічного планування;

в) *ігрове планування* виникає тоді, коли є дані тільки про можливі діапазони змін, тоді застосовуються методи теорії ігор (коаліційні ігри, ігри з протилежними інтересами , антагоністичні ігри , які можуть бути зведені до задач лінійного програмування);

г) *ковзне планування* – ефективний засіб подолання невизначеності в економіці; при ковзному плануванні розрізняють інтервал і крок планування; якщо інтервал , наприклад , дорівнює 10 рокам , а крок – одному року, то щорічно планування здійснюється на 10 років вперед, це дозволяє раціонально розподіляти нові великі зміни у майбутньому;

д) *планування по життєвому циклу виробу*: стосовно виробничих і організаційних систем визначають *директивне* (централізоване) та *індикативне* планування. Для директивного планування характерна підготовка планів центром і реалізація їх примусово. Індикативному плануванню властива швидше координація, узгодження планів, рішень нижчих ланок системи управління, як між собою, так і з центром в інтересах розвитку системи як єдиного цілого [107,203,204].

1.2 Огляд та аналіз сучасних типів і методів динамічного планування

Сучасні методи планування, які можливо віднести до динамічного планування, це стратегічне планування, сценарне планування та інтелектуальне планування (рис. 1.2).



Рис.1.2 Типи і методи динамічного планування

1.2.1 Аналіз методів стратегічного планування

Стратегічне планування – це тип довгострокового планування, яке ґрунтується на досягненні визначених цілей. Цілі можуть бути проміжними і головними (стратегічними). Якщо цілі проміжні, то процес стратегічного планування можливо представити як процес послідовного досягнення визначених цілей [177, 179, 230,258, 260, 270, 272, 276, 278, 283, 303,319].

Стратегічне планування складається з кількох етапів. Перший етап – це аналіз середовища та визначення зі стратегією розвитку, другий етап це визначення цілей планування, третій етап – визначення стратегій та вибір сценаріїв їх досягнення, розробка базової стратегії, реалізація стратегії та контроль за її виконанням.

На кожному етапі використовуються групи методів, які вирішують завдання стратегічного планування. Методи, які використовуються на різних етапах стратегічного планування різного типу, мають різні вихідні результати, але всі вони спрямовані на розробку стратегічних рішень. Найбільш розповсюджені з них це на першому етапі: SWOT-аналіз [31, 279,307] та конкурентний аналіз [209].

SWOT-аналіз дозволяє *визначити* причини ефективної чи неефективної діяльності системи (підприємства), це стислий аналіз маркетингової інформації на підставі якого робиться висновок про те, в якому напрямі повинен йти розвиток. Результатом аналізу є розробка стратегії для подальшої перевірки. Класичний SWOT-аналіз припускає визначення сильних і слабких сторін у діяльності фірми, потенційних зовнішніх загроз і сприятливих можливостей і їх оцінку щодо стратегічно важливих конкурентів. В результаті проведення SWOT-аналізу, отримуємо SWOT-матрицю, матрицю можливостей, матрицю загроз [31,279].

Конкурентний аналіз – це всебічне дослідження конкурентного становища підприємства і доступних ринків в цілях формування ефективної стратегії розвитку. Конкурентний аналіз галузі включає в себе кілька розділів (етапів):

- визначення головних економічних характеристик;
- визначення рушійних сил розвитку;
- оцінка конкурентних позицій конкуруючих підприємств;
- аналіз найближчих конкурентів, їх можливих дій;
- визначення ключових факторів успіху;
- оцінка перспектив розвитку.

В результаті проведення конкурентного аналізу визначаються головні економічні характеристики, характеристики основних конкурентів, ключові фактори успіху та перспективи розвитку [209].

На другому етапі використовуються метод мозкового штурму та метод дерева цілей [127].

Метод мозкового штурму – метод експертного оцінювання для вирішення проблем на основі творчої активності експертної групи, при якому експертам пропонується велика кількість варіантів рішення.[128,142] Потім із загального числа висловлених ідей відбирають найбільш вдалі. Метод мозкового штурму активно застосовується при розробці стратегій. Для цього формується робоча група, що включає в себе співробітників підприємства. проводяться обговорення варіантів стратегій і остаточний вибір проекту стратегії. В результаті використання методу визначаються цілі планування і розвитку.

Дерево цілей – це методологія, яка побудована за ієрархічним принципом (розподілена по рівнях, ранжируваних) сукупність цілей системи, програми плану, в якій виділені генеральна мета («вершина дерева»); підлеглі їй підцілі першого, другого і подальшого рівнів ("гілки дерева"). В результаті використання методу визначається ієрархія цілей .

На третьому етапі використовуються методи побудови і аналізу сценаріїв які розглядаються у розділі 1.2.2. Головна мета і результат цього етапу, це експертна оцінка сценаріїв стратегій і проекти стратегій.

На етапі розробки стратегій використовуються наступні методи: .

Модель розвитку товару/ринку І. Ансоффа (матриця Ансоффа) дозволяє використовувати одночасно кілька стратегій. Матриця Ансоффа являє собою метод, призначений для прийняття рішень при виборі стратегії, а також служить діагностичним інструментом. Відповідно до цієї моделі, розробляється стратегічний план який містить фінансову і адміністративну стратегії. Фінансова стратегія являє собою сукупність правил і засобів, спрямованих на забезпечення приросту фінансового потенціалу. В свою чергу,

адміністративна стратегія передбачає набір правил з стратегічного розвитку. Головною відмінністю моделі стратегічного планування І. Ансоффа є врахування зворотного зв'язку, який забезпечує інтерактивність процедури формування стратегічного плану та безперервність її реалізації.[209]

Метод Д. Стейнера. Ця модель являє собою матрицю, що включає класифікацію ринків і класифікацію продуктів на існуючі, нові, але пов'язані з існуючими, і зовсім нові. Матриця показує рівні ризику і відповідно ступінь ймовірності успіху при різних поєднаннях ринок-продукт. Модель використовується для визначення ймовірності успішної діяльності при виборі того чи іншого виду бізнесу, а також для вибору між різними видами бізнесу, у тому числі при визначенні співвідношення інвестицій для різних ділових одиниць. [209]

Метод Д. Абеля визначає стратегію розвитку бізнесу у трьох напрямках: – обслуговуються групи замовників; – потреби замовників; – розвиток технології, що використовується при розробці і виробництві продукту. Головним критерієм оцінки за матрицею Абеля є відповідність аналізованої галузі загальному напрямку діяльності компанії з тим, щоб використовувати синергетичний ефект в технології та маркетингу. Іншими критеріями вибору є привабливість галузі і конкурентоспроможність [209]. Окрім того, на цьому етапі використовується метод мозкового штурму.

На наступному етапі стратегічного планування, етапі реалізації стратегій, використовуються **методи мережевого планування** [5]. Методи, основна мета яких полягає у тому, щоб скоротити до мінімуму тривалість проекту. Вони ґрунтуються на розроблених практично одночасно і незалежно методі критичного шляху і методі оцінки і перегляду планів PERT (Program Evaluation and Review Technique) [209]. Результатом цього етапу є мережева діаграма.

На заключному етапі стратегічного планування використовуються різнотипові методи аудиту.

Загальним результатом стратегічного планування є різні типи стратегічних планів та проектів стратегій, які вирішують головні задачі визначення шляхів розвитку системи.

1.2.2 Аналіз існуючих методів і методологій сценарного планування

Сценарне планування, на відміну від розроблення стандартних довгострокових або короткострокових прогнозів, має свою специфіку і ряд особливостей. У більшості дослідників немає єдиної думки з приводу статусу сценарного планування. Серед одних фахівців переважає думка, що сценарне планування є одним з найважливіших інструментів перевірки стратегічних рішень і цим воно наближене до стратегічного планування і є частиною його [186,296]. Інші вважають його основне призначення – це розвиток стратегічного мислення і спосіб завдання рамок для стратегічного планування [199]. Треті вважають його основним методом розвитку організації, шляхом самонавчання [189]. Але найбільш точним можна вважати четвертий підхід у означенні сценарного планування, визначаючи його як системний інструмент стратегічного управління, яке включає вищезначені типи його призначення. На сьогодні існують різні методи та методології сценарного планування, які мають свої особливості і відрізняються концептуально.

Особливості методології європейської комісії яка носить назву "*Shaping Factors – Shaping Actors* " [186], яка призначена для формування сценаріїв дослідження майбутнього за допомогою експертного оцінювання. На відміну від методу Делфі в методі "*Shaping Factors – Shaping Actors* " використовують відносно невеликі за кількості групи експертів. Метод складається з двох стадій. На першій стадії формування сценаріїв майбутнього визначається повний список «формотворчих» чинників (*shaping factors*), і «формотворчих» суб'єктів (*shaping actors*). «Формотворні» чинники це елементи сценарію, які вважаються важливими з точки зору формування майбутніх результатів. Вони можуть бути глобальними, національними та

регіональними. Вони відображають важливі з точки зору експертів внутрішні і зовнішні особливості і тенденції, які можуть істотно вплинути на розвиток ситуації в майбутньому. «Формотворні» суб'єкти – це дійові особи які здатні вплинути на «формотворчі» чинники в інтерактивному режимі. Суб'єктами можуть бути окремі особистості приймаючі рішення (політичні діячі, економісти) або групи осіб приймають рішення. На другій стадії визначаються головні зв'язки між суб'єктами і факторами. Для кожної проблеми обирається невелика група експертів яка приймає рішення в режимі експертного консультування на експертних семінарах. На експертних семінарах розробляються песимістичні й оптимістичні сценарії, а також базові сценарії які поєднують в собі елементи перших двох. Такі сценарії носять більше інтуїтивний характер, тому що спираються не на точні дані, а на суб'єктивні думки експертів. Процес побудови сценарію є ітеративним процесом у зв'язку з швидкою зміною факторів і суб'єктів. Методологія "*Shaping Factors – Shaping Actors*" використовувалася для аналізу і досліджень розвитку Китаю та Росії [186].

Особливості методології **«Французької школи»**. На сьогодні підхід складається з декількох інструментальних методів, заснованих на використанні інформаційних технологій, таких як MICMAC, SMIC, MASTOR, MULTIPOL [186]. Один з головних методів – MICMAC. MICMAC являє собою метод структурного аналізу і змінної класифікації. Він складається з трьох етапів. На першому етапі розробляється інформаційна база, в яку вносяться всі фактори – зовнішні і внутрішні, які характеризують різні показники функціонування досліджуваної системи. Після того як всі фактори будуть виявлені, створюється матриця перехресних впливів для вивчення впливу кожного фактора на інші. При цьому для кожного об'єкта системи визначаються цілі, проблеми та методи вирішення проблем. Потім застосовується метод MASTOR для побудови стратегій розвитку кожного об'єкта. На другому етапі досліджуються гіпотези і тенденції розвитку ситуацій. За допомогою методу морфологічного аналізу і методів

моделювання генеруються моделі розвитку майбутніх ситуацій. На третьому етапі генеруються і оцінюються сценарії розвитку. Методологія використовувалася для побудови сценаріїв розвитку металургійної галузі Франції, для вирішення інших проблем [186].

Методологія GENERON CONSULTING. Ця методологія розробки сценаріїв фірми GENERON CONSULTING складається з трьох фаз. На першій фазі відбувається накопичення та збір ресурсів та інформації для побудови сценаріїв. При цьому вирішуються завдання формування груп експертів для різних етапів побудови сценаріїв і визначається обсяг фінансових і матеріальних ресурсів, які необхідні для реалізації сценаріїв. На другій фазі формуються сценарії. Фаза складається з трьох етапів. На першому етапі уточнюються цілі сценаріїв, і моделюються різні майбутні стани і ситуації. На другому етапі за допомогою різних експертних груп створюються сценарії розвитку різноманітних ситуацій, які відповідають загальним цілям. На третьому етапі уточнюються елементи сценаріїв, і визначається найбільш реалізованими тип сценарію. На третій фазі розроблені сценарії реалізуються згідно з наміченим планом дій. За допомогою методології GENERON CONSULTING були створені сценарії розвитку суспільного життя і політичні сценарії в ряді країн Латинської Америки [186].

Методологія GLOBAL BUSINESS NETWORK (GBN). Фірма GBN займається розробкою сценаріїв майбутнього розвитку у сфері економіки та бізнесу. За допомогою комп'ютерних мереж і сучасних засобів зв'язку групи експертів з різних підрозділів фірми обмінюються інформацією на кожному етапі процесу розробки сценарію. Методологія фірми GBN складається з восьми етапів. На першому етапі визначається головна проблема або завдання, яке буде вирішуватися найближчим часом і оцінюються можливості її реалізації. На другому етапі визначаються найважливіші фактори, які впливають на можливості реалізації та вирішення головної проблеми. На третьому етапі визначаються головні рушійні сили які впливають на процес вирішення проблеми (технологічні, економічні, соціальні, політичні).

На четвертому етапі відбувається ранжирування головних чинників і рушійних сил на основі двох критеріїв: важливості при вирішенні проблеми і ступеня невизначеності, які притаманні цим факторам і тенденціям. На п'ятому етапі відбувається визначення логіки сценаріїв. На цьому етапі обираються два або три сценарії, між яким є істотна різниця. Для кожного з них визначається ключова невизначеність, і призначається шлях їх подолання в певних сценаріях. При цьому логікою сценаріїв буде врахування різниць і передбачення майбутніх тенденцій розвитку ситуації. На шостому етапі будуються деталізовані варіанти структур сценаріїв, уточнюються ключова для кожного сценарію невизначеність і тенденції. Але при цьому розглядаються варіанти взаємного впливу різних етапів сценаріїв між собою. На сьомому етапі прогнозуються наслідки застосування сценаріїв для різних ситуацій. На восьмому етапі визначаються ключові вказівки та індикатори, які повинні вказувати на можливість застосування того чи іншого сценарію або елемента сценарію на певному етапі розвитку ситуації. За допомогою методології GBN створена велика кількість сценаріїв в економічній, енергозберігаючої та промисловій галузях [186].

Особливості методології TERRA (INTERNATIONAL FUTURES). Головна мета проекту TERRA 2000 – за допомогою формальних аналітичних моделей і методів розробити механізми управління різними політичними процесами [186]. В результаті виконання проекту була визначена сукупність аналітичних моделей та методів і послідовність їх використання для моделювання політичними процесами. Було визначено три типи моделей, які були реалізовані в інструментальному середовищі **IF** (International Futures) [186]. До першої групи належать концептуальні моделі, які повинні дати відповідь "що повинно бути?", за допомогою яких створюються послідовності структур політичних сценаріїв і визначаються глобальні пріоритети. До другої групи належать моделі, які орієнтованого на конкретну політику і відповідають на питання "що могло б бути?". За допомогою моделей цієї групи створюються сценарії розвитку майбутніх ситуацій. За

допомогою третьої групи моделей, які відповідають на питання, «як це буде?», створюються остаточні сценарії.

Методології SAMI CONSULTING. Методологія SAMI Consulting розроблена консалтинговим підрозділом Інституту управління св. Ендрюса [186]. Сам процес побудови сценаріїв розділяється на п'ять стадій. На першій стадії (найважливішій) для ефективної побудови сценарію здійснюється узгодження таких питань:

- створення консультаційної ради в організації, для якої створюється сценарій, для контролю над виконанням етапів сценарію, і для контролю бюджету сценарію;
- визначення часу виконання проекту;
- визначення складу наповнювачів проекту;
- побудова точного календарного плану ;
- угода про формат обміну даними та документами.

На другому етапі відбувається вивчення стану проблеми в цілому і виявлення основних цілей. Для цього проводиться інтерв'ю з фахівцями даної галузі, які можуть сформувавши цілі. Інтерв'ю проводиться за методом «Сім питань», розробленим SAMI [186]. Метод дозволяє сформувавши головну мету побудови сценарію. Наступним етапом цієї стадії є визначення на основі аналізу всіх інтерв'ю основних зовнішніх проблем, взаємодію з навколишнім середовищем і основні внутрішні проблеми. На наступному етапі – етапі синтезу, здійснюється виявлення зовнішніх проблем, що містяться в матеріалах інтерв'ю. Виявляються протилежні точки зору на проблеми та «ключові» вислови в інтерв'ю і виявляється відсутня інформація. В результаті виконання етапу синтезу наведених операцій будується основна модель сценарію, яка обговорюється із замовником сценарію.

На третій стадії проводяться тематичні семінари, які присвячені поглибленому вивченню проблеми. Семінари проводяться експертними групами з метою тестування тих сторін проблеми, які відіграватимуть важливу роль у формуванні сценарію; з'ясування розвитку ключових факторів;

обговорення важливих проблем, щодо яких у респондентів виникають протилежні думки; виявлення взаємодії між ключовими факторами, що з'явилися в результаті синтезу; визначення інших областей, де необхідні додаткові дослідження.

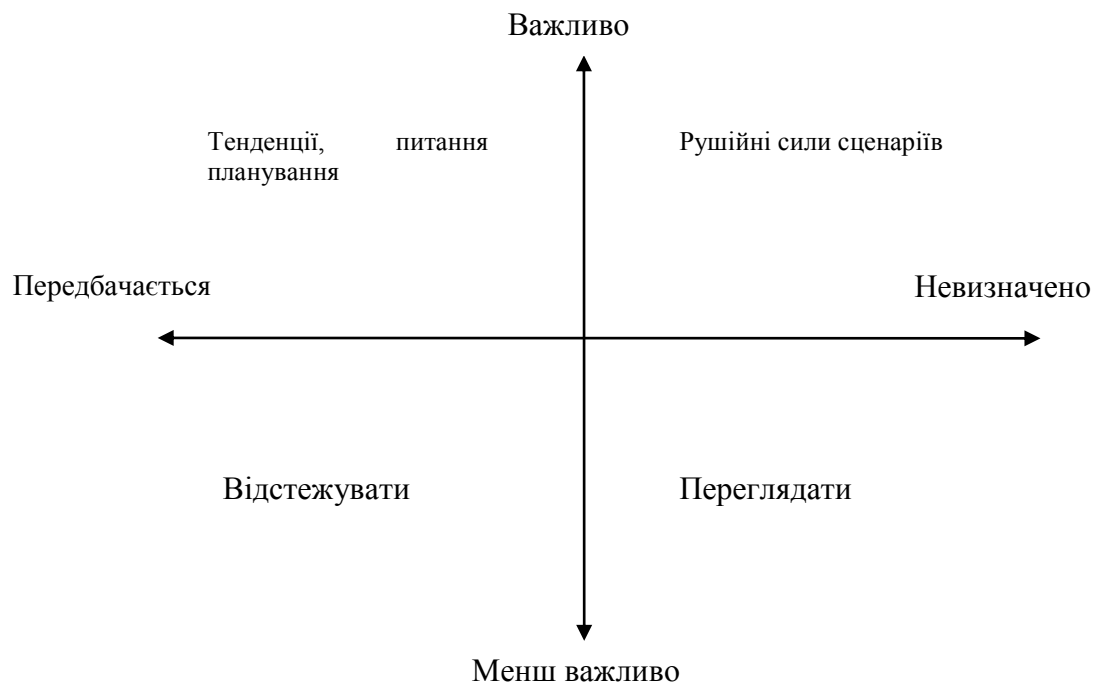


Рис.1.3 Матриця сценаріїв

Необхідна кількість семінарів, присвячених вивченню проблем, залежить від складності матеріалів, зібраних в результаті проведення інтерв'ю. Послідовність семінарів доцільно планувати таким чином, щоб зовнішні проблеми розглядалися перед розглядом внутрішніх проблем. На четвертій стадії розробляються сценарії. На даній стадії формується сукупність факторів, яка буде використовуватися при написанні.

При цьому реалізуються наступні етапи:

1. Упорядкування та ранжирування факторів за матрицею сценаріїв.
2. Аналіз причинно-наслідкових зв'язків між факторами.

3. Групування чинників за декількома блоками відповідно до масштабу проекту.

4. Пошук кількох сполучень блоків, які забезпечували б внутрішні несуперечливі варіанти, якими і є сценарії; оцінюються альтернативні варіантисценаріїв.

5. На цій стадії відбувається розробка і дослідження стратегічних варіантів сценаріїв. Варіанти поділяються на такі категорії:

- планування відповідно до найбільш ймовірного сценарію;
- планування найгіршого сценарію;
- підтримання максимальної гнучкості ;
- планування за найкращим сценарієм ;
- планування, спрямоване на підвищення ймовірності реалізації найкращого сценарію.

За допомогою цієї методології розроблено багато сценаріїв, пов'язаних з нафтопереробною галуззю, телекомунікаціями, інформаційними технологіями, фармацевтикою, будівництвом та фінансовими послугами.

Методологія ScMI. Аббревіатура ScMI розшифровується як Scenario Management International. ScMI AG – це німецька корпорація, яка займається дослідженням майбутнього і стратегічним управлінням [186]. Дослідження і розробки ведуться за трьома основними напрямками: розробка сценаріїв, стратегічне планування і рання стратегічна діагностика.

Методологія ScMI базується на трьох основних принципах:

1. Системному підході до вирішення проблеми , в основу якого покладено принципи і методи системного аналізу.
2. Багатоальтернативний розгляд варіантів розвитку майбутніх подій.
3. Розробка ефективних стратегій для вирішення проблем.

Розробка сценаріїв складається з чотирьох етапів.

- На першому етапі визначаються ключові фактори. Певна область сценаріїв систематично структурується і описується великою кількістю конкретних факторів впливу. При використанні всіх факторів сценарії можуть

виявитися дуже великими і громіздкими. Тому, виділяючи ключові фактори, природним чином звужується область сценаріїв.

- На другому етапі розробляються уявлення про майбутнє. Це найважливіший з етапів створення сценаріїв. На даному етапі визначаються можливі варіанти розвитку подій по кожному ключовому фактору. Мета в даному випадку полягає в тому, щоб знайти крайні уявлення, які можна було б використовувати для пошуку альтернативних варіантів розвитку подій на заданому горизонті майбутнього.

- На третьому етапі здійснюється об'єднання уявлень про майбутнє у єдиному сценарії. Для отримання гарантії того, що розроблені сценарії найбільш повно охоплюють всі варіанти розвитку подій, сценарії уточнюються і обробляються за допомогою спеціальних комп'ютерних програм.

- На четвертому етапі здійснюються аналіз сценаріїв та інтерпретація майбутніх варіантів розвитку подій. Цей аналіз приводить до поглибленого з'ясування майбутніх рушійних сил. Він включає виявлення індикаторів і позначає подальші шляхи розвитку.

За допомогою методології ScMI розроблено значну кількість сценаріїв в різних галузях.

Методологія Consulting Business Intelligence. Компанія SRI Consulting Business Intelligence довгий час займалася розробкою стратегічних планів для великої кількості компаній, що займаються інноваційною діяльністю. У результаті накопичення досвіду по розробці інноваційних проектів сформувався підхід до прийняття стратегічних рішень, заснований на розробці сценаріїв. Підхід складається з чотирьох основних етапів, кожен з яких відображає певні особливості при прийнятті стратегічних рішень. Перший етап це визначення цілей при прийнятті рішення, яке необхідно прийняти; при цьому вибираються головні цілі та моделюються бажані результати при реалізації даних цілей. Для забезпечення такого фокусування на цілі можуть використовуватися будь-які методи. Результатом даного етапу

є узгоджені цілі і завдання, необхідні для здійснення найкращого рішення по проекту. На другому етапі проводяться системні дослідження з метою збору інформації про зовнішнє середовище, що впливає на прийняття рішень і на розробку сценаріїв. При цьому формуються системи критеріїв та показників, що впливають на ефективне прийняття рішень. Крім того, інформація отримана в результаті досліджень, поширюється серед експертних груп та осіб, відповідальних за прийняття рішень з метою вироблення єдиних уявлень про нові тенденції і невизначеності, які необхідні для узгодженого прийняття рішень.

На третьому етапі здійснюється структуроване прийняття рішень, засноване на використанні сценаріїв. Цей процес здійснюється за допомогою чотирьох взаємопов'язаних між собою дій.

- Виконання аналізу зовнішнього оточення і того, як воно може змінитися в майбутньому для організації, що використовує сценарії.
- Розробка перспективних альтернатив.
- Вибір підходу, який би дозволив організації здійснити свої довгострокові цілі.
- Розробка планів для здійснення своїх цілей.

На четвертому етапі здійснюється моніторинг і реагування на раптові зміни зовнішнього середовища. Фактично це останній етап методу, результатом якого стане прийняття головних стратегічних рішень. Моніторингова діяльність повинна базуватися на потребах стратегічного реагування, відстеженні тих моментів, які стосуються майбутньої реалізації стратегій і планів та наданні інформації, необхідної для розгляду питань стратегічного реагування у зручній формі. Процес моніторингу і реагування повинен зосередитися на зборі та синтезі інформації про зміни, а також на вивченні стратегічних можливостей, які являються наслідком таких змін. Базовий підхід стосовно того, що необхідно відстежувати, полягає у використанні сценаріїв, зосередженні основної уваги на невизначеностях і тенденціях, які можуть надавати найбільший вплив на стратегію і план.

Результатом роботи компанії SRI–International стала розробка великих проектів в області нафтовидобування та інформаційних технологій.

Методологія ICL. Компанія ICL почала займатися розробкою сценаріїв у 1993 р. Основна область інтересів компанії ICL – розробка сценаріїв розвитку інформаційних технологій. Компанією розроблені сценарні проекти Vision 2000, Software 2000, Mark 1, Mark2 [186]. Сутність підходу до розробки сценаріїв – це багатоетапний підхід, заснований на оцінці поточного стану системи та аналізі цілей і можливостей, у тому числі інноваційних для прогнозування майбутнього розвитку системи. На першому етапі визначається масштаб сценаріїв і вивчається і класифікується поточна ситуація. Далі формується і уточнюється набір вимог до сценарію, які перевіряються на несуперечливість, достовірність та релевантність. На наступному етапі уточнюються ключові невизначеності та аналізуються методи щодо їх подолання. Далі уточнюється масштаб сценарію, виявляються основні тенденції і ранжируються за важливістю. Далі формуються три типи сценаріїв: сценарій зростання, сценарій занепаду і на їх основі, з урахуванням фактичних реалій, базовий сценарій. Потім ці сценарії аналізуються і група експертів та осіб приймають рішення та погоджують стратегію розвитку за базовим сценарієм.

Методологія TAIDA. Методологія TAIDA це розробка шведської компанії TAIDA - Lab [141]. Основні етапи даної методології відображені у назві.

Абревіатура TAIDA означає:

- спостереження – відстеження і виявлення основних ознак і потенційних можливостей, які можуть вплинути на ключову проблему;
- аналіз – аналізуються наслідки і генеруються сценарії;
- створення образу – виявляються можливості і створюється бачення бажаного розвитку подій;
- прийняття рішень – на цьому етапі визначаються альтернативи і

стратегії;

- дія – визначаються короткострокові цілі, робляться перші кроки і доводиться до кінця сценарій. На рис.1.4 приведена загальна схема процесів TAIDA:

Спостереження → Аналіз → Створення образу → Прийняття рішень → Дії

Рис.1.4 Загальна схема процесу TAIDA

Перш ніж реалізувати методологію TAIDA проводиться підготовчий етап, на якому визначаються цілі сценарного планування, визначаються ризики і потреби в інноваціях, визначаються нові напрямки діяльності і нові концепції для досягнення заданих цілей, уточнюються і визначаються можливі стратегії розвитку ситуацій. Крім того, уточнюється часовий інтервал для сценаріїв. Після того, як пройде підготовчий етап і визначені часові обмеження, починається розробка сценаріїв. Головне завдання етапу спостереження – це виявлення тенденцій, що є рушійними силами та невизначеностей, які доведеться враховувати при визначенні сценаріїв. Для визначення тенденцій і невизначеностей використовуються методи експертного оцінювання. При завершенні фази спостереження визначається набір тенденцій (трендів). Етап аналізу призначений для визначення причинно-наслідкових зв'язків в тенденціях і визначення механізму взаємодії трендів. Це необхідно для більш глибокого розуміння невизначеностей, на яких будуть засновані сценарії. На етапі аналізу починається робота над проектуванням сценаріїв. Варіанти сценаріїв генеруються виходячи з подій, які можуть відбутися з найбільшою ймовірністю. Однак ключові невизначеності можуть бути вирішальними при розвитку подій. Для подолання невизначеностей в методі TAIDA використовується метод «сценарного хреста»; на рис.1.5. наведено «Сценарний хрест». У даному підході використовуються дві провідні невизначеності. Одна розташовується

по осі ординат, інша – по осі абсцис. У чотирьох областях, обмежених осями, формуються чотири сценарії .

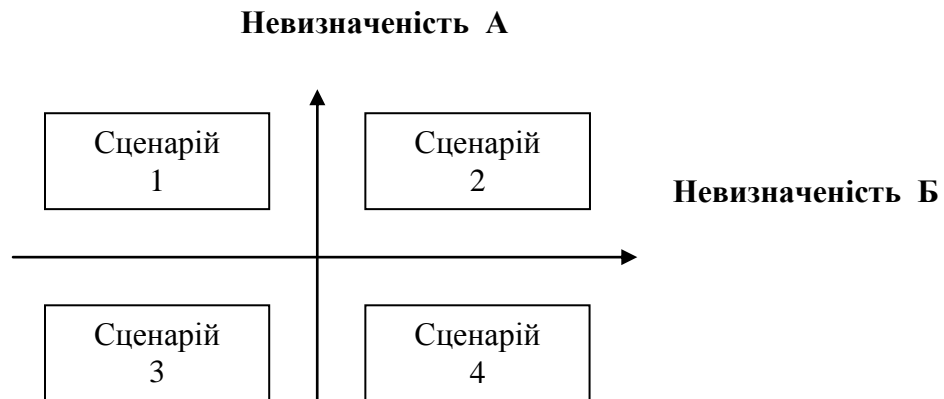


Рис.1.5 « Сценарний хрест», що складається з чотирьох різних сценаріїв, які базуються на двох невизначеностях

Основна складність полягає у виборі двох невизначеностей, які поєднуючись один з одним у «сценарному хресті», дадуть чотири суттєво різних сценарії.

На етапі створення образу створюються варіанти розвитку майбутніх подій. На етапі прийняття рішень всі попередні дії компонується в єдине ціле. На даному етапі формуються альтернативні варіанти сценаріїв і стратегій. Для створення стратегій використовують тренди, які були виділені на етапі спостереження. Далі виконується оцінювання стратегій. Оцінка стратегій може проводитися за допомогою різних методів аналізу [209]. На останньому етапі – етапі «Дії», починається реалізація перших етапів сценаріїв, і уточнюються та коригуються основні елементи сценаріїв.

Системна методологія технологічного передбачення в даний час – одна з найбільш розвинених методологій використання сценарного аналізу як методологічної основи рішення задач передбачення та прогнозування, розроблена в Інституті Прикладного Системного Аналізу Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут» під керівництвом Згуровського М.З. [113]. Значний внесок у розвиток теорії

технологічного передбачення та сценарного аналізу внесли такі вчені, як Панкратова Н.Д. [113] і Коваленко І.І. [126]. Системна методологія передбачення набуває провідну роль в інноваційному та соціально-економічному розвитку суспільства в різних областях людської діяльності. Технологічного передбачення як одному з головних інструментів прогнозування розвитку сучасного суспільства приділяють увагу в багатьох країнах. В даний час багато розвинених країн Європи реалізують значну кількість національних програм технологічного передбачення [186]. Системна методологія технологічного передбачення базується на використанні методів системного аналізу, математичного моделювання, експертного оцінювання та теорії прийняття рішень. Методологічною основою передбачення є сценарний аналіз який об'єднує групу різноманітних методів для побудови й аналізу сценаріїв. Ефективність методології підтверджена результатами багатьох досліджень та реалізованих проектів.

1.2.3. Аналіз існуючих методів інтелектуального планування

Більшість робіт з інтелектуального планування в області штучного інтелекту [45, 53, 219, 220, 233, 237, 238, 240, 241, 242, 250, 251, 252, 253, 287, 293, 317, 318] можна віднести до однієї з наступних груп:

- «класичне» планування;
- ієрархічне планування в мережі задач (*HTN*-планування);
- планування на основі теорії рішень;
- аналітичне планування;
- планування в умовах часових обмежень;
- планування на основі прецедентів.

Класичне планування [45] (*цілеспрямоване планування*) здійснює планування в середовищі $\langle V, R, A \rangle$, де V – множина об'єктів; R – множина відношень на V ; A – множина дій. Задача визначається парою $\langle M(S_0), M(S_G) \rangle$, де $M(S_0)$, $M(S_G)$ – відповідно, моделі *вихідної* і *цільової ситуацій*. Ситуації

зазвичай визначаються за допомогою пар $\langle V_i, R_i \rangle$ ($V_i \subseteq V; R_i \subseteq R$) і представляються множинами стверджуючих і заперечних літералів обчислення предикатів. В середовищі виконуються перетворення на множині ситуацій S такі, що $s_j = a_k(s_i)$, де $a_k \subseteq A; s_i, s_j \subseteq S$. Розв'язанням даної задачі буде така ситуаційна множина коли буде досягнутий цільовий стан S_G .

Ієрархічне мережеве планування (HTN) полягає у тому, що задачі високого рівня зводяться до примітивних задач. Ієрархічне мережеве планування (HTN) являє собою ієрархічну техніку планування, де дії діляться на різні рівні, або ієрархії. Існують різні типи дій, існуючі для цих ієрархій, однією з яких є високий рівень дії (*High Level Actions (HLA)*) [277,317]. Цими високорівневими діями можуть бути будь які дії, які можна розділити на дрібніші дії, так звані «уточнення». Всі ці уточнення можуть створювати послідовності дій або навіть інші HLA. Уточнення у свою чергу розбиті на реалізацію (так звані примітивні дії), які відносяться до будь-якої дії, яка не має подальших уточнень або реалізації. Основною перевагою планування HTN є здатність розмірковувати на більш високому рівні абстракції в порівнянні з класичним плануванням. У стандартному процесі HTN планування є можливість створення плану з використанням HLA, тільки без урахування реалізації плану заздалегідь, який дуже ефективний при розгляді обчислювальних аспектів. Це дозволяє за допомогою HTN планування обробляти великі обсяги інформації швидше, ніж за класичними методами пошуку. Крім того, ієрархічні плани, як правило, легкі для розуміння людей, за рахунок високого рівня абстракції. HTN планування може поєднуватися з плануванням або обробкою ресурсів для того, щоб придумати плани, які не тільки працюють, але є найбільш економічно ефективними для можливих конкретних задач. Загальним основним недоліком планування HTN є те, що метод вимагає детермінованого середовища планування і не можна працювати з невизначеними наслідками дій. Крім того, важко обчислювати точні

множини досяжності цілей, що призводить до розсіювання множин факторів, які впливають на процес планування.

Планування на основі теорії рішень [52,264]. Це тип планування, який спрямовано на дослідження шляхів досягнення бажаних послідовностей дій у процесі прийняття рішень. Дослідження проводились з використанням математичних моделей динамічного програмування, марковських процесів прийняття рішень і частково спостережуваних марковських процесів. Останнім часом зростає зацікавленість у використанні цих моделей для планування рішень в інтелектуальних системах

Аналітичне планування. Аналітичне планування включає в себе методи екстраполяції, оскільки вони пов'язані з виявленням тенденцій, що діяли у попередній період, факторів, що визначали розвиток цих тенденцій, і припущення стосовно того, що ці тенденції і фактори будуть діяти і в запланований період [189]. Оскільки центральним моментом аналітичного планування є аналіз змісту та підсумків попереднього періоду, іноді його називають також плануванням «від досягнутого рівня». Залежно від конкретних технологій аналітичного планування визначається дві основні групи: інтуїтивні та формалізовані методи. Формалізовані методики спираються на використання інструктивних документів, математичного прогнозування та моделювання (експоненціального і адаптивного згладжування, найменших квадратів і т. ін. За своїм змістом аналітичне планування фактично збігається з методами прогнозування. Відмінність полягає тільки у ступені директивності прийнятих рішень за підсумками розробки. Можливості аналітичного планування обмежені. По-перше, його результати вирішальним чином залежать від глибини і достовірності проведеного аналізу, що, в свою чергу, визначається адекватністю використовуваної методики цілям планування і найголовніше – повнотою і достовірністю використовуваної інформації. По-друге, його головним недоліком є його головна особливість – опора виключно на попередній досвід.

Планування на основі часових обмежень [45,222,293,297,305,315].

Процес планування на основі часових обмежень має наступні особливості:

- головні об'єкти планування час і ресурси;
- задачі планування завжди включають оптимізаційні підзадачі;
- ці задачі планування включають невелику фіксовану множину операцій вибору дій і вимагають значних зусиль для їх впорядкування.

Найбільш відомий підхід для розв'язання задач полягає у їх представленні у вигляді задач врахування обмежень із застосуванням загальних методів їх розв'язання. Формально задачі врахування обмежень описуються множиною рішень і множиною обмежень на комбінації рішень. Рішення можуть бути представлені в термінах змінних, кожній з яких може бути присвоєне значення з області її визначення. Обмеження описуються в термінах відношень, що встановлюють які з комбінацій значень змінних є істинними.

Майже для будь-якої задачі планування з часовими обмеженнями результуючий пошуковий простір є значно меншим, ніж при першому підході. Представлення на основі упорядкування задач також не залежить від часової дискретизації. При цьому представленні, впорядкування задач виконується до тих пір, поки система може гарантувати, що ресурси не вичерпані. Однак, коли ресурсні величини стають складнішими, їх верифікація стає також складнішою.

Планування на основі прецедентів (case-based planning, CBP) — це повторне використання знань про попередні епізоди планування для вирішення нових задач [239, 249]. В застосуванні такого підходу існує багато позитивних моментів. По-перше, використання попереднього досвіду може підвищити ефективність планувальника. Крім того, можливість запам'ятовування невдалих рішень нарівні з успішними дозволяє уникнути потенційних проблем в майбутньому. По-друге, використання прецедентної інформації може забезпечити більш високу якість рішень в силу того, що прецедент описує те, що дійсно колись мало місце, а не просто якесь

гіпотетично можливе рішення. По-третє, коли будова предметної області недостатньо зрозуміла або її опис неповний, використання звичайних методів планування стає неможливим. Однак СВР дозволяє вирішувати деякі задачі і в такій ситуації.

Структура прецедента

В плануванні прецедент типово включає в себе:

- постановку задачі (початковий стан і мету);
- опис способу вирішення завдання (шлях виводу) або опис самого рішення (план);
- а також, можливо, опис проблем, з якими планувальник або виконавець плану може зіткнутися при використанні цього прецеденту.

Постановка завдання може бути виражена різними способами: від множини фактів і множини атомарних підцілей, до складної реляційної структури (relational representation), що спирається, можливо, на модель предметної області. Рішення задачі може зберігатися у вигляді плану або способу побудови цього плану – послідовності прийнятих в процесі планування рішень, таких як вибір дії, вибір значення змінної і так далі.

У бібліотеці прецеденти можуть зберігатися або як конкретні приклади, або в узагальненому вигляді. Узагальнення може стосуватися як опису завдання, так і опису рішення (представленого у вигляді плану). Зберігання конкретних прикладів приваблює тим, що ніяка інформація не втрачається. Але при цьому бібліотека стає громіздкою і сповільнюється пошук відповідного прецеденту. З іншого боку, узагальнення хоч і економить пам'ять, але при цьому відбувається втрата інформації і ускладнюється збереження нових рішень. Крім того, прецеденти можуть зберігатися або як окремі одиниці досвіду, або розділятися на частини всередині бібліотеки. У першому випадку, кожен епізод планування призводить до появи окремого цілісного опису для цього епізоду. У другому – зберігаються рішення підзадач вихідної задачі. У результаті в бібліотеку потрапляє відразу множна рішень для різних завдань, що дає їм більший шанс на повторне використання.

Рішення вихідної задачі цілком може і не зберігатися або зберігатися, але з поданням плану у вигляді множини посилань на отримані рішення підзадач.

Планування розвитку ситуацій. [180,181]. Це тип планування, який заснований на ситуаційному моделюванні, досліджує шляхи досягнення бажаних послідовностей ситуацій у процесі досягнення поставлених цілей. Формування базових параметрів ситуаційної моделі здійснюється на основі логіки предикатів першого порядку. Всі поняття ситуаційної моделі визначаються на основі термів, атомів, функцій і формул логіки предикатів. Для вирішення конкретної задачі планування розробляється ситуаційне числення. Ситуаційне числення розглядається як логічна мова, яка декларує ключові поняття предметної області. Відомо ряд робіт в яких моделюються динамічні середовища для вирішення прикладних задач.[185] Розвитку підходу заважає наявність великої кількості невизначеностей при дослідженні розвитку ситуацій і неможливість їх врахування в ситуаційному численні, а також те, що для конкретної задачі необхідно розроблять окреме ситуаційне числення.

1.2.4 Аналіз існуючих інформаційних систем планування

Кожен з типів планування підтримується інформаційними системами, які розроблені для реалізації методів і алгоритмів певної технології планування. В табл.1.1 представлені головні типи планування та інформаційні системи, які підтримують певний тип планування [45]

Таблиця 1.1

№	Тип планування	Назва типу методології	Інформаційні систем, що реалізують методологію
1	Цілеспрямоване планування.	STRIPS	Strips[243], Warplan [313], Interplan [309].
2	Частково-упорядкуюче	NOAH	Noah [300], Nonlin [310], Tweak [231], Uspor [294]

	планування. Цілеспрямоване планування.		
3	Плануючий граф. Частково- упорядкуюче планування. Цілеспрямоване планування.	GRAPHPLAN	Graphplan, Ipp [221, 271], Graphplan [221, 316]
4	Ієрархічне планування задоволення обмежень.	O – PLAN	O–Plan [223], Planers-1 [245], Optimum.Aiv [217]
5	Планування на основі часових обмежень. Частково- упорядкуюче планування.	DEVISER	Deviser [312], Ixtet [248], Deskarte [262]
6	Планування на основі часових обмежень. Частково- упорядкуюче планування. Лінійне програмування.	ZENO	Zeno [292]
7	ПЗ-планування. Лінійне програмування.	LPSAT	Lpsat [320], Satplan [314,315], Maxplan [282]
8	Марковські процеси. Динамічне програмування. Плануючий граф.	PGRAPHPLAN	Pgraphplan [229], Tgraphplan [229], Spi [282,283]
9	Ситуаційне моделювання. Планування розвитку ситуацій	ROBOCUP	Robocup [146], Copycat [146]

1.3 Аналіз типів невизначеностей в задачах планування

Невизначеності, мають місце при будь-яких видах планування, обумовлені тим, що складні системи у процесі свого функціонування залежать від цілого ряду причин, які можливо представити у вигляді схеми невизначеностей [14]. За часом виникнення невизначеності поділяються на минулі, поточні та майбутні. Облік фактора часу при оцінці ефективності прийнятих рішень в задачах динамічного планування обумовлено тим, що як ефект, так і витрати можуть бути розподілені в часі. Рівні за величиною витрати, по-різному розподілені в часі, забезпечують неоднаковий корисний результат того чи іншого виду (економічний, політичний і т. ін.). Невизначеності поділяються на **економічні** та **політичні**.

Економічні невизначеності обумовлені змінами в економіці країни, до них відносяться: невизначеність попиту, слабка прогнозуємість ринкових цін, невизначеність окремих параметрів ринку. *Політичні* невизначеності обумовлені зміною політичної обстановки, що впливають на систему або процес.

Природна невизначеність описується певними параметрами, серед яких можуть бути: кліматичні, погодні умови, різного роду перешкоди (атмосферні, електромагнітні та інші). Наступним видом невизначеності є невизначеність зовнішнього середовища, яка має соціальний, демографічний, політичний, економічний і інший характер.

В задачах динамічного планування невизначеності пов'язані із ризиком. В табл. 2 представлені типи невизначеності і їх зв'язок з ризиком.

Таблиця 1.2

№	Тип невизначеності	Опис невизначеності	Джерела невизначеності	Ризики пов'язані з невизначеністю
	Перспективна	Система досліджена не до кінця, можливе появлення	Складність системи. неможливість отримання всієї інформації.	Ризик значного відхилення значень ключових параметрів від

		невдомих факторів	Непередбачувані зовнішні впливи.	запланованих, з негативними наслідками
	Ретроспективна	Повна або часткова відсутність інформації про поведінку системи в минулому	Низька ефективність обробки інформації про систему. Втрата інформації	Ризик коливань параметрів системи (процесу). Значні часові відхилення.
	Технічна	Недостатня точність інструментів аналізу	Неефективність методів прогнозування. Суб'єктивність ОПР	Технічні ризики. Неточність оцінювання.
	Ситуаційна	Ймовірність повної або часткової зміни Ситуації	Складність системи. неможливість передбачення змін. Непередбачувані зовнішні впливи.	Ймовірнісні ризики. Ризик значного відхилення значень ключових параметрів від запланованих
	Стохастична	Ймовірнісний характер процесів, що досліджуються	Стохастичні параметри системи або процесів	Наявність стохастики у поведінці системи
	Невизначеність стану природи	Повне або часткове незнання природних умов при прийнятті рішень	Неможливість контролювати процеси природного середовища	Екологічні та технологічні ризики
	Невизначеність Цілеспрямованої протидії	При двосторонній взаємодії повна або часткова відсутність інформації про наміри сторін	Різні цілі учасників. Активна і пасивна протидія	Різні типи ризиків (економічні, екологічні, технічні, політичні)
	Невизначеність цілей	Необхідність врахування декількох	Наявність багатьох учасників, які мають різні цілі.	Ризик зниження ефективності процесу.

		цілей, у тому числі протилежних	Багатокритеріальність	Ризик недосягнення цілей
	Невизначеність структури	Невизначеність складу елементів	Складність системи або процесу. Багатоваріантність	Ризик неточного планування. Ризик негативних наслідків
	Невизначеність критеріїв	Невизначеність критеріїв по яким приймається рішення	Неефективність системи обробки інформації. Суб'єктивність ОПР	Ризик неточного оцінювання параметрів системи (процесу). Ризик негативних наслідків

1.4 Сучасні методи аналізу і оцінки ризиків

Ризики притаманні будь-якій діяльності, а з розвитком наукової та технологічної сфер кількість наявних та потенційних ризиків значно зростає. Сьогодні процес управління ризиками розглядається як ключовий напрям прикладного менеджменту, значна увага приділяється вивченню ризикових сфер і основних видів ризиків, пошуку ефективних методів їх оцінювання, контролю та моніторингу, а також створенню відповідних систем ризик-менеджменту.

Аналіз ризиків в різних прикладних задачах – дуже широка та швидко зростаюча галузь досліджень. Ефективність вирішення будь якої проблеми головним чином залежить від правильності й обґрунтованості прийняття рішень на всіх етапах вирішення задач і, незалежно від складності задач, які вирішуються, що у свою чергу неможливе без урахування ризиків. Для управління будь яким процесом, чи для вирішення задач планування потрібно вміти аналізувати ризик, оцінювати його ступінь, передбачати наслідки від прийнятого рішення і не виходити за допустимі межі ризику. Тобто для ефективного вирішення задач динамічного планування необхідно виявляти ризик, передбачати його, прагнути знизити його до якомога нижчого рівня.

Класичне означення ризику наведено в роботі Ф. Найта [163]. Згідно з цим означенням, ситуації, які пов'язані з ризиком, характеризуються відомими ймовірностями, при цьому ризик визначається як будь-які непередбачувані зміни стану системи. При побудові математичних моделей будь-якого процесу, або системи завжди виникає необхідність оцінки можливостей і наслідків зміни станів в процесі або системі, які моделюються. Тому термін ризик має інтегрований характер. Існування ризику в системах безпосередньо пов'язано з невизначеністю. Невизначеність неоднорідна за формою та за складом. Ф. Найт будує процес прийняття рішень на об'єднанні понять ризику та невизначеностей [163].

В роботі [149] автори визначають ризик як математичне очікування втрат через вибір того чи іншого рішення. В [261] дається наступне означення ризику: «Ризик – це ймовірність виникнення збитків, або недоотримання доходів порівняно з прогнозованим варіантом». В роботі [26] дано таке означення: «Під ризиком прийнято визначати ймовірність втрати підприємством частини своїх ресурсів». У великій кількості робіт для більш повної характеристики ризику автори вводять і аналізують поняття «ситуація ризику».

В багатьох роботах пропонується оцінювати ризик як «ймовірність помилки або успіху того чи іншого вибору в ситуації з кількома альтернативами».

У роботах [144,149] розглянуто створення загальної теорії ризиків. У роботах [113,192] розглянуто поняття багатофакторних ризиків.

Аналіз багатьох визначень ризику дозволяє виділити головні особливості, які є характерними для ситуації ризику:

- випадковий характер події, що визначає, який з можливих результатів буде реалізовано (наявність невизначеності);
- наявність альтернативних рішень;
- відомі ймовірності результатів, або їх можливо обчислити;
- ймовірність виникнення збитків;

- ймовірність оцінювання наслідків діяльності.

У загальному випадку ризиком називають невизначеність щодо здійснення тієї чи іншої події в майбутньому [144]. *Ризик* — це ймовірність того, що очікувана подія не відбудеться або відбудеться з певними відхиленнями, що зрештою, призведе до небажаних наслідків [167].

Найбільш повно відображає поняття ризик таке означення [144]: «Ризик – це діяльність, пов’язана з подоланням невизначеності в ситуації вибору, в процесі якої існує можливість кількісно та якісно оцінити ймовірність досягнення прогнозованого результату або відхилення від цілі».

Кількісна оцінка ступеня ризику, а також можливість побудови довірчих інтервалів по відомій ймовірності дозволяє з більшою надійністю впливати на досліджуваний процес з метою зниження ризику [192].

Основною причиною виникнення ризиків є невизначеність середовища, що, у свою чергу, зумовлено такими чинниками, як брак повної та достовірної інформації про зовнішнє середовище; обмеженість можливостей щодо сприйняття та опрацювання інформації про процес або систему; випадковість появи несприятливих подій у процесі здійснення діяльності, або плануванні; свідомо протидія учасників процесу, зокрема конкурентів; виникнення конфліктів; порушення договірних зобов’язань; політичні рішення, які істотно впливають на економіку тощо.

Потреба в оцінці ризику при вирішенні різноманітних задач виникає постійно. Розрізняють два типи оцінки ризиків: «суб’єктивна» оцінка, це оцінка ризику типу «великий», «середній», «малий». Ця оцінка ризику впливає на суб’єктивні рішення, які приймаються. Існує також «технічна» оцінка ризиків, яка використовується в інформаційних системах для більш детального оцінювання ризиків, наприклад: в економічних, страхових, екологічних, та ін.

З погляду джерел виникнення ризику поділяються на *зовнішні* (ендогенні) і *внутрішні* (екзогенні)[149].

До зовнішніх належать ризики, які виникають у зовнішньому середовищі і безпосередньо не залежать від його діяльності. Це можуть бути: політичні, правові, соціальні та загальноекономічні ризики, ризики природного характеру, неадекватного правового регулювання тощо.

Серед зовнішніх ризиків виділяють п'ять основних груп:

- *ризик форс-мажорних обставин* – виникнення непередбачених обставин, які негативно впливають на діяльність будь якого підприємства, чи установи;
- *ризик країни* – можливість настання несприятливих для діяльності умов у політичній, правовій чи економічній сфері країни, де реалізує свою діяльність підприємство, чи установа;
- *зовнішньо - політичний ризик* – імовірність зміни міжнародних відносин, а також політичної ситуації в одній із країн, які впливають на діяльність підприємства чи установи (війни, міжнародні скандали, закриття кордонів тощо);
- *правовий ризик* – імовірність настання несприятливої ситуації, пов'язаної зі змінами законодавства різних країн;
- *макроекономічний ризик* – імовірність несприятливих змін кон'юнктури на окремих ринках або економічній ситуації в цілому (економічна криза).

До внутрішніх належать ризики, які виникають безпосередньо у зв'язку з діяльністю конкретної системи. Порівняно із зовнішніми внутрішні ризики краще визначаються та обробляються.

Згідно з прийнятою класифікацією серед внутрішніх ризиків визначають декілька категорій ризиків:

До першої групи віднесено квантифіковані ризики, тобто ризики які піддаються кількісній оцінці. Другу групу складають ризики, які не оцінюються кількісно (неквантифіковані). Це такі ризики: юридичний, стратегічний та ризик репутації [144].

До першої групи віднесено чотири категорії ризику: це *Кредитний ризик* – це наявний чи потенційний ризик для надходжень чи капіталу, який виникає через неспроможність сторони, що взяла на себе зобов'язання,

виконати умови фінансової угоди або взяті на себе зобов'язання. *Ризик ліквідності* – це наявний чи потенційний ризик для надходжень чи капіталу, який виникає через неспроможність підприємства виконати свої зобов'язання в належні строки, не зазнавши при цьому неприйнятних втрат. *Ринковий ризик* – це ризик, пов'язаний з можливою зміною дохідності чи вартості активів та зобов'язань установи або підприємства внаслідок зміни ринкової кон'юнктури. *Операційно-технологічний ризик* – це ризик який характеризує загрозу існування установи, через різні причини.

В роботі [103] розглядаються багатофакторні ризики та питання керування ними.

Динамічне планування відбувається в умовах невизначеності, яка породжується зовнішнім середовищем. Невизначеність, під якою визначається відсутність повної та достовірної інформації, та яка використовується при складанні та реалізації плану. За ознакою невизначеності, всі планові рішення поділяються на три групи:

- прийняті в умовах визначеності;
- прийняті в умовах ймовірнісної визначеності (засновані на ризику);
- прийняті в умовах повної невизначеності (ненадійні).

Планування в умовах визначеності здійснюється при наявності повної і достовірної інформації про стан внутрішнього і зовнішнього середовища, проблемних ситуаціях, що відображаються у плані, цілях, обмеженнях і наслідках реалізації планованих рішень. Для даного класу задач цілі та обмеження формально визначаються у вигляді цільових функцій і нерівностей. Функція уподобання в разі однієї мети збігається з цільовою функцією, а в разі множини цілей – з функціональною залежністю цільових функцій. Таке рішення не містить у собі ризику, але, область його прийняття дуже обмежена. Рішення в умовах повної інформаційної визначеності найчастіше приймаються в оперативно-календарному плануванні.

Для більшості завдань динамічного планування характерна неповнота та невизначеність інформації, яка не дозволяє побудувати моделі для їх

вирішення. Тому фактори ризику і невизначеності підлягають обліку та оцінці в при побудові динамічного плану, або при побудові окремих його етапів.

Врахування всіх типів ризиків і невизначеностей є головною задачею динамічного планування. Від якості вирішення цієї задачі залежить ефективність вирішення завдань динамічного планування в цілому.

1.5 Багатокритеріальні та багатоцільові методи аналізу та прийняття рішень

Прийняття рішень в задачах динамічного планування є одним з головних процесів. Вивченню особливостей та методів вирішення багатокритеріальних та багатоцільових задач прийняття рішень присвячено багато наукових робіт [10,12,15,24,30,34,43,47,98,105,106,112,121,123,127,130,135,137,145,157,160,166,168,178,188,197,206,207,211,215]. Ці питання також розглядаються в багатьох роботах із теорії ігор, математичної економіки, теорії статистичних рішень, дослідження операцій, теорії оптимального управління та в інших дисциплінах, в яких вивчаються багатокритеріальні моделі прийняття рішень. Як показують численні роботи з області розв'язання задач, прийняття рішень застосування традиційних методів оптимізації не завжди дозволяє досягнути бажаного результату за належний час, для цього потрібні значні обчислювальні ресурси. Тому останнім часом все більше уваги присвячується новим напрямкам в області вирішення складних задач прийняття рішень, які б дозволили уникнути основних недоліків класичних методів.

Фактично задача динамічного планування представляє собою багатоцільову задачу. Багатоцільові задачі оптимізації та прийняття рішень зустрічаються в різних областях: виробництві, в процесах проектування, фінансування, керування рухомими об'єктами, нафтової та газової промисловості, автомобільного дизайну, або там, де оптимальні рішення мають бути прийняті у присутності компромісів між двома або більш

суперечливими цілями. Максимізація прибутку та мінімізація витрат на продукт; максимальна продуктивність та мінімізація витрат палива транспортних засобів є прикладами багатьох об'єктивних проблем оптимізації. Якщо багатоцільове рішення добре сформоване, не повинно бути єдиного рішення, що одночасно мінімізує повноту кожної цілі. Рішення шукається таке, для якого кожна ціль буде оптимізована і якщо ми намагаємося оптимізувати його далі, то у результаті цього постраждають інші цілі. Знаходження такого рішення є метою при створенні та рішенні багатоцільових задач оптимізації та прийняття рішень.

У математичному вираженні багатоцільова постановка задачі може бути представлена як:

$$\min_x [\mu_1(x), \mu_2(x), \dots, \mu_n(x)] \quad (1)$$

де μ_i є i -ю цільовою функцією, g і h обмеження, відповідно; X – вектор оптимізації або змінних рішення. Рішенням зазначеної задачі є набір точок з множини Парето, для яких поліпшення однієї цілі може відбуватися тільки з погіршенням принаймні однієї іншої цілі. Таким чином, замість того щоб знайти єдине рішення проблеми (яке зазвичай має місце у традиційному математичному програмуванні), рішенням багатоцільової проблеми є (можливо, нескінченна) множина точок Парето. Цей підхід є основою багатьох відомих багатоцільових методів. Для вирішення багатокритеріальних і багатоцільових задач повинні виконуватись певні умови. А саме, повинна існувати можливість змінювати у визначених межах незалежні змінні, які впливають на критерії якості. Будь-яка незалежна змінна величина, яку можна змінювати в деяких межах та яка певним чином впливає на всі критерії якості чи тільки на деякі з них, прийнято називати керуючою змінною. Сукупність всіх керуючих змінних можна розглядати як вектор управління.

Простір цілей – це простір, координатами якого є значення всіх цілей. Областю визначення цілей називається множина точок з простору цілей, де лежать всі можливі значення векторів цілі. Залежність критеріїв якості від

керуючих змінних являє собою деяке відображення простору управління на простір цілей.

Рішення, які приймаються при неповній інформації і змінних умовах, часто потребують аналітичного підходу, тобто систематичної оцінки можливих альтернатив і відповідних результатів, а потім вибору однієї з них. Відомий цілий ряд аналітичних моделей прийняття рішень. Найбільш широко вживаною є модель максимізації корисності. При вирішенні деяких задач планування використовується також програмно-цільовий підхід, розроблений В.М. Глушковым [54, 56], Г.С. Поспеловим, [179]. Основою її є реальні процеси прийняття планових рішень.

В даний час існує декілька основних підходів до вирішення багатокритеріальних і багатоцільових задач оптимізації та прийняття рішень. Визначимо головні з них.

1. Зведення багатокритеріальної задачі вибору до скалярної оптимізації за допомогою згортки векторного критерію (Гермейер Ю. Б. [48], Евланов Л.Г. [105], Краснощеков П. С. [132], Штойер Р. [214],)
2. Підхід на основі застосування теорії корисності для багатокритеріального вибору альтернатив з дискретної множини в умовах ризику і невизначеності (Кіні Р. Л. , Райфа Х. [123], Борисов А. Н. [33,34]).
3. Підхід на основі абстрактної моделі вибору багатошкальних екстремальних механізмів, що дозволяють здійснювати раціональний вибір по векторному критерію (Айзерман М. А. [4], Емельянов С. В. [106], Березовский Б. А. [17] та ін.).
4. Підхід на основі деякої системи вимог, що пред'являється до оптимального рішення, формалізованого у вигляді множини аксіом, виводиться схема багатокритеріального вибору як наслідок цієї системи аксіом (Поудиновский В. В. [178], Вілкас Э. И. [43] та ін.).
5. Розробка людино-машинних процедур вирішення багатокритеріальних задач оптимізації в інтерактивному режимі (Емельянов В. Л. [106],

Штойер Р. [214]).

6. Побудова області компромісів та відповідної їй множини Парето-оптимальних рішень для деяких класів багатокритеріальних задач оптимізації (Поудиновский В. В. [178], Ларичев О. И. [137,138]).

Вирішення багатокритеріальних завдань прийняття рішень є невід'ємною частиною динамічного планування. Для вирішення проблем динамічного планування, необхідно розробити інформаційні технології використання методів прийняття рішень, які б максимально ефективно вирішували завдання планування в умовах невизначеностей, ризиків і часових обмежень.

1.6 Змістовний аналіз проблеми досліджень

Як показано в попередніх розділах, існуючі методи і технології динамічного планування не позбавлені певних недоліків, що дозволяє говорити про можливість поліпшення їх роботи, створення нових методів і алгоритмів. У розділі 1.2 – 1.3 проаналізовано стан досліджень в області вирішення задач динамічного планування, показані певні напрямки досліджень по створенню інформаційних технологій динамічного планування і прийняття рішень. У цілому аналіз технологій динамічного планування і прийняття рішень показав наявність наступних невирішених проблем:

1. Відсутність загальної теорії та методології вирішення задач динамічного планування і прийняття рішень з врахуванням невизначеностей та ризиків різного типу.

2. Відсутність теоретичного опису побудови (синтезу) структурних елементів динамічних планів з врахуванням невизначеностей і ризиків зовнішнього середовища.

3. Відсутність методу аналізу інформації в якому враховуються зміни інформації в зовнішньому середовищі.

4. Розробка адекватних методів та інформаційних технологій моделювання різних, складних видів знань і процесів, необхідних на різних етапах побудови динамічного плану.

4. Розробка адаптивних методів та інформаційних технологій прогнозування, необхідних для побудови ефективного динамічного плану та прийняття рішень.

5. Відсутність методу створення інформаційних технологій інтеграції та комбінованого використання методів аналізу даних, методів моделювання, методів прийняття рішень, методів прогнозування для побудови динамічних планів.

6. Розробка інформаційно-аналітичних систем для вирішення задач динамічного планування і прийняття рішень з врахуванням різнотипних невизначеностей і ризиків з адаптацією до змін зовнішнього навколишнього середовища.

Таким чином, проблема ефективного вирішення задач динамічного планування і прийняття рішень, як нового інструмента сучасних інформаційних технологій планування і прогнозування та недостатній рівень наукового і методологічного дослідження цих питань, робить актуальним виконання дисертаційного дослідження і визначає тему та напрям даної дисертаційної роботи.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ І МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДИНАМІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ

Основні результати досліджень, які представлені у даному розділі, ґрунтуються на аналізі методів та інформаційних технологій, наведених у попередньому розділі, та є теоретичним підґрунтям для побудови сучасних інформаційних технологій динамічного планування.

При побудові динамічного плану та при вирішенні завдань динамічного планування головною процедурою є процедура вибору. Проводиться вибір задач динамічного планування, вибір цілей, вибір методів розв'язання задач, вибір структури динамічного плану та ін. Динамічний план є оптимальним, якщо загальна ефективність його максимальна.

Головними елементами динамічного плану є його структура, яка складається з етапів та часових обмежень, цілі або цілей, параметрів та критеріїв ефективності. Взаємозв'язок елементів динамічного плану може визначатись ієрархічними відношеннями, відношеннями спільної дії, участю в процесі обробки інформації. Структура динамічного плану представляється як сукупність взаємопов'язаних етапів плану, на яких вирішуються окремі задачі, та які, в свою чергу, можуть бути розбиті на множини окремих підзадач, операцій та процедур. Послідовність етапів динамічного плану визначається часом, невизначеностями та мірою ризику, які можуть впливати на досягнення цілей планування. При аналізі ключових параметрів плану та ключових невизначеностей і ризиків, можуть бути отримані відповідні характеристики етапів плану, вибрані відповідні методи розв'язання задач та проведена оцінка ефективності динамічного плану.

При формалізації зв'язків між етапами динамічного плану та задачами, які вирішуються на кожному етапі, важливо враховувати зв'язки, які відображають порядок та послідовність етапів плану в часі, та інформаційні

зв'язки, які характеризують об'єм інформації, яка передається між етапами плану та основними задачами, які вирішуються на етапі планування.

При визначенні часових та інформаційних зв'язків вони можуть бути представлені у вигляді потоків. Для представлення моделі динамічного плану та часових інформаційних зв'язків необхідно використовувати моделі на основі теорії графів. Взаємний зв'язок між задачами задається у вигляді керуючого оператора, який визначає, залежно від моментів виконання попередніх операцій, моменти для наступних.

Таким чином, задача побудови структури динамічного плану полягає у відображенні відповідним чином згрупованих задач за визначеними етапами плану із врахуванням невизначеностей і ризиків, які існують при досягненні цілей планування і враховуючи які досягається необхідна якість планування за умови виконанні заданих обмежень.

В даному розділі розглядаються постановка загальних задач динамічного планування, моделі та методи формалізації цих задач, моделі вибору та побудова на їх основі теоретичних основ сучасних інформаційних технологій динамічного планування.

2.1 Основні етапи і задачі динамічного планування

Побудова динамічного плану включає в себе такі елементи: визначення цілей динамічного плану, визначення часових обмежень на планування, вибір структури плану (визначення етапів), вибір структури кожного етапу плану, оцінювання невизначеностей та ризиків на кожному етапі планування, встановлення методів розв'язання основних задач планування, побудова моделей планів, оцінювання прогнозів і прийняття рішень, а також оцінювання ефективності побудованого плану.

Постановка задач динамічного планування може розрізнятися за наступними ознаками: наявність зв'язків між задачами, тип плану який будується (оперативний або достроковий), наявності невизначеностей різного типу та ризиків, типом цільових функцій та обмежень.

При побудові динамічного плану на різних етапах виникає необхідність розв'язання таких головних задач:

1. Задачі аналізу інформації. На цьому етапі аналізується інформація та визначаються цілі побудови плану (головні та допоміжні), та виконується їх ранжирування.
2. Задачі побудови структури динамічного плану (складу і кількості етапів). Окрім того детально визначаються можливі варіанти плану їх структура та часові обмеження для плану.
3. Задачі визначення та врахування невизначеностей та ризиків.
4. Задачі моделювання динамічного плану. Моделюються структура і параметри плану.
5. Прогнозування головних показників планування.
6. Прийняття рішень та вибір оптимального варіанту плану із врахуванням всіх критеріїв та оцінювання ефективності плану.

Загальна послідовність задач і етапів процесу динамічного планування представлена на рис. 2.1. На початкових етапах побудови динамічного плану визначаються цілі побудови плану та часові обмеження на весь план в цілому.

На наступному етапі вирішуються задачі побудови структури плану за допомогою теоретико-графових моделей, визначаються часові обмеження для окремих варіантів плану. Вершини в моделях – це етапи плану, ребра – це зв'язки часового, логічного та інформаційного типу. Можлива побудова альтернативних варіантів плану та вибір за критеріями.

В процесі синтезу структури динамічного плану виділяється і оптимізується структура плану. Можливі різні підходи до визначення і оптимізації побудови структур динамічного плану: 1) динамічне планування проводиться на основі аналізу задач, які виконуються, або плануються на етапах плану, виходячи з цього визначаються конкретні етапи плану; 2) план розробляється заздалегідь, структура плану корегується стосовно

розв'язання конкретних задач; 3) визначаються проміжні цілі і структура

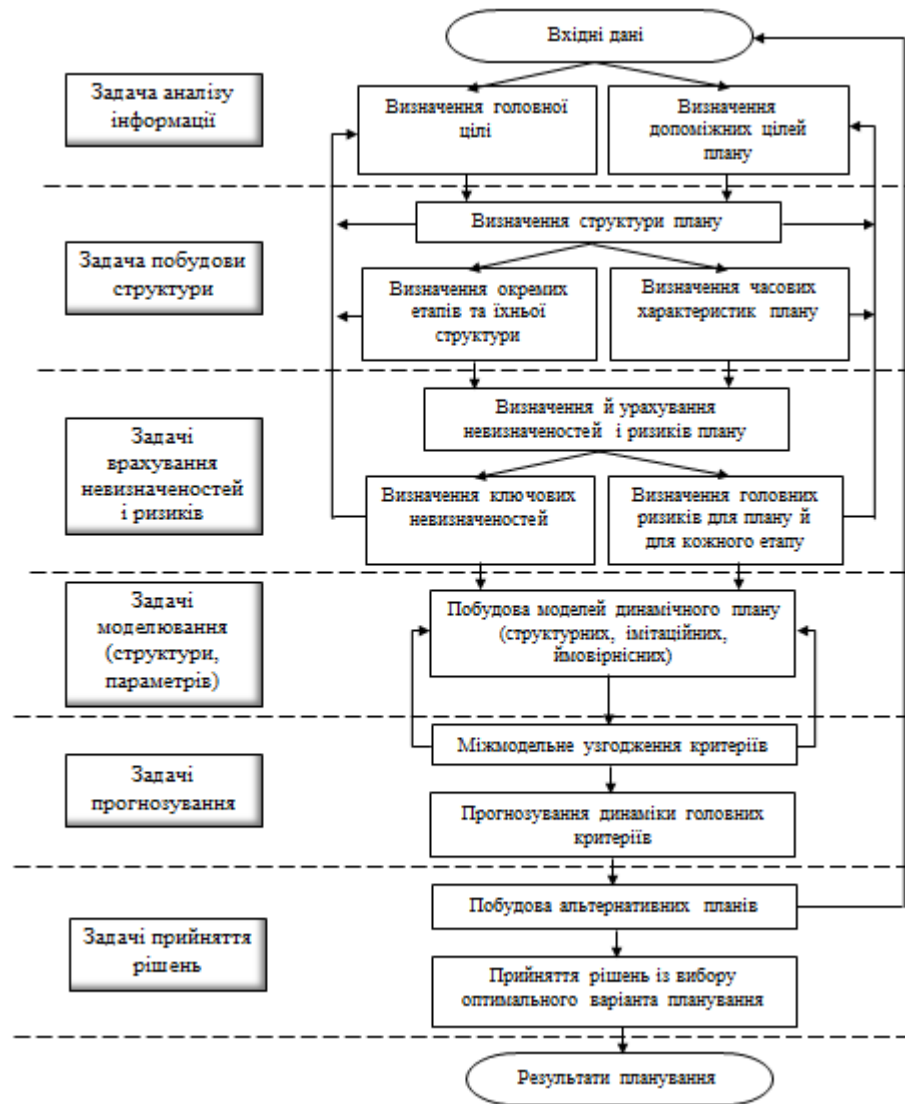


Рис.2.1 Загальна послідовність етапів і задач процесу динамічного планування

плану будується відповідно досягнення цих цілей. Підходи і методи синтезу структури динамічного плану дозволяють формалізувати вибір оптимального варіанту структури плану для розглянутих вище варіантів. Основна увага приділена розподілу задач за етапами плану та побудові динамічного плану для окремого етапу при заданому розподілі завдань за етапами плану.

На третьому етапі визначаються ключові невизначеності та ризики для реалізації плану в цілому та для його окремих етапів. Здійснюється вибір методів їх подолання.

На четвертому етапі плану визначаються головні критерії та параметри планів, їх причинно-наслідкові властивості, а також здійснюється прогнозування з метою дослідження динамічних властивостей плану.

На наступному етапі здійснюється моделювання альтернативних варіантів плану та його елементів з метою уточнення окремих параметрів і показників плану.

На шостому етапі відбувається вибір оптимального варіанту плану за допомогою методів прийняття рішень. Також на останньому етапі відбувається оцінювання ефективності плану і вибір остаточного варіанту плану.

Таким чином, під процедурою побудови динамічного плану визначається процес послідовного вирішення взаємопов'язаних задач динамічного планування та вибору найкращого варіанту плану за заданими критеріями.

2.2 Головні аспекти побудови інформаційних технологій динамічного планування

В результаті аналізу різних методологій побудови динамічних планів і різних динамічних планів були виділені основні аспекти застосування інформаційних технологій для розв'язання задач динамічного планування: Системний аналіз прикладної задачі планування та аналіз вхідних даних для точного визначення цілей планування.

- Побудова інформаційних та математичних моделей для створення структур динамічних планів, оцінювання невизначеностей та ризиків.
- Побудова функцій прогнозування.
- Вирішення задач прийняття рішень на основі мультимодельного і багатокритеріального підходу.
- Багатокритеріальне оцінювання при побудові динамічних планів на етапі створення і в процесі реалізації.

- Створення інформаційно-аналітичних систем для розв'язання задач динамічного планування.

На рис. 2.2 представлена структура обробки інформації при вирішенні задач динамічного планування. Як видно з рисунка, інформація обробляється групами експертів, аналітиків та ОПР.

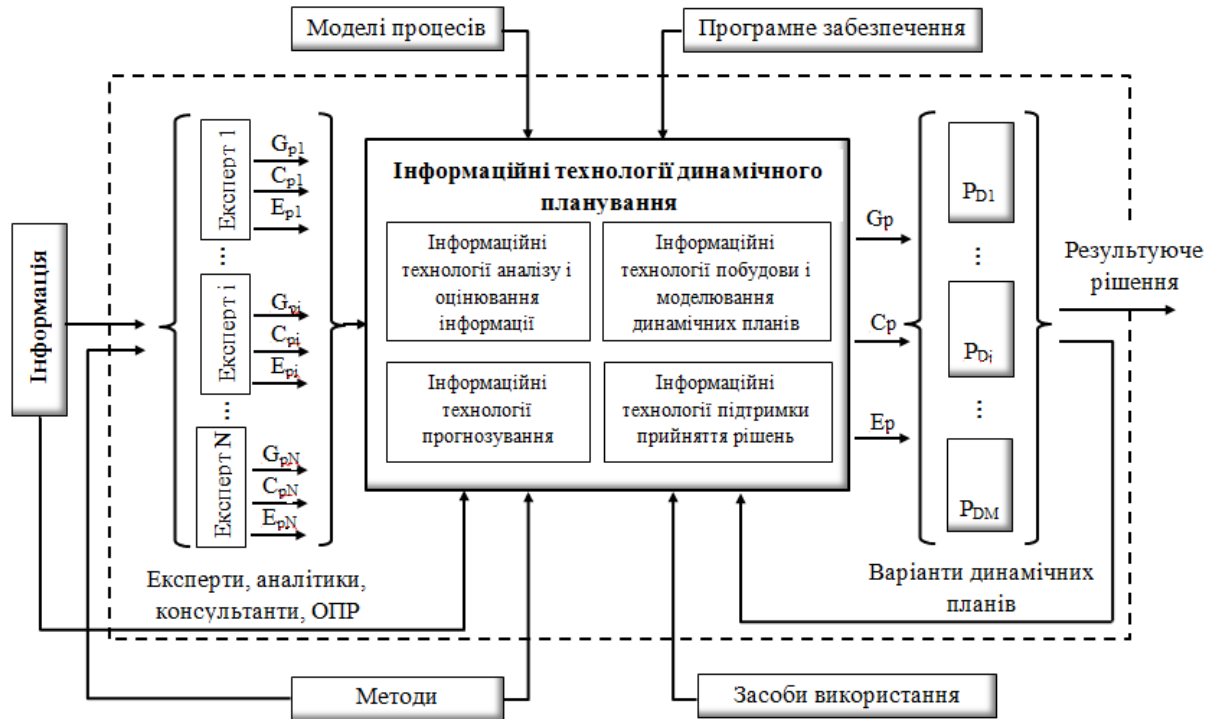


Рис. 2.2 Структура обробки інформації при розв'язанні задач динамічного планування

Для обробки інформації використовуються ймовірно-статистичні методи аналізу даних та експертне оцінювання. Цей етап здійснюється за допомогою інформаційних технологій аналізу і оцінювання даних. А на наступному етапі будуються моделі динамічного плану за допомогою інформаційних технологій побудови і моделювання динамічних планів. Далі прогнозуються головні показники планування та приймається рішення по вибору оптимальних показників та оптимального плану в цілому, визначаються способи використання різних методів та розробляється необхідне програмне забезпечення. Це здійснюється за допомогою інформаційних технологій прогнозування і прийняття рішень.

Таким чином для розв'язання задач динамічного планування необхідно створити наступні типи інформаційних технологій: [227]

- Інформаційні технології аналізу і оцінювання інформації.
- Інформаційні технології побудови і моделювання динамічних планів.
- Інформаційні технології прогнозування.
- Інформаційні технології підтримки прийняття рішень.

2.3 Математична постановка задач динамічного планування і прийняття рішень

З метою дослідження на єдиній концептуальній основі задач динамічного планування і прийняття рішень, проведення відповідних класифікацій, встановлення зв'язків між різними етапами та задачами планування необхідно використовувати єдиний методичний підхід. При побудові конкретної моделі динамічного плану головним моментом повинно бути досягнення відповідності математичного опису проблеми прийняття рішень у тому середовищі, у якому це рішення генерується.

Математична структура задачі динамічного планування і прийняття рішень в загальному вигляді може бути представлена так:

$$(Q(S_t), S_D, P_D, \{R_i, i \in N\}, \{f_j, j \in M\}) \quad (2.1)$$

де $Q(S_t)$ – модель вибору; S_t – тип структури (графової моделі, диференціальних рівнянь для динамічних систем, прогнозних моделей та ін.); S_D – простір рішень альтернатив. Залежно від типу моделей, це скінченний простір векторів або простір векторних функцій, які характеризують розв'язання задачі планування; P_D – динамічний план, R_i – множина відношень, які обмежують вибір. Вони відображають головні просторово-часові, технічні та інші обмеження в задачах планування; f_j – множина

відношень переваг, які задані у просторі S_D і відображають вимоги до найкращого вибору.

Для задачі динамічного планування модель вибору $Q(S_t)$ задається системою диференціальних рівнянь:

$$\dot{X}(t) = \varphi(\tau, S_p, X_p). \quad (2.2)$$

Простір рішень є декартовим добутком базових множин:

$$S_D = \tau \times Sp \times Xp, \quad (2.3)$$

де τ – множина моментів часу, Sp – множина етапів планування, Xp – множина параметрів планування. Множина відношень R_i задається на просторі рішень S_D . Відношення переваг f_j задається у вигляді цільових функцій (функціоналів).

Формалізація задачі динамічного планування і прийняття рішень визначається в термінах теорії динамічних систем та розв'язання задач вибору з метою визначення ефективного варіанту плану.

В теорії динамічних систем домінуючим є параметричний підхід до побудови моделей систем і процесів. Параметричний процес дає можливість представити у вигляді моделей складні процеси та виконати їх алгоритмізацію. Визначення параметрів моделі дозволяє відобразити структуру та організацію елементів процесу та їх взаємозв'язок.

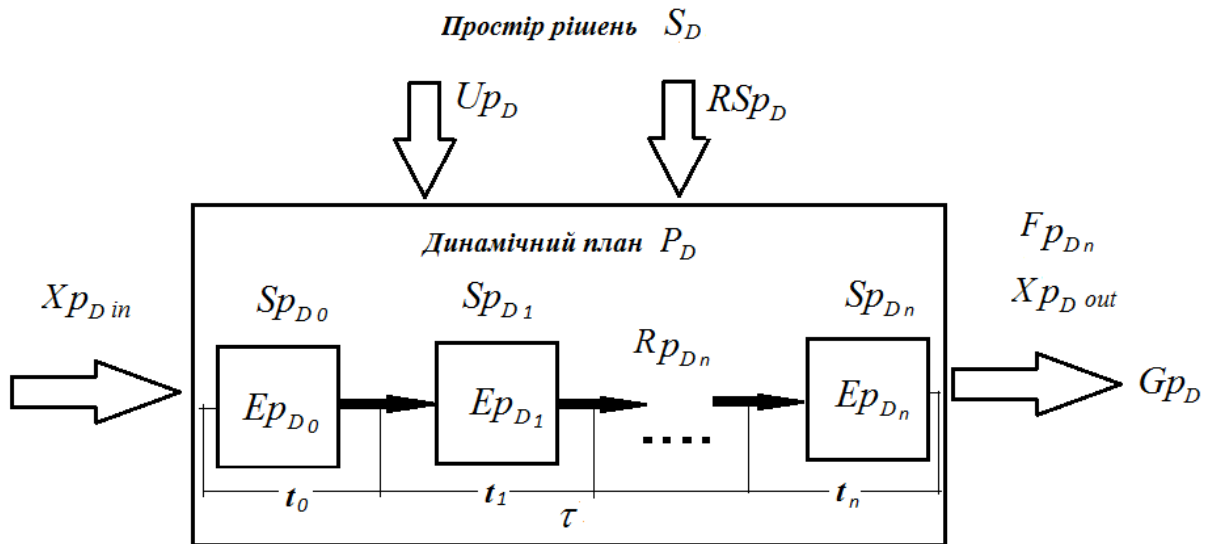


Рис.2.3 Структура моделі динамічного плану

Для отримання докладного опису структури динамічного плану застосовується модель динамічного плану. Структура моделі представлена на рис. 2.3. Інформаційна модель динамічного плану описується за допомогою наступної множини елементів:

$$P_D = \{G_{p_D}, F_{p_D}, X_{p_D}, C_{p_D}, S_{p_D}, E_{p_D}, R_{p_D}, U_{p_D}, R_{Sp_D}, \tau\}, \quad (2.4)$$

де $F_{p_D} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ – множина функцій, які реалізуються в динамічному плані;

G_{p_D} – множина цілей, які необхідно досягти за допомогою динамічного плану;

X_{p_D} – множина параметрів динамічного плану;

C_{p_D} – множина обмежень на вхідні та вихідні параметри динамічного плану;

S_{p_D} – множина станів динамічного плану;

E_{p_D} – множина подій динамічного плану;

R_{p_D} – множина зв'язків між подіями динамічного плану;

U_{p_D} – множина невизначеностей при створенні динамічного плану;

RSp_D – множина ризиків при створенні динамічного плану;

τ – часові параметри динамічного плану.

Множина параметрів Xp включає дві підмножини. Перша підмножина Xp_{in} включає вхідні параметри, Xp_{out} – вихідні параметри динамічного плану

Множина обмежень $Cp_D = Cp_{in} \cup Cp_{out}$ включає дві підмножини. Перша підмножина $Cp_{in} = \{Cp_{in}^1, Cp_{in}^2, \dots, Cp_{in}^k\}$ включає обмеження на вхідні параметри, $Cp_{out} = \{Cp_{out}^1, Cp_{out}^2, \dots, Cp_{out}^m\}$ – обмеження на вихідні параметри динамічного плану.

Кожен елемент для i -го вхідного Cp_{in}^i або j -го вихідного Cp_{out}^j елементу

включає значення обмежень $Cp_{in}^i = \{Cp_{in,low}^i, Cp_{in,high}^i\}$ та $Cp_{out}^j = \{Cp_{out,low}^j, Cp_{out,high}^j\}$.

Кількість підмножин значення Sp може зростати залежно від деталізації опису и по мірі розширення області побудови планів.

Множина зв'язків представлена як підмножина зв'язків кожного етапу динамічного плану $Rp = \{rp_1, rp_2, \dots, rp_z\}$. Кожен елемент підмножини описує набір вхідних и вихідних зв'язків з іншими елементами структури динамічного плану (подіями). Розроблена інформаційна модель динамічного плану дає можливість створення опису динамічного плану та його використання у процесі побудови елементів динамічного плану, а також для збереження даних про структуру динамічного плану.

Розроблена інформаційна модель динамічного плану дає змогу формально описати динамічний план та використати її у процесі побудови плану для збереження даних про інтегральну структуру динамічного плану.

Оскільки предметом планування є вибір і організація дій для зміни стану системи, то концептуальна модель планування потребує загальну модель динамічної системи. На основі цієї моделі описується більшість підходів до планування; модель заснована на основі перехідних етапів системи.

Визначення цілей. Поняття цілі та цілеспрямованих систем визначив у своїх роботах М. Месарович [150,151], подальший розвиток цей напрям

отримав у роботах [49,102,175,179]. Для того щоб відобразити цілеспрямоване представлення динамічного плану P_D , необхідно визначити дві групи показників: показники цілі Gp_D , та показники критеріїв (параметрів) для прийняття рішень Xp .

При відображенні цілей та умов їх досягнення за допомогою динамічного плану у випадку з невизначеностями Up_D та ризиками RSp_D , ціль Gp_D задається стосовно множини параметрів Xp плану.

$$\begin{aligned} Gp_D : P_D &\rightarrow Xp \\ T : Up &\rightarrow Xp \\ T : Rs &\rightarrow Xp \\ F \subset Xp &\rightarrow Xp \end{aligned} \quad (2.5)$$

де Xp – множина параметрів плану; Gp_D – цільова функція динамічного планування, яка кожному стану Sp_D динамічного плану ставить у відповідність значення $Gp_D(s) \in Xp$; T – відносна функція допустимості для кожного типу Up_D та RSp_D визначаються значення $T(Up) \in Xp$ та $T(Rs) \in Xp$, які використовуються для оцінювання виконання динамічного плану; F – показник ефективності для динамічного плану відносно Gp_D .

При розв'язанні задач планування завжди має місце система цілей. Система цілей носить ієрархічний характер внаслідок того, що загальна мета планування досягається не інакше, як виконанням ієрархічної сукупності локальних цілей різних рангів. Тому граф цілей тотожний графу операцій, де вершинам поставлені у відповідність операції і їх цілі різних рангів, а дуги – відношення між операціями і відповідно їх цілями. На рис. 2.4 зображений m -рівневий граф цілей і завдань Gp (цілі будь-якого нижнього рівня можуть розглядатися як завдання, вирішення яких приводить до досягнення цілей верхнього рівня). В графі $Gp = (Xg, R)$ виділимо кортеж $Xg = \{Xg^0, Xg^1, \dots, Xg^{m-1}\}$, який складається із множини цілей різних рангів:

Xg^0 – головна ціль планування; Xg^i – множина цілей i -го рангу, або $(m-1-i)$ -го рівня. Множина дуг графу

$$R = \{r_{jv}^i\}, 0 \leq i \leq m-2; 0 \leq j \leq l_i; 1 \leq v \leq l_{i+1},$$

є відношеннями умов досягнення цілей верхнього рівня. Наприклад, ціль

Xg^0 досягається, якщо досягнуті: ціль xg_1^1 , і ціль xg_2^1, \dots , і ціль $xg_{l_1}^1$, та ін.

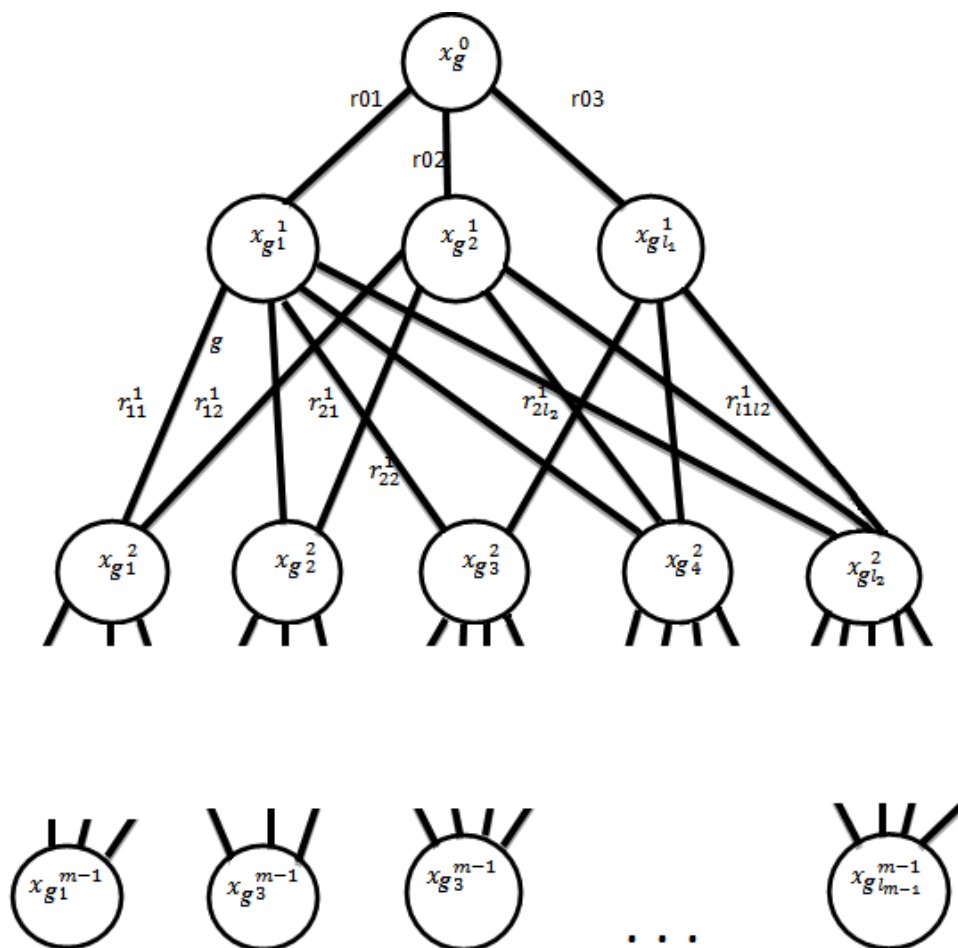


Рис. 2.4 Граф цілей і задач

Граф цілей і задач представляє собою дерево з коренем Xg^0 тільки на підмножині вершин 1-го рангу. Рівнем нижче зв'язки між цілями сусідніх рангів характеризуються перекрестними зв'язками, що вказує на взаємозв'язок рішення $(i+1)$ -го рангу для досягнення цілей i -го рангу.

В зв'язку з цим дуги r_{jv}^i можуть характеризувати відношення значимості вирішення v -й задачі $(i+1)$ -го рангу для досягнення j -й цілі i -го ранга.

Вибір груп цілей (оптимальних) з множини їх спільних варіантів становить процес прийняття рішень при розгортанні генеральної цілі у ієрархію цілей та завдань. Після прийняття всієї системи рішень на всіх рівнях ієрархії отримаємо граф цілей і задач.

Ієрархічний граф [156], $Gp = (Xg, R)$, буде відображати *процес динамічного планування*, якщо індекси рангів впорядкувати у часі, тобто прийняти за умову, що рішення о цілях формуються як послідовність подій в моменти часу t_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n-1$). В результаті упорядкування множини вершин графа у часі отримаємо граф, який відображає процес динамічного планування:

$$Gp_{t_i} = G(Xg, R, t_i), i = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (2.6)$$

Можливі два шляхи формування генеральних цілей для динамічного планування з відповідними ієрархіями цілей і завдань та два шляхи формування послідовності дій: 1) із всіх альтернативних варіантів планів вибирається один найбільш ймовірний і відповідно до нього формується генеральна ціль і послідовність дій; 2) для кожного альтернативного варіанту плану будується своя генеральна ціль зі своєю ієрархією цілей і завдань (варіантне планування). Однак в обох випадках для кожного динамічного плану розглядається кілька альтернативних генеральних цілей і кілька альтернативних послідовностей дій.

Багатокритеріальне оцінювання ефективності динамічних планів. Не менш важливим аспектом, разом з побудовою динамічних планів, є оцінювання ефективності плану на етапі створення і в процесі його реалізації. Побудову динамічних планів можна представити як багатокроковий дискретний процес прийняття рішень $x(t) \in S_D$ в дискретні періоди часу t на інтервалі часу $\mathcal{T} = (t_0, t_1)$, де t_0 – початковий (базовий) період часу, t_1 – поточний період часу, S_D – простір рішень.

З формальної точки зору ефективність процесу побудови динамічного плану на інтервалі часу $\tau = (t_0, t_1)$ можна охарактеризувати векторним показником:

$$F(x(t)) = (f_1(x_1(t)), f_2(x_2(t)), \dots, f_n(x_n(t))), \quad (2.7)$$

де f_1, f_2, \dots, f_n – цільові показники, які характеризують набір рішень $x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$, прийнятих в t -й період часу.

Оскільки розглядається задача побудови узагальненої оцінки ефективності динамічного плану, то у векторному показнику $f(x(t))$, змінну $x(t)$ можна не враховувати. Ефективність процесу побудови на інтервалі часу $\tau = (t_0, t_1)$ динамічного плану P_D будемо оцінювати вектором оцінок по k -му показнику через $y_p(t)$:

$$y_p(t) = (y_{p_1}^p(t), y_{p_1}^p(t), y_{p_1}^p(t), \dots, y_{p_1}^p(t)), t \in \tau = (t_0, t_1), \quad (2.8)$$

де $y_{p_k}^p(t) = f_k(P_D, t)$ – оцінка ефективності P_D динамічного плану по $f_k(t)$ показнику (P_D – множина варіантів планів);

$K = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ – множина показників, які характеризують ефективність планів;

$t \in \tau = (t_0, t_1)$ – часовий інтервал діяльності (t_0 – початковий (базовий) період часу; t_1 – поточний період часу).

В якості оцінок показників ефективності «ідеального плану», можуть виступати найкращі і найгірші значення оцінок з відомих планів за всіма показниками у багатовимірному просторі, осями якого служать показники, що оцінюють ефективність:

$$y_M(t) = \{y_k^M(t)/y_k^M(t) = \max_{x_p \in X} y_k^p(t), \forall t \in \tau, k \in J_K\}, \quad (2.9)$$

$$y_m(t) = \{y_k^M(t)/y_k^m(t) = \min_{x_p \in X} y_k^p(t), \forall t \in \tau, k \in J_K\}. \quad (2.10)$$

Тоді побудова узагальненої оцінки ефективності плану зведеться до побудови деякої агрегуючої функції оцінок $F_{\{f_k\}_{k \in J_K}}$, яка відображає векторну оцінку ефективності розвитку за t -й період часу $(y^{P_1}(t), y^{P_2}(t), \dots, y^{P_n}(t))$ на повній множині цільових показників f_k ($k \in J_K$) в узагальнену оцінку $y^{\Sigma}_t(x_p)$:

$$F_{\{f_k\}_{k \in J_K}} : (y^{P_1}(t), y^{P_2}(t), \dots, y^{P_n}(t)) \rightarrow y^{\Sigma}_t(x_p), \quad (2.11)$$

де $y^p_k(t) \in [y^m_k(y), y^M_k(t)]$ – оцінка ефективності плану за f_k -м показником за t -й період планування.

2.4 Методи і процедури вибору в задачах динамічного планування і прийняття рішень

У задачах прийняття рішень між реальною проблемою і математично сформульованим завданням завжди існувала проміжна ситуація, при якій необхідно було вирішувати питання найбільш раціональної постановки завдання, розглядати варіанти таких постановок, враховувати всі множини обмежень і специфіку прикладної області, розглядати варіанти підходів і методів при вирішенні завдань, оцінювати альтернативи варіантів рішень на проміжних етапах. Така ситуація носить назву вибору і є формальною процедурою попередньою прийняттю рішення [211].

В силу своєї прикладної та теоретичної важливості проблематика, пов'язана з вибором, виділилася в окремий напрям, їй присвячено велика кількість досліджень [59, 166, 196].

Основне місце в них займають якісні результати і питання побудови та обґрунтування конкретних процедур вибору. Завдання, пов'язані з оцінюванням параметрів процедур, вивчені в значно меншій мірі. Це явно

не відповідає тій ролі, яку відіграють оцінки, бо на їх основі можна обгрунтовано оцінювати якість і складність процедур вибору. У багатьох випадках оцінки будуються конструктивно шляхом побудови відповідних механізмів вибору і розвинуті при цьому методи (або їх модифікації) можуть бути використані при розробці та оптимізації конкретних процедур при вирішенні реальних завдань.

Вибір кращих варіантів здійснюється з використанням деяких механізмів (процедур). З кожним механізмом вибору пов'язана функція, що описує вибір на рівні «вхід-вихід» (пред'явлено множину варіантів – здійснено вибір множини). Взаємовідносини між механізмом і функцією породжує два типи завдань. Задача *аналізу* полягає у тому, щоб за деяким механізмом встановити певні якісні властивості відповідної йому функції вибору або її кількісні параметри, суттєві з точки зору задачі вибору, яка вирішується. Задача *синтезу* полягає у тому, щоб по функції побудувати механізм який її реалізує і який задовольняє умовам оптимальності (і оцінити складність цього механізму). Задача синтезу виникає, наприклад, при моделюванні реального вибору, коли на основі отриманих результатів необхідно побудувати механізм або модель, яка здійснює цей вибір [178,212].

2.4.1 Методологія вибору в задачах динамічного планування і прийняття рішень

Проблематика, що відноситься до вибору, досить широка (більшість задач оптимізації та прийняття рішень може бути сформульовано в цих термінах). Тому стосовно завдань динамічного планування розглядаються такі моделі вибору, в яких наявні системи переваг і критеріїв (формалізовані у вигляді бінарних відносин). Такий вид вибору відомий як багатокритеріальний вибір, тобто вибір на основі кількох критеріїв.

Багатокритеріальні задачі динамічного планування можна формально представити у вигляді математичних структур вибору.

Математична структура вибору являє собою підмножину або сукупність множин деякої універсальної множини, які формуються над базовими множинами за допомогою логічних правил, що задовольняють певним правилам.

На рис.2.6 представлена класифікація багатокритеріальних моделей вибору.



Рис. 2.6 Багатокритеріальні моделі вибору

В таблиці 2.1 представлені моделі багатокритеріального вибору.

Таблиця 2.1

№	Тип вибору	Модель вибору
1	Вибір за Парето	$\tilde{x} \lambda \tilde{y} \Leftrightarrow (\forall i)(x_i \geq y_i) \wedge (\exists j)(x_j > y_j),$
2	Лексикографічний вибір.	$\tilde{x} \lambda \tilde{y} \Leftrightarrow (\exists i)(x_1 = y_1 \wedge \dots \wedge x_{i-1} = y_{i-1} \wedge x_i > y_i).$
3	Мажоритарний вибір	$\tilde{x} \mu \tilde{y} \Leftrightarrow \sum_{i=1}^d \text{sign}(x_i - y_i) > 0$
4	Вибір з впорядкованими критеріями	$\tilde{x} \tilde{y} \Leftrightarrow (\tilde{x} \neq \tilde{y}) \wedge (\forall i) \left(\sum_{j=1}^i \text{sign}(x_j - y_j) \geq 0 \right)$
5	Совокупно-екстремальний вибір.	$C^{co}(X) = \{x \in X \mid (\exists i) (\forall y \in X) (x_i \geq y_i)\}$

6	Вибір по сумі рангів	$C^{CP}(X) = \left\{ x \in X \mid (\forall y \in X) \left(\sum_{i=1}^d r_i(x, X) \leq \sum_{i=1}^d r_i(y, X) \right) \right\}$
7	Вибір з домінуючим критерієм	$C^{ds}(X) = \{ x \in X \mid (\exists i_1, \dots, i_s) (\forall y \in X) ((x_{i_1} < y_{i_1}) \Rightarrow (x_{i_1} > y_{i_1}) \wedge \dots \wedge (x_{i_s} > y_{i_s})) \}$
8	Вибір за рівноцінними однорідними критеріями	$\tilde{x} \sigma \tilde{y} \Leftrightarrow (\exists t)(\tilde{x} > t\tilde{y})$

1. **Вибір за Парето.** Він відповідає моделі, в якій відсутня інформація про співвідношення критеріїв за важливістю. Вибір здійснюється на основі порядкового відношення:

$$\tilde{x} \pi \tilde{y} \Leftrightarrow (\forall i)(x_i \geq y_i) \wedge (\exists j)(x_j > y_j), \quad (2.12)$$

яке можна записати у вигляді $\tilde{x} > \tilde{y}$. У множину вибору включені варіанти $x \in X$, векторні оцінки \tilde{x} яких не домінують по відношенню π над векторними оцінками \tilde{y} варіантів $y \in X$.

2. **Лексикографічний вибір.** Він відповідає моделі із впорядкованими критеріями, у якій кожен попередній є суттєво важливішим наступних. Вибір здійснюється на основі порядкового відношення:

$$\tilde{x} \lambda \tilde{y} \Leftrightarrow (\exists i)(x_1 = y_1 \wedge \dots \wedge x_{i-1} = y_{i-1} \wedge x_i > y_i). \quad (2.13)$$

3. **Мажоритарний вибір.** Він відповідає моделі з рівноцінними критеріями та здійснюється на основі порядкового відношення:

$$\tilde{x} \mu \tilde{y} \Leftrightarrow \sum_{i=1}^d \text{sign}(x_i - y_i) > 0 \quad (2.14)$$

4. **Вибір із впорядкованими критеріями.** Він відповідає моделі, в якій кожний попередній критерій є важливішим наступних і перевага за ним цінується вище. Вибір здійснюється на основі порядкового відношення:

$$\tilde{x} \tau \tilde{y} \Leftrightarrow (\tilde{x} \neq \tilde{y}) \wedge (\forall i) \left(\sum_{j=1}^i \text{sign}(x_j - y_j) \geq 0 \right) \quad (2.15)$$

5. **Сукупно-екстремальний вибір.** Вибираються варіанти, кращі хоча б за одним з критеріїв:

$$C^{es}(X) = \{x \in X \mid (\exists i) (\forall y \in X) (x_i \geq y_i)\} \quad (2.16)$$

6. **Вибір за сумою рангів.** Рангом варіанта x в пред'явленні X по i -му критерію називається величина:

$$r_i(x, X) = \text{Card} \{y \in X \mid y_i > x_i\} + i, \quad (2.17)$$

де Card це потужність множини; обираються варіанти з мінімальною сумою рангів:

$$C^{CP}(X) = \left\{ x \in X \mid (\forall y \in X) \left(\sum_{i=1}^d r_i(x, X) \leq \sum_{i=1}^d r_i(y, X) \right) \right\} \quad (2.18)$$

7. **Вибір з домінуючим критерієм.** Критерій x_1 є головним (домінуючим), а x_2, \dots, x_d – допоміжними. Передбачається, що значення головного критерію для різних варіантів x різні. В моделі D_s ($s=1, \dots, d-l$)

варіант x вибирається, якщо він має максимальне значення головного критерію, або перевищує його за деякими s допоміжними критеріями всі варіанти, які є кращими його за головним:

$$C^{ds}(X) = \{x \in X / (\exists i_1, \dots, i_s) (\forall y \in X) ((x_{i_1} < y_{i_1}) \Rightarrow (x_{i_1} > y_{i_1}) \wedge \dots \wedge (x_{i_s} > y_{i_s}))\}. \quad (2.19)$$

8. Вибір за рівноцінними однорідними критеріями. Якщо $t = (i_1, \dots, i_d)$ — деяка перестановка чисел $1, \dots, d$, то через $t_y = t(y_{i_1}, \dots, y_{i_d})$ будемо позначати набір $(y_{i_1}, \dots, y_{i_d})$. Вибір здійснюється на основі координатного (але не порядкового) відношення:

$$\tilde{x} \sigma \tilde{y} \Leftrightarrow (\exists t)(\tilde{x} > t\tilde{y}). \quad (2.20)$$

2.4.2 Процедури динамічного вибору

При розв'язанні задач вибору, особливо при виборі варіантів альтернатив, необхідно використовувати показник ефективності, за яким здійснюється вибір (ефективність прогнозу, ефективність моделі, ефективність прийнятого рішення, ефективність плану в цілому).

При визначенні оцінки динамічних показників, та при динамічному виборі необхідно досліджувати траєкторії розвитку показників. Траєкторія розвитку відображається у вигляді ломаної, у вузлових точках якої фіксуються моменти часу. При аналізі траєкторій кількох варіантів знаходять варіанти, які є стійкими до зовнішніх коливань та часових коливань.

Для задач динамічного планування доцільно використовувати параметричні моделі динамічного вибору [152], у яких в якості головного параметра використовується час.

При побудові динамічного плану на кожному етапі планування приймаються рішення. Рішення приймаються послідовно відповідно до етапів плану.

Динамічний вибір можна представити таким чином: нехай у момент часу t_1 на множині варіантів X (етапів плану, планів) має місце бінарне відношення ефективності $R(t_1)$. Вибір $Ch(R(t_1), X)$ здійснюється за попередніми результатами. Однак аналіз реалізації здійснюється в момент часу t_2 , та бінарне відношення $R(t_2)$ не співпадає з $R(t_1)$, $R(t_2) \neq R(t_1)$. Відношення R виявляється на кожному етапі плану або за експертними оцінками, або аналітично.

Якщо в процесі, вибору беруть участь n експертів і з кожним з них пов'язується певний стосунок домінування R_i , виникає задача вибору по системі $R = (R_1, \dots, R_n)$ відношень, заданих на множині Ω .

У тому ж вигляді можна сформулювати і задачу багатокритеріального вибору, оскільки кожен критерій x_i описується відношенням слабкого порядку W_i і всю інформацію про домінування містить система

$$\tilde{W} = (W_1, \dots, W_n).$$

За системою R вибір може бути здійснений по-різному. Механізм вибору визначається трійкою:

$$m = \langle N, \tilde{R}f \rangle, \quad (2.21)$$

де \tilde{R} — система бінарних відношень на множині Ω ; f — деякий оператор, а N — тип механізму, який вказує, яким чином по \tilde{R} і f будується функція вибору

$$Cm(X) = C^N_{R,f}(X), \quad (2.22)$$

яка реалізована механізмом m . Цією моделлю можуть бути представлені всі змістовні процедури вибору, зокрема, процедури, які допускають зміну думок експертів. Нехай Ω — універсальна множину варіантів (альтернатив, планів), тобто включає всі варіанти, які можуть зустрітися в процесі вибору. Довільну функція C , що ставить кожному $\Omega \subseteq X$ деяку підмножину $C(X) \subseteq X$

будемо називати функцією вибору (на множині Ω). Множина X – це множина критеріїв вибору, а варіанти з $C(X)$ – вибраними за критерієм X .

Також в задачах динамічного планування важливе значення має механізм вибору.[85] На рис. 2.7 представлена класифікація динамічних моделей вибору, які відрізняються механізмом вибору.

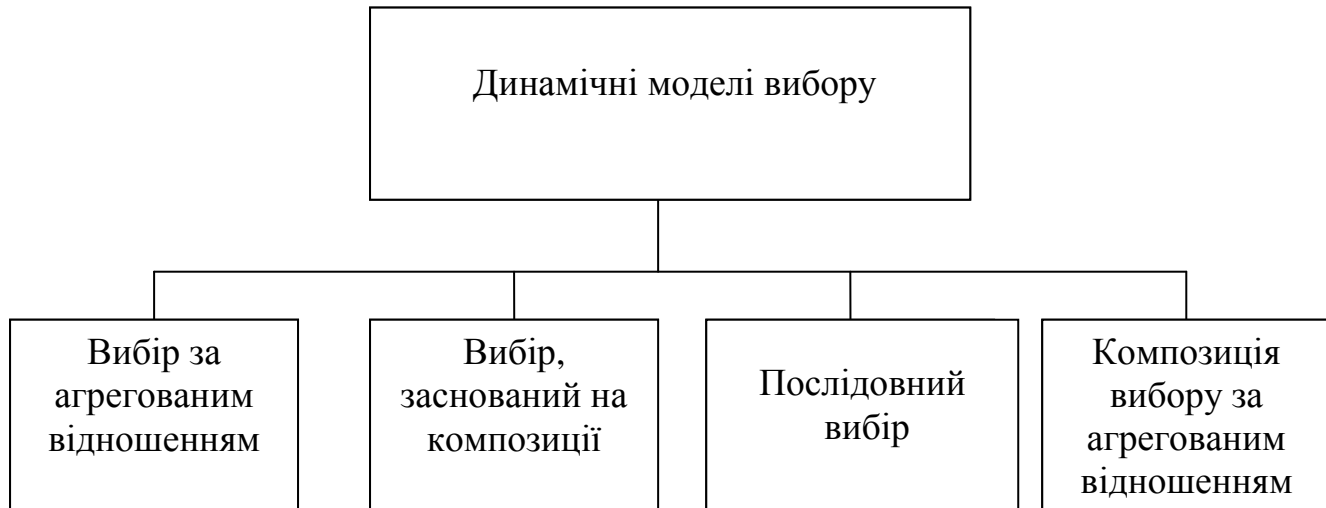


Рис. 2.7 Класифікація динамічних моделей вибору

За механізмом вибору задачі діляться на:

1. **Вибір за агрегованим відношенням** (механізм $\langle Agr, \tilde{R}, f \rangle$).

Де f — оператор, який співставляє системі \tilde{R} деяке відношення

$$R = f(\tilde{R}) = f(R_1, \dots, R_d) \quad (2.23)$$

Яке називається *агрегованим*, а вибір задається рівнянням

$$C^{Agr}_{Rf}(X) = C_{f(R)}(X) \quad (2.24)$$

Як спосіб агрегування f будемо використовувати теоретико-множинні операції, а також більш складні - які є суперпозиціями теоретико-множинних операцій і операцій над відношеннями. Необхідність в операції над відношеннями виникає, наприклад, при виділенні з відносин R головної

частини $R \setminus R^{-1}$, симетричної частини $R \cap R^{-1}$, при переході до двійкового відношення $(R^{-1}) = \Omega^2 \setminus R^{-1}$ та інш..

2. Вибір, заснований на композиції (механізм $\langle Com, R, f \rangle$). Йому у відповідність ставиться функція вибору:

$$C^{Com}_{R,f}(X) = f(C_{R1}(X), \dots, C_{Rd}(X)). \quad (2.25)$$

Спосіб композиції f визначається теоретико-множинними операціями. Окремим випадком такого типу вибору є сукупно-екстремальний вибір, який можна записати у вигляді:

$$C^{e3}(X) = \bigcup_{i=1}^d C_{W_i}(X), \quad (2.26)$$

де W_i — відношення, яке відповідає критерію f_i .

3. Послідовний вибір (механізм $\langle Seq, R, O \rangle$). Параметр O — це операція суперпозиції, а функція вибору задається рівнянням:

$$C^{Seq}_R(X) = C_{Rd}(\dots C_{R2}(C_{R1}(X))\dots). \quad (2.27)$$

Послідовний вибір є узагальненням лексикографічного, який може бути представлений у вигляді:

$$C_\lambda(X) = C_{Wd}(\dots C_{W2}(C_{W1}(X))\dots) \quad (2.28)$$

Комбінацією цих механізмів можуть бути створені інші, складніші типи вибору.

4. **Композиція вибору за агрегованим відношенням** (механізм $\langle AC, R, g, f \rangle$, де $g = (g_1, \dots, g_k)$ – набір способів агрегування; f – спосіб композиції, який беруться із тих же класів, що і раніше. При цьому:

$$C_{\tilde{R}g, f}^{AC}(X) = f(C_{g_1(\tilde{R})}(X), \dots, C_{g_k(\tilde{R})}(X)). \quad (2.29)$$

2.5 Багатомодельний і багатокритеріальний підхід до розв'язування завдань динамічного планування і прийняття рішень

Відображення всіх основних аспектів в проблемах вибору ефективних рішень в задачах динамічного планування може бути досягнуте за допомогою багатомодельного підходу, коли вибір рішень проводиться із залученням системи різнорідних математичних моделей. Сукупність же різних вимог, які пред'являються до рішень, приводить до багатокритеріальної постановки задач вибору ефективних рішень, оскільки для більшості вимог подання їх у вигляді системи обмежень не може бути визнано ефективним через неповноту вхідних даних для такого подання [86]. Таким чином, проблеми динамічного планування визначаються і вирішуються як завдання багатомодельного і багатокритеріального вибору ефективних рішень на множині математичних моделей. При цьому необхідно виділити наступні завдання:

- Вибір множини рішень (альтернатив), які найбільш ефективні для вирішення завдань побудови динамічних планів при заданих зовнішніх умовах.

- Обґрунтування та визначення критеріїв для оцінки ефективних рішень при побудові динамічних планів та їх елементів і розподіл їх за моделями;

- Об'єднання рішень (моделей) в єдиний комплекс, для вирішення завдань динамічного планування, наприклад для задачі багатокритеріального вибору структури плану;

– Внутрішньомодельне та міжмодельне узгодження (упорядкування) критеріїв.

У зазначених моделях врахування основних аспектів при розв'язанні проблем, пов'язаних з побудовою ефективних планів та підбором математичних моделей, а саме: визначення множини планів і визначення структури плану, можлива оптимізація цільових функцій, врахування динаміки зміни простору станів, врахування основних невизначеностей при побудові структури плану, а також облік впливу ризиків – можливий у деяких моделях повністю, а в інших тільки частково. Розроблена інформаційна модель динамічного плану (2.4) дає можливість описати план і використовувати її в процесі побудови плану для збереження даних про інтегральну структуру динамічного плану.

Багатомодельний і багатокритеріальний підхід до розв'язування завдань динамічного планування і прийняття рішень складається з наступних етапів:

Етап 1. Попереднє визначення рішення Sx , що ставиться у відповідність множині допустимих варіантів рішень $Sx_{S\beta}$, математичній моделі M_v , в межах якої знаходять оптимальні рішення x :

$$M_v = \langle Sx \in Sx_{S\beta}, f_j(x), j \in J_v \rangle, \quad (2.30)$$

де $f_j(x)$ – критерій, який приймає значення у деякій шкалі вимірів і за яким оцінюється рішення x ; $j \in J_v$ – множина індексів (номерів) елементів множини критеріїв v -ї моделі; v – номер моделі. У загальному випадку кожне рішення оцінюється за одним або кількома показниками у рамках однієї або кількох моделей.

Етап 2. Представлення задачі багатомодельного і багатокритеріального вибору ефективних рішень. Формалізація здійснюється у вигляді наступної математичної структури:

$$St^M = \langle B(M), \{r_i^{M(\alpha)}\}_{i \in N_1^M}, \{r_i^{M(\beta)}\}_{i \in N_2^M} \rangle, \quad (2.31)$$

де M – множина моделей, в рамках яких визначаються рішення при розробці динамічного плану, $B(M)$ – множина всіх підмножин (булеан) множини M ; $r_i^{M(\alpha)}$ – бінарні відношення, які задані на множині, що відображає уподобання вибору множини моделей (рішень) такі, як нескладність моделей, ступінь адекватності зовнішнім умовам, та ін.; $r_i^{M(\beta)}$ – відношення, які задають обмеження, що накладаються на вибір сімейства моделей (відображення всіх основних аспектів проблем побудови ефективних планів, повнота функцій модельного дослідження, неможливість застосування того чи іншого класу моделей та ін.). Результатом вибору на математичній структурі St^M є елемент M^* булеана $B(M)$, тобто підмножина із M : $M^* = \{m_v\}_{v \in J^*} \subseteq M$, де J^* – множина індексів елементів множини M^* .

Етап 3. Розподіл критеріїв оцінки якості та ефективності рішень. Розподіл за допомогою моделей представляється у вигляді математичної структури вибору:

$$St^X = \left\langle [B(X)]^{M^*}, \{r_i^{X(\alpha)}\}_{i \in N^X_1}, \{r_i^{X(\beta)}\}_{i \in N^X_2} \right\rangle \quad (2.32)$$

де $X = (x_i)_{i \in j}$ – це множина критеріїв, за якими оцінюються якісні показники, $[B(X)]^{M^*}$ – множина всіх відображень, $M^* \rightarrow B(x)$ – відображення яке ставить у відповідність кожній моделі M^* підмножину критеріїв, $r_i^{X(\alpha)}$ – відношення, що відображають вибір у розподілі критеріїв за моделями, наприклад мінімум числа критеріїв для кожної моделі, дублювання критеріїв у різних моделях, $r_i^{X(\beta)}$ – відношення, що задають обмеження у зазначеному розподілі (повнота обліку всіх критеріїв у комплексі моделей, неможливість представлення певних критеріїв у тій чи іншій моделі, неможливість оптимізації деякої моделі та ін.)

Результатом вибору на структурі St^X є множина кортежів вигляду $\langle m^*, X_{m^*} \rangle$, що ставить у відповідність кожній моделі (рішенню) набір

критеріїв $X_{m^*} : \{ \langle m^*, X_{m^*} \rangle \}_{m^* \in M^*} \in [B(X)]^{M^*}$. Об'єднання наборів критеріїв X_{m^*} по всіх моделях m^* із M^* утворює покриття вихідної множини критеріїв X (повноту обліку всіх критеріїв).

Етап 4. Узгодження критеріїв у межах окремих моделей представлено у вигляді математичних структур вибору:

$$St^{m^*} = \left\langle \langle m^*, X_{m^*} \rangle, PS^{m^*}, \{r_i^{m^*(\alpha)}\}_{i \in N_1^{m^*}}, \{r_i^{m^*(\beta)}\}_{i \in N_1^{m^*}} \right\rangle, \quad (2.33)$$

де PS^{m^*} – множина можливих правил узгодження групи критеріїв в моделі $m^* \in M^*$ (правил переходу від сукупності критеріїв X_{m^*} до результуючого відношення переваги); $r_i^{m^*(\alpha)}$ та $r_i^{m^*(\beta)}$ – відношення, які задають відповідно переваги та обмеження при виборі правила модельного узгодження критеріїв. Результатом вибору на структурі St^{m^*} є правила побудови результуючих відносин переваг PS^{m^*} , $m^* \in M^*$.

Етап 5. Міжмодельне узгодження. Об'єднання множини M^* в єдиний комплекс представлено у вигляді наступної структури вибору:

$$St^\pi = \left\langle M^*, \pi, \{r_i^{\pi(\alpha)}\}_{i \in N_1^\pi}, \{r_i^{\pi(\beta)}\}_{i \in N_2^\pi} \right\rangle, \quad (2.33)$$

де π – множина можливих принципів міжмодельного узгодження для об'єднання моделей з M^* в єдину систему.

Етап 6. Побудова ефективного рішення. Проблема багатомодельного і багатокритеріального вибору ефективних рішень $Sx \in Sx_{s\beta}$ при побудові динамічних планів передбачає вирішення завдань вибору на структурах St^X, St^{m^*}, St^π . Формально ця проблема представлена у вигляді наступної метаструктури вибору:

$$St = \left\langle Sx_{s\beta}, St^M, St^X, \{St^{m^*}\}_{m^* \in M^*}, St^\pi, \{r_i^\beta\}_{i \in N_2} \right\rangle, \quad (2.34)$$

де через r_i^β позначені відношення, які обмежують вибір ефективних рішень при побудові динамічного плану.

2.6 Метод синтезу інформаційних технологій для розв'язування задач динамічного планування

Для більш ефективного вирішення завдань динамічного планування і прийняття рішень та для системного використання сукупності інформаційних технологій: інформаційних технологій аналізу та оцінювання інформації; інформаційних технологій побудови і аналізу динамічних планів; інформаційних технологій прогнозування та інформаційних технологій підтримки прийняття рішень пропонується метод синтезу інформаційних технологій (рис. 2.8). Побудова методів синтезу на основі різноманітних методів для вирішення складних інформаційних задач базується на системному аналізі прикладної галузі та на чіткому визначенні цілей та методів вирішення задач [104,125,158,159]. А також на принципах багатомодельного та багатокритеріального підходу та інтеграції різнотипової інформації. Кожна інформаційна технологія заснована на системному використанні інструментальних методів, які вирішують окремі завдання динамічного планування і прийняття рішень. Групи інструментальних методів використовуються залежно від типу і механізму вибору (див. розділ 2.4) та від конкретної задачі динамічного планування (рис. 2.1).[227]

Інформаційна технологія аналізу її оцінювання інформації – для задач обробки інформації використовує та реалізує методи аналізу та обробки експертної інформації, методи когнітивного моделювання.

Інформаційна технологія моделювання та побудови динамічних планів – для задач побудови структури динамічного плану та моделювання використовуються теоретико-графові моделі, методи аналізу і розрахунку ризиків, алгоритми пошуку на просторі станів (A^*), моделювання на основі нечітких ситуаційних мереж, мереж Петрі (часових і кольорових).

Інформаційна технологія прогнозування для задач побудови прогнозів розвитку ситуацій, та прогнозування показників динамічного плану

Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень – для прийняття рішень на різних етапах динамічного планування та для вибору оптимального динамічного плану.

Всі методи можуть використовуватись як окремо – для розв’язання окремих задач, так і системно для вирішення проблеми динамічного планування.

Залежно від типу завдань, які вирішуються, системну методологію можливо застосовувати в різних типах динамічного планування. При цьому запропоновані інформаційні технології можуть використовуватись в різних послідовностях.

Послідовність використання інформаційних технологій для різних типів динамічного планування представлено в табл 2.2.

На рис.2.9 представлена методика використання інформаційних технологій при вирішенні задач динамічного планування. Запропонована методика використання інформаційних технологій і інформаційні технології для вирішення завдань різних типів планування [63,65] буде докладно розглянута у наступних розділах.

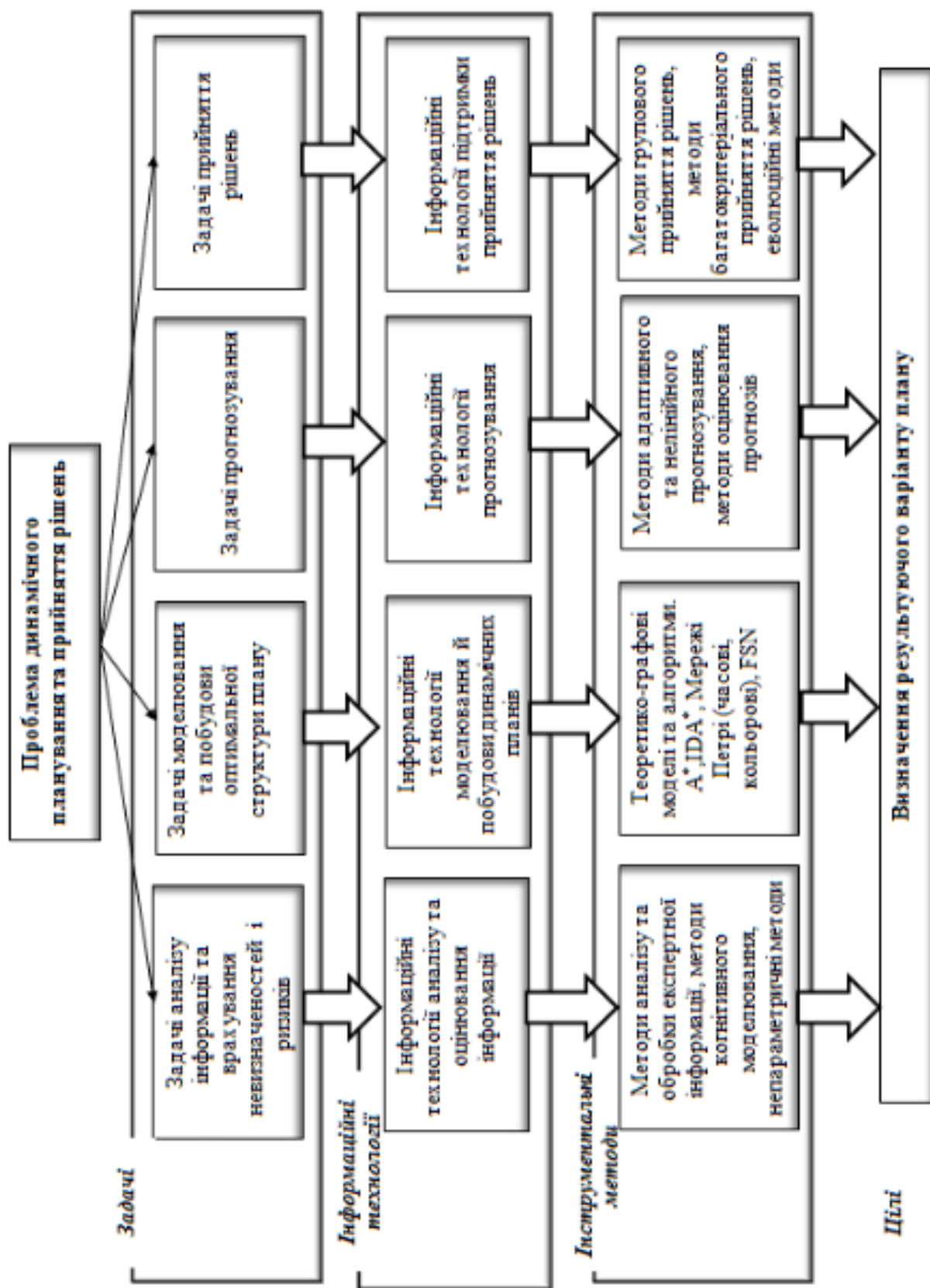


Рис.2.8 Метод синтезу інформаційних технологій для розв'язування завдань динамічного планування

Таблиця 2.2

Типи динамічного планування	Послідовність побудови динамічного плану	Послідовність використання інформаційних технологій
Стратегічне планування	<ol style="list-style-type: none"> 1. Визначення головних цілей та критеріїв побудови плану. 2. Прогнозування розвитку на основі головних критеріїв. 3. Побудова варіантів структур плану. 4. Прийняття рішень по знаходженню оптимального варіанту стратегічного плану. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ІТ аналізу та оцінювання інформації (ІТАОІ) 2. ІТ прогнозування (ІТП) 3. ІТ моделювання і побудови динамічних планів (ІТМПДП) 4. ІТ прийняття рішень (ІТПР) <p>(ІТАОІ + ІТП + ІТМПДП+ ІТПР)</p>
Сценарне планування	<ol style="list-style-type: none"> 1. Визначення головних цілей та факторів та параметрів побудови сценарію. 2. Побудова варіантів сценаріїв. 3. Прогнозування розвитку на основі головних критеріїв. 4. Прийняття рішень по знаходженню оптимального варіанту сценарію. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ІТ аналізу та оцінювання інформації (ІТАОІ) 2. ІТ моделювання і побудови динамічних планів (ІТМПДП) 3. ІТ прогнозування (ІТП) 4. ІТ прийняття рішень (ІТПР) <p>(ІТАОІ+ІТМПДП+ІТП+ІТПР)</p>

<p>Інтелектуальне планування</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналіз вхідної інформації, побудова системи планових критеріїв. 2. Побудова варіантів моделей розподілу ресурсів 3. Оцінювання варіантів моделей плану. 4. Прийняття рішень по знаходженню оптимального варіанту плану розподілу ресурсів. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ІТ аналізу та оцінювання інформації (ІТАОІ) 2. ІТ моделювання і побудови динамічних планів (ІТМПДП) 3. ІТ прийняття рішень (ІТПР) 4. ІТ аналізу та оцінювання інформації (ІТАОІ) 5. ІТ прийняття рішень (ІТПР) <p>(ІТАОІ+ІТМПДП+ ІТПР + ІТАОІ + ІТПР)</p>
---	--	---

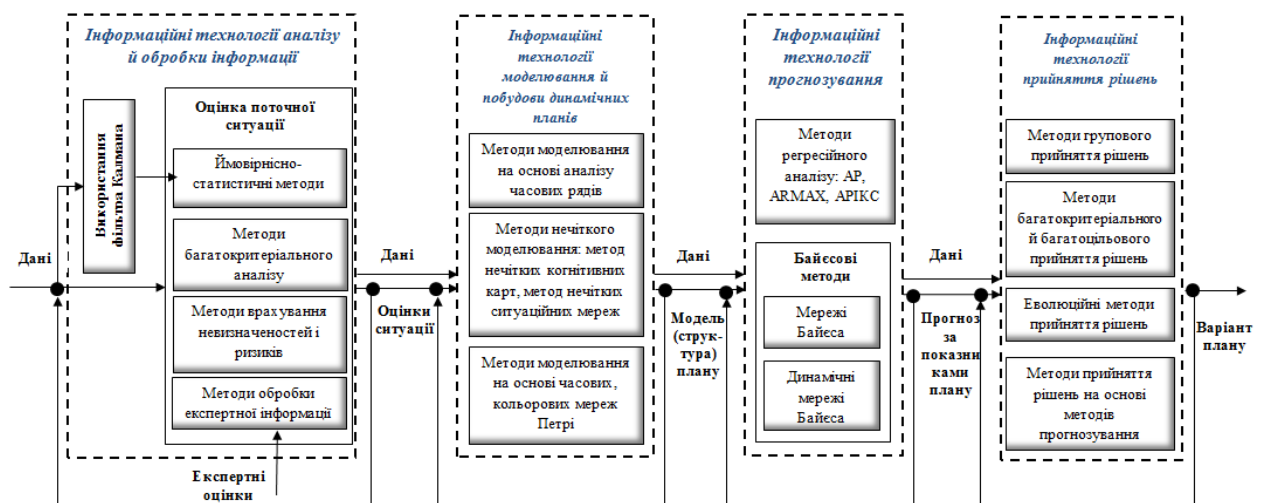


Рис.2.9 Методика використання інформаційних технологій при вирішенні задач динамічного планування.

2.7 Висновки до розділу 2

1. Визначені головні задачі і етапи динамічного планування. Розроблено послідовність розв'язання задач динамічного планування.
2. Представлено математичну постановку задачі динамічного планування. Формалізовано основні кроки побудови динамічних планів.

3. Запропонована класифікація типів задач багатокритеріального вибору та механізмів багатокритеріального вибору. Розроблено методологію і процедуру вибору в задачах динамічного планування і прийняття рішень.
4. Запропоновано і розроблено метод до розв'язання задач динамічного планування на основі використання багатомодельного та багатокритеріального підходу. Представлено формалізований опис етапів запропонованого підходу.
5. Показано, що для забезпечення ефективного вирішення завдань динамічного планування необхідно розробити та використати наступні типи інформаційних технологій: інформаційні технології аналізу та оцінювання інформації; моделювання динамічних планів; інформаційні технології прогнозування та інформаційні технології підтримки прийняття рішень.
6. На основі системного використання методів аналізу даних, методів моделювання, методів прогнозування методів прийняття рішень розроблено метод синтезу інформаційних технологій для розв'язування задач динамічного планування різного типу.
7. Запропонована методика використання інформаційних технологій для різних типів задач планування.

РОЗДІЛ 3

СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ АНАЛІЗУ І ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ У ЗАДАЧАХ ДИНАМІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ

Для вирішення завдань ефективного динамічного планування і прийняття рішень необхідний аналіз зовнішнього середовища (аналіз поточної ситуації), в якому функціонують об'єкти планування. Зовнішнє середовище визначається як сукупність економічних, соціальних і політичних факторів і суб'єктів, які безпосередньо або опосередковано впливають на можливість і здатність досягати поставлених цілей при плануванні.

Для орієнтації у зовнішньому середовищі з метою вирішення завдань динамічного планування та для його аналізу необхідно чітко визначити головні властивості зовнішнього середовища (ситуації). Можливо визначити такі головні характеристики зовнішнього середовища [23,97,100,182]:

1. Складність – кількість і різноманітність факторів, які будуть впливати на процес планування.
2. Множина зв'язків між факторами, тобто сила, з якою зміна одного параметра (фактора) впливає на зміну інших параметрів плану.
3. Динамічність – швидкість, з якою відбуваються зміни у зовнішньому середовищі (зміни ситуації), та швидкість впливу на план, який розробляється.
4. Невизначеність (слабкоструктурованість).

Виділення та обробка такого роду інформаційних характеристик і аналіз інформації для опису середовища свідчить про те, що необхідно застосовувати системний підхід і розглядати зовнішнє середовище як систему або сукупність систем, які впливають на план, що розробляється. Саме в рамках цього підходу прийнято представляти будь-які об'єкти у вигляді структурованої системи, виділяти елементи системи, взаємозв'язку

між ними і динаміку розвитку елементів і всієї системи в цілому. Тому аналіз і обробка інформації, яка використовується для вивчення зовнішнього середовища і накопичення необхідної інформації для подальшого використання на різних етапах динамічного планування та способів і методів функціонування в ній, необхідно розглядати як необхідний компонент динамічного планування.

В цьому розділі будуть розглянуті методи, моделі, а також процедури аналізу інформації які необхідні для побудови динамічних планів.

3.1 Методи аналізу та обробки інформації в задачах динамічного планування

Аналіз та обробка інформації – початковий етап процесу планування. На цьому етапі досліджуються реальні процеси різної природи, які впливають на процес побудови плану. Ігнорування цього етапу призводить до неможливості побудови моделі плану для конкретного процесу та їх придатності для розв'язання задачі планування.

На етапі аналізу та обробки інформації вирішуються наступні задачі:

- визначення цілей та їх ієрархії, а також кількості цільових станів та їх параметри;
- встановлення зв'язків між етапами;
- визначення зовнішніх впливів і збурень та їх типу, та встановлення можливості їх статистичного опису за допомогою конкретних типів розподілів випадкових величин;
- аналіз та встановлення основних типів ризику та їх показників;
- визначення ключових невизначеностей та методів їх подолання;
- встановлення можливості розділення процесу на окремі підпроцеси,
- якщо процес має ієрархічну структуру, то необхідно чітко розмежувати рівні, визначити функції кожного з них і встановити тип зв'язків між ними;

- знаходження знань стосовно особливостей функціонування процесу, та закономірностей його протікання;

- оцінити та встановити недоліки та переваги, раніше створених моделей, а також визначити можливість їх модифікації;

Отриману інформацію використовують для оцінювання структури плану або кількох моделей-кандидатів (альтернативних варіантів), які оцінюють за допомогою експериментальних даних. При виконанні аналізу функціонування досліджуваного процесу доцільно використовувати та порівнювати різнотипову інформацію. Це особливо стосується процесів, щодо функціонування яких може надходити інформація з протиріччями, пропусками, похибками і затримкою[100] .

На рис. 3.1 представлена схема методів аналізу і обробки інформації в задачах динамічного планування. Методи аналізу інформації поділяються на дві групи: методи аналізу якісної інформації та методи аналізу кількісної інформації.

Методи аналізу якісної інформації використовуються для виявлення головних цілей динамічного планування. На відміну від методів аналізу кількісної інформації, що ґрунтуються на статистичних процедурах, методи аналізу якісної інформації представляють собою складнішу процедуру. Вони спрямовані на вивчення широкого спектру проявів процесу і відслідковують не тільки його кількісні закономірності, а орієнтуються на розкриття причинно-наслідкових зв'язків. Головні методи аналізу якісної інформації це методи експертного оцінювання [18,19,55,84,94,118,129,169,170], методи багатокритеріального аналізу [17,145], SWOT аналізу [31,307], та ситуаційного аналізу [148].

Кількісну оцінку інформації при вирішенні завдань динамічного планування виконують на підставі аналізу невизначеностей і ризиків, статистичного аналізу, ймовірних розрахунків, та методів когнітивного аналізу що здійснюються за допомогою експертів. В процесі аналізу якісної

та кількісної інформації при розв'язанні різноманітних задач планування визначають критерії та кількісні показники динамічного плану.

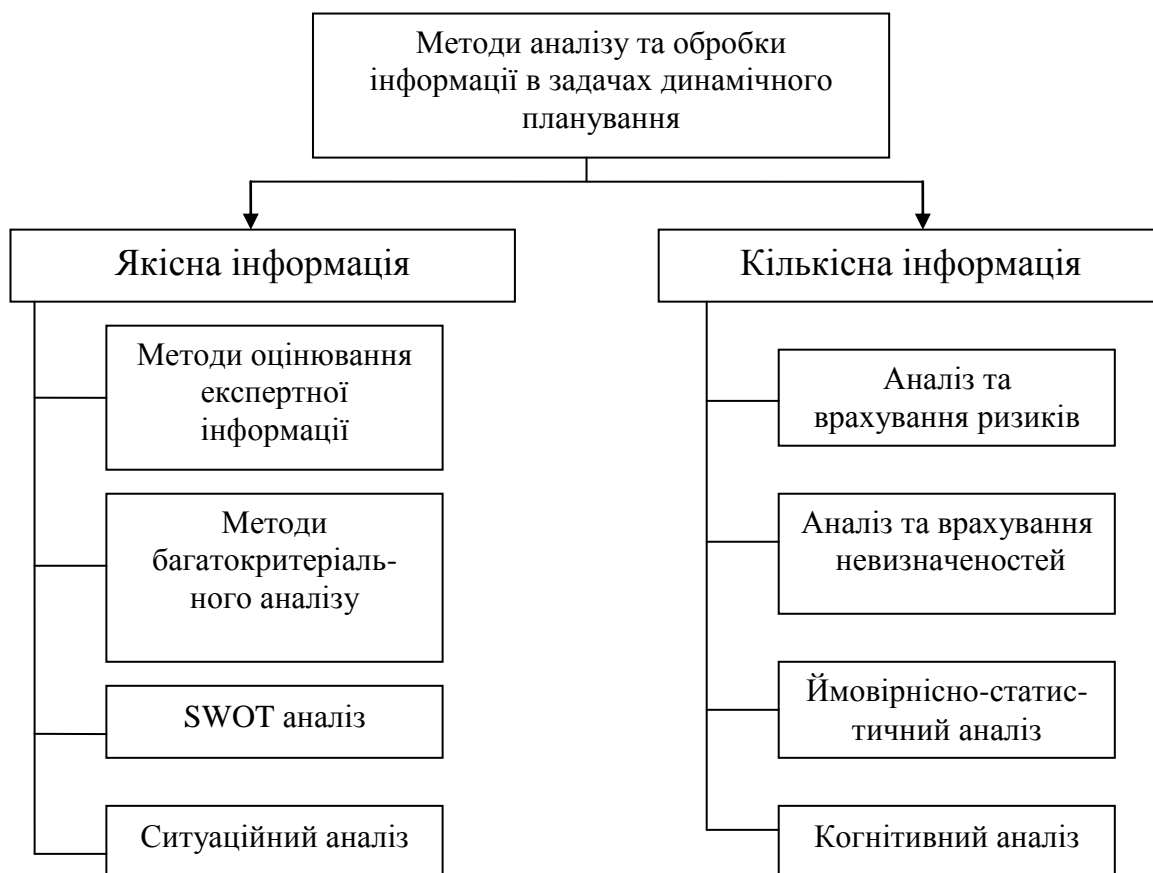


Рис.3.1 Методи аналізу інформації в задачах динамічного планування

Основні групи критеріїв, які використовуються при розв'язанні задач динамічного планування, це якісні та кількісні (рис. 3.2).

Для формування якісних критеріїв застосовують експертні оцінки. В процесі планування, який розглядається з позицій прийняття рішень. Експерти описують проблемну ситуацію, її уточнення з допомогою можливих альтернативних ситуацій, визначенню множини цілей планування і множини варіантів плану. Переваги експертів на множині планів, цілей і ситуацій можуть визначати різні сторони оцінки якості планів: ступінь досягнення цілей планування, терміни виконання, витрати різних ресурсів.

При визначенні цілей експерти можуть давати оцінку їх відносної важливості і встановлювати залежність між ними.

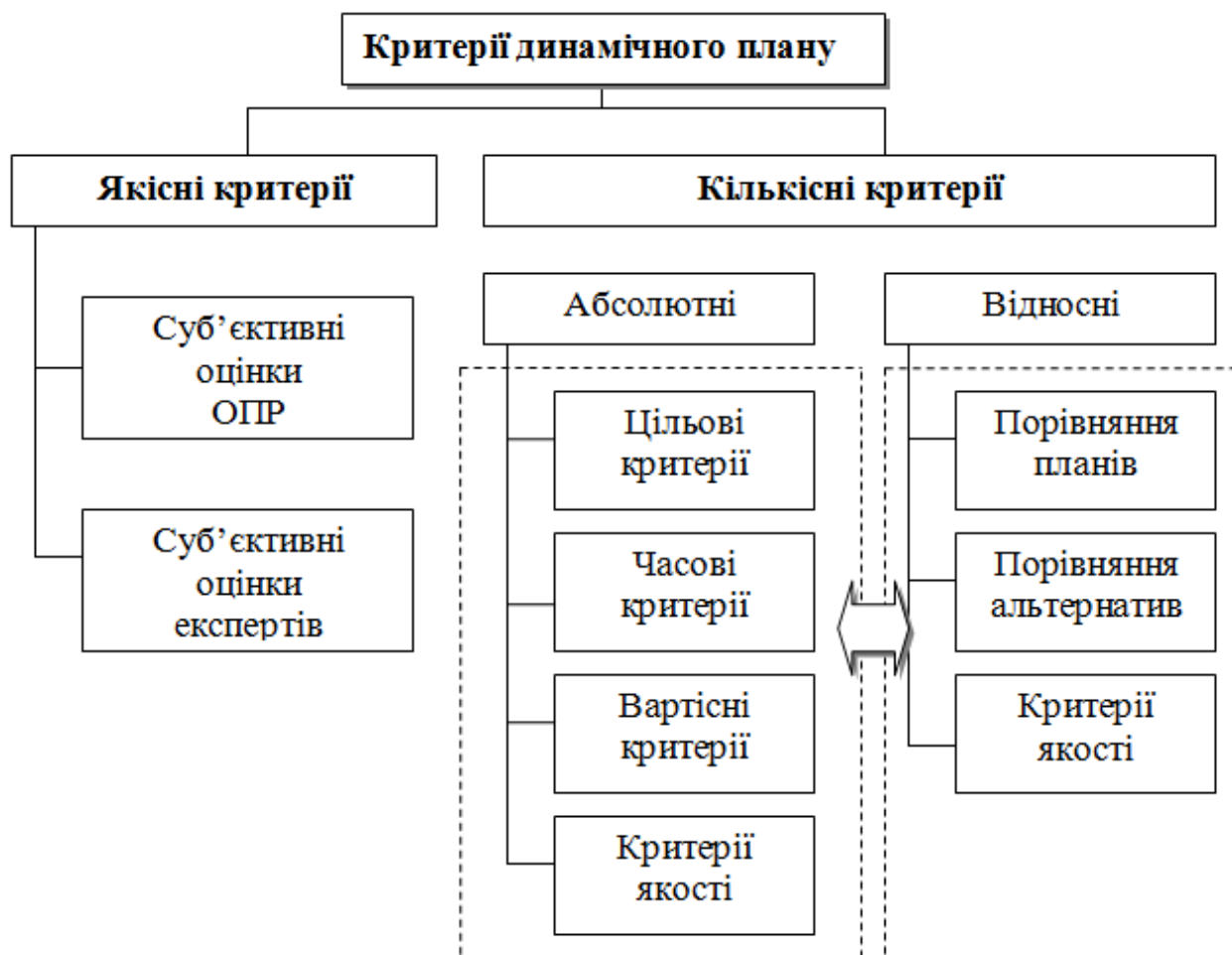


Рис. 3.2 Типи критеріїв динамічних планів

Для кількісних критеріїв існує ділення їх на дві групи: абсолютних критеріїв та відносних. До групи абсолютних критеріїв відносяться критерії цілі X_g , часові критерії $X(t)$, вартісні критерії та критерії якості. Групу відносних критеріїв складають критерії порівняння планів та критерії порівняння альтернатив при розв'язанні задач вибору, а також критерії якості для оцінювання динамічних планів у цілому. Загальна схема етапів перетворення інформації при розробці динамічних планів, із використанням різних груп критеріїв представлена на рис. 3.3.

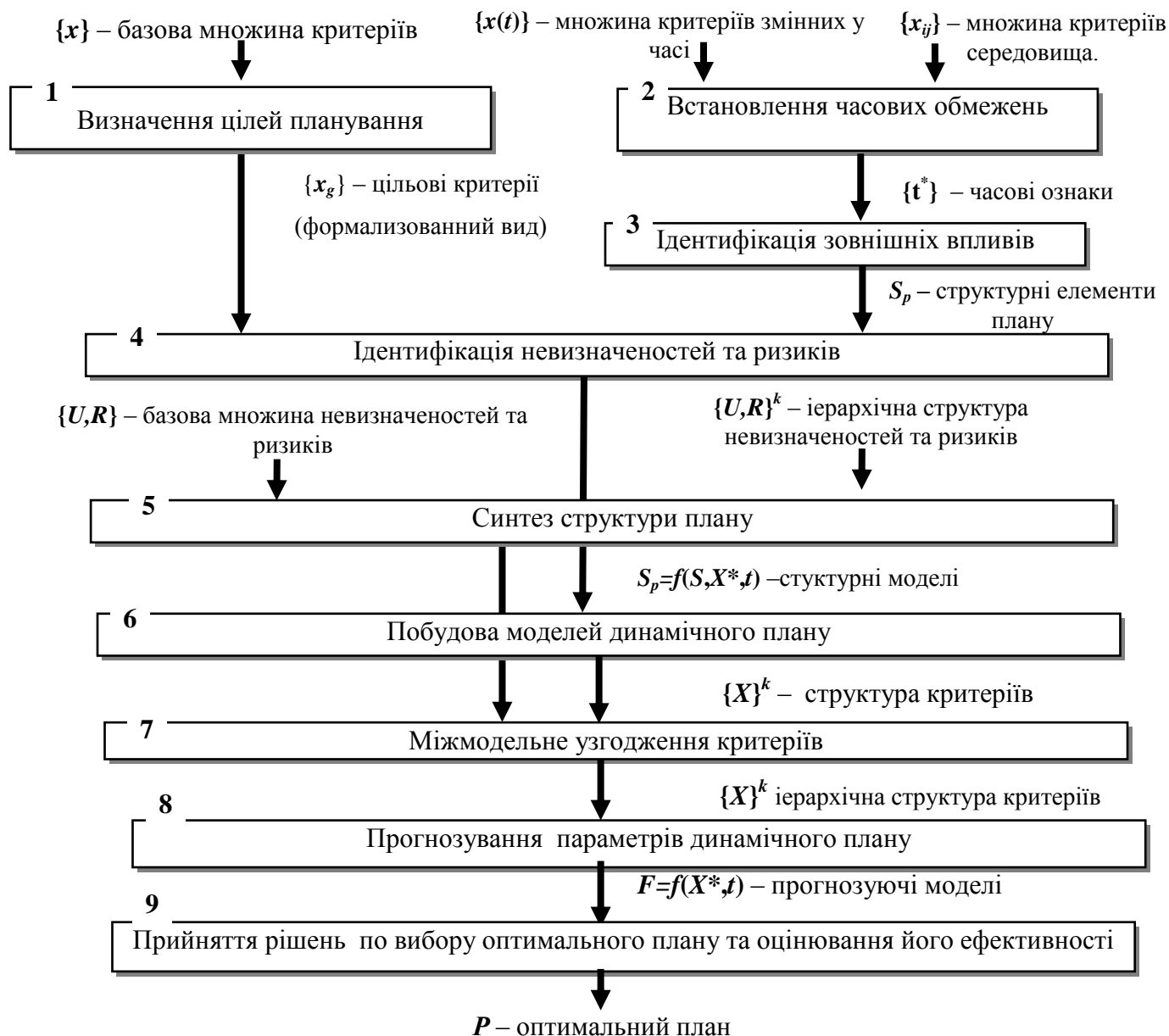


Рис. 3.3 Етапи перетворення інформації при вирішенні задач динамічного планування

3.2 Обробка якісної інформації в задачах динамічного планування

Обробка якісної інформації в задачах динамічного планування проходить у два етапи. На першому етапі проводиться експертне опитування. У роботі розроблена узагальнена обчислювальна процедура експертного опитування з оцінкою компетентності експертів і визначенням коефіцієнта конкордації який характеризує коефіцієнт узгодженості думок

експертів [118] (рис. 3.4). На другому етапі застосовуються методи багатокритеріального аналізу.



Рис.3.4 Узагальнений алгоритм експертного опитування з урахуванням компетентності експертів

На першому етапі експертного опитування проводиться анкетування за методом Дельфі [170]. При використанні методу Дельфі повинна бути забезпечена взаємна незалежність відповідей експертів на кожному кроці, оцінки бажано отримувати в кількісній формі, аргументи повинні узагальнюватися в безособовому вигляді. Отримані оцінки експертів зважують шляхом їх множення на коефіцієнт компетентності даного

експерта, що вимірюється в частках одиниці. Коефіцієнт компетентності можна, в свою чергу, визначати методом колективної експертної оцінки [169].

Алгоритм врахування компетентності експертів. Для врахування компетентності експертів запропоновано узагальнений алгоритм. Для здійснення оцінки цієї характеристики експерта введено числовий показник – коефіцієнт компетентності. Існує багато методів знаходження коефіцієнта компетентності. Для кожного окремого випадку обирають той метод, який найкраще підходить для конкретної задачі.

Для цього можна використати методику [118,169], яка базується на застосуванні формул:

$$Z_j = \frac{R_j}{\sum_{j=1}^m R_j}, \quad (3.1)$$

де

$$R_j = \frac{(0,1R_i + R_a)}{2},$$

де Z_j – відносний коефіцієнт компетентності; m – кількість експертів; R_j – коефіцієнт інформованості з проблеми; R_a – коефіцієнт аргументації.

Коефіцієнт R_i визначається на основі самооцінки експерта по проблемі, що вирішується за наступними чисельними показниками: $R_i = 0$ – експерт зовсім не знає проблеми; $R_i = 1/3$ – експерт поверхово знайомий з проблемою; $R_i = 4/6$ – експерт знайомий з проблемою, але не приймає безпосередньої участі в її вирішенні; $R_i = 7/9$ – експерт знайомий з проблемою і приймає безпосередню участь в її вирішенні; $R_i = 10$ – експерт знає проблему на відмінно. R_a визначається як сума балів за відмітками експерта в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Таблиця оцінки впливу джерела інформації на думку експерта

Джерела аргументацій	Міра впливу джерел на думку експерта		
	висока	середня	низька
Аналіз	0,33	0,18-0,2	0,05-0,1
Досвід	0,5	0,3-0,35	0,1-0,15
Огляд робіт закордонних авторів	0,05	0,05	0,05
Інтуїція	0,05	0,05	0,05

Узгодженість експертів розраховується за алгоритмом, зображеним на рис. 3.5. При оцінці об'єктів експерти мають різні думки по питанню, що вирішується. У зв'язку з цим виникає необхідність оцінки міри узгодженості експертів. Оцінку кожного експерта представляється як точка у деякому просторі, в якому визначено поняття відстані. Якщо оцінки експертів знаходяться на невеликій відстані одна від одної, то це можна інтерпретувати як узгодженість експертів. Якщо ж точки у просторі на знаходяться на великій відстані, то узгодженість – незначна. При використанні кількісних шкал виміру і оцінці об'єкта лише за одним критерієм думки груп експертів можна представити як точки на числовій осі. Ці значення можна розглядати як реалізацію випадкової величини. Тоді центр групування точок можна розглядається як математичне сподівання, а розсіювання оцінюється дисперсією випадкової величини.

Після того як визначено взаємну узгодженість між експертами необхідно визначити процедуру вибору. Процедура вибору (наступний етап) здійснюється на основі методів багатокритеріального аналізу [139].

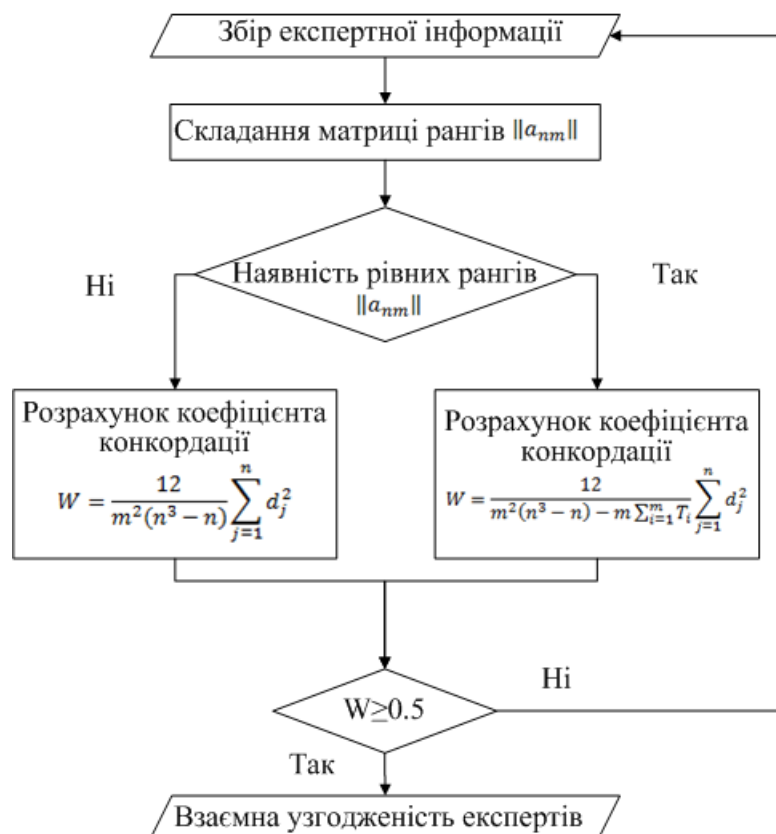


Рис. 3.5 Алгоритм розрахунку узгодженості між експертами

3.3 Аналіз інформації при побудові динамічних планів на основі нечітких когнітивних карт

Побудова динамічних моделей складних систем і процесів є доступним способом отримання поглибленої інформації про їх поведінку. Методи моделювання динамічних систем і процесів залежать від ступеня складності системи, та типу їх поведінки. Динамічні системи можливо представити у вигляді диференціальних рівнянь, що описують будь-які закони поведінки, що діють в них. У цьому випадку основним завданням моделювання є підбір коефіцієнтів, що входять до рівнянь, та забезпечують адекватність математичної моделі. При дослідженні складних соціально-економічних систем, дуже важко отримати достовірну і адекватну математичну модель через велику невизначеність взаємодій елементів системи. Тому доводиться використовувати методи ймовірностатистичного аналізу.

Останнім часом отримали розвиток методи видобування знань з даних, такі як методи інтелектуального аналізу даних, методи нечіткого аналізу і моделювання та інші. Це дає досліднику потужний інструмент для подолання невизначеностей при моделюванні складних систем і процесів різної природи [30,32,33,39,111,131,165,235,236].

Інформація, що описує функціонування динамічних процесів і систем з метою побудови динамічних планів і прийняття рішень різнорідна, та велика за обсягом, неоднорідна і найчастіше не має кількісної інтерпретації. Побудова моделей таких систем або процесів відображення якісного переходу елементів і системи з одного стану в інші представляє значну проблему. У зв'язку з цим для обробки даних і формування динамічних планів доцільно використовувати методи когнітивного аналізу.

Для дослідження складних систем доцільно застосування нечітких когнітивних карт [34,194,218,275]. Вибір способу дослідження слабоструктурованих систем і ситуацій у вигляді множини факторів і причинно-наслідкових зв'язків між ними обумовлений тим, що явища і процеси функціонування та розвитку слабоструктурованих систем включають в себе різні події, тенденції, які зумовлені багатьма чинниками, причому кожен у свою чергу впливає на деяке число інших факторів.

Дослідження взаємодії факторів дозволяє оцінювати поширення впливу з когнітивної карти, що змінює їх стан (значення). Поведінка (стан) системи може бути описана на основі значень системних змінних, що робить можливим використання класичних підходів з теорії систем, зокрема, для моделювання, аналізу динаміки. Аналіз когнітивної карти дозволяє виявити структуру проблеми (системи), знайти найбільш значущі фактори, що впливають на неї, оцінити вплив факторів (концептів) один на одного. Якщо в когнітивній карті виділені цільові та вхідні концепти, на які можна впливати, то коло вирішуваних завдань включає оцінку досяжності цілей, розробку динамічних планів та пошук рішень [187,256,257].

Завдання аналізу ситуацій на основі когнітивних карт можна розділити на два типи: статичні і динамічні [35]. Статичний аналіз або аналіз впливів – це аналіз досліджуваної ситуації за допомогою вивчення структури взаємовпливів когнітивної карти. Аналіз впливів визначає фактори з найбільш сильним впливом на цільові фактори, тобто фактори, значення яких потрібно змінити. Динамічний аналіз лежить в основі визначення варіантів розвитку ситуації в часі. Для проведення обох видів аналізу, як правило, застосовується математичний апарат двох типів: апарат лінійних динамічних систем і апарат нечіткої математики.

Процес формування і використання когнітивних карт у задачах аналізу інформації представляється у вигляді послідовності наступних кроків:

- визначення списків концептів (згідно списку концептів у разі опитування групи експертів);
- визначення відносин причинності (впливу) між кожною парою концептів (узгоджених відносин причинності);
- побудова когнітивної карти;
- динамічне моделювання;
- аналіз системних характеристик когнітивних карт;
- прийняття рішень на основі аналізу системних характеристик НКК.

На даний час відомо кілька видів когнітивного аналізу на основі когнітивних карт, які розрізняються способами типом когнітивних карт і методами їх аналізу [194].

Найбільш поширені види когнітивних карт такі: – знакові когнітивні карти [187]; – нечіткі когнітивні карти Коско [275]; – модифіковані нечіткі когнітивні карти Коско [275]; – нечіткі реляційні когнітивні карти [34,194]; – нечіткі продукційні когнітивні карти [34,35]; – нечіткі когнітивні карти Силова [194].

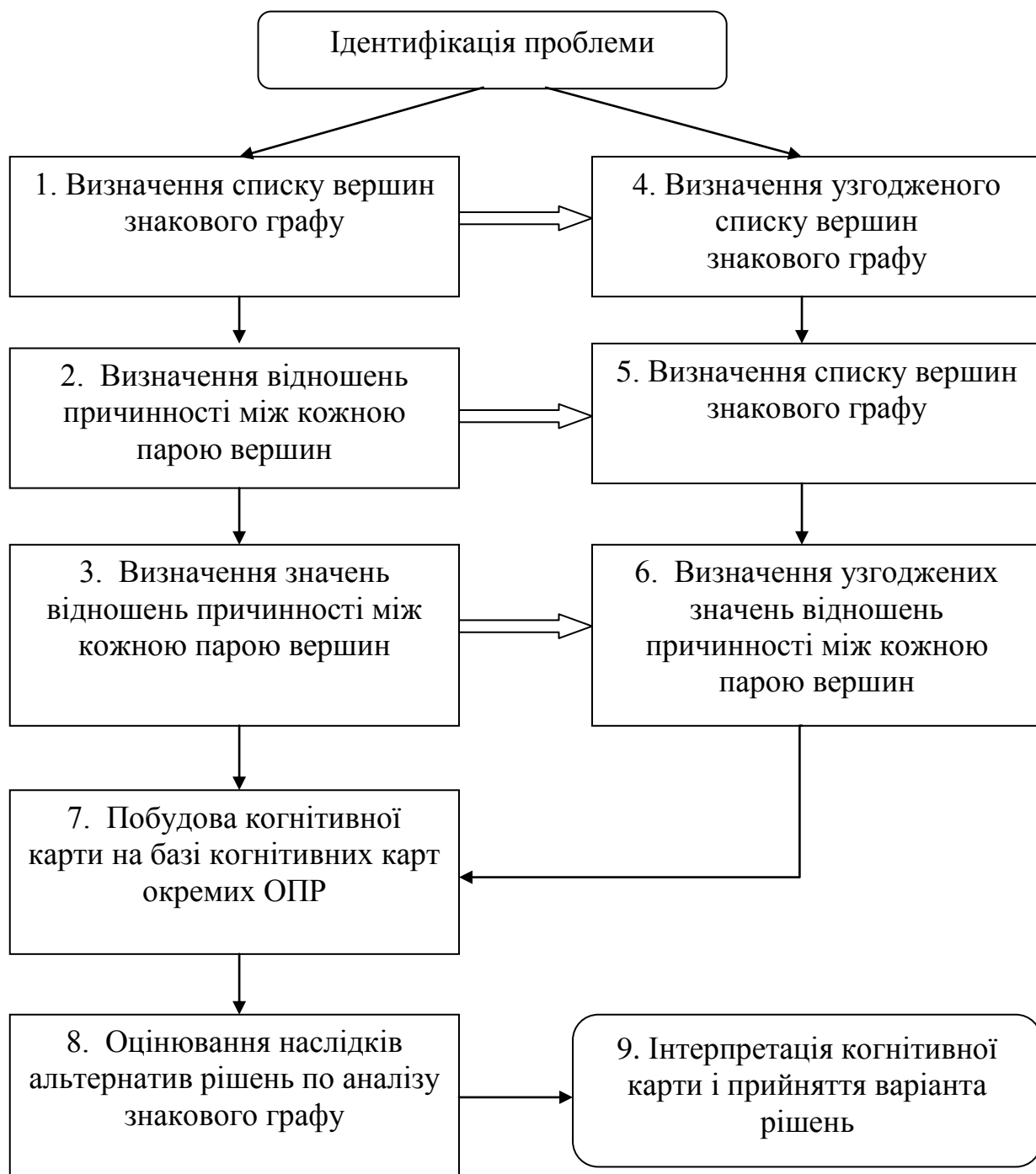


Рис. 3.6. Формування когнітивної карти проблеми

Використання когнітивних карт, як правило, потребує для прийняття рішення додаткового аналізу та інтерпретації. Загальний процес формування когнітивної карти проблеми в задачах аналізу складних систем представлений на рис. 3.6.

Найбільш універсальні - це нечіткі когнітивні карти Силова. Головною у процесі аналізу за допомогою нечітких когнітивних карт є процедура обчислення системних характеристик когнітивної карти [194]: спільного консонансу, дисонансу та впливу, заснована на порівнянні контурів, утворених з концептів карти за критерієм відповідності, балансу і сили впливу. Активне використання нечітких когнітивних карт в якості засобу моделювання систем обумовлено можливістю наочного подання системи, яка аналізується, і легкістю інтерпретації причинно-наслідкових зв'язків між концептами. Розроблено метод аналізу інформації на основі нечіткого когнітивного моделювання. В основі метода лежить побудова нечіткої когнітивної карти проблеми і її аналіз, а також ітеративне обчислення системних показників нечіткої когнітивної карти: консонансу c_i , дисонансу d_i , та впливу системи на концепт \vec{P}_i і концепта на систему \overleftarrow{P}_j .

$$c_{ij} = \frac{|v_{ij} + \overline{v}_{ij}|}{|v_{ij}| + |\overline{v}_{ij}|}; \quad d_{ij} = 1 - c_{ij}; \quad \vec{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_{ij}; \quad \overleftarrow{P}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{ij} \quad (3.2)$$

При аналізі інформації в динамічному середовищі відстежується динаміка змін параметрів плану, що аналізуються. Для цього системні показники когнітивної карти обчислюються ітеративно для кожного етапу плану. Це дає змогу дослідити динаміку змін системних показників у відповідності до зміни ситуації і відповідно відобразити зміни в плані, що розробляється.

На рис. 3.7 представлена процедура використання нечітких когнітивних карт при вирішенні задач динамічного планування.

Приклад. На основі методу нечіткого когнітивного аналізу інформації необхідно дослідити зміни ситуації при плануванні заходів по зменшенню забруднення водних ресурсів, а також визначити головні фактори та розглянути плани розвитку ситуацій при забрудненні водних ресурсів [74].

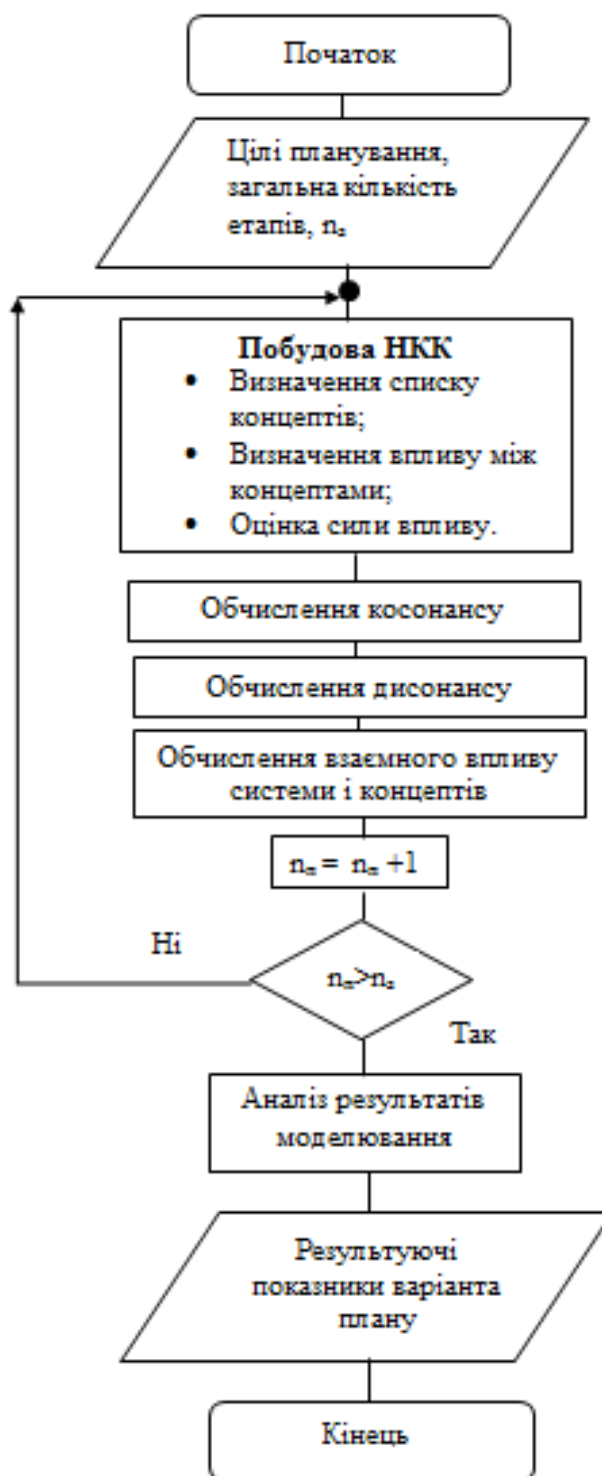


Рис.3.7 Загальна процедура використання нечітких когнітивних карт при вирішенні задач динамічного планування

Створюється список концептів нечіткої когнітивної карти для оцінювання впливів різних факторів на забруднення водних ресурсів. В результаті експертного опитування створено перелік концептів нечіткої когнітивної карти:

- К1 – забруднення водних ресурсів;
- К2 – промислові відходи (стоки);
- К3 – старіння очисних споруд;
- К4 – техногенні аварії;
- К5 – нові технології очищення;
- К6 – вартість нових очисних споруд;
- К7 – зростання населення;
- К8 – стан навколишнього середовища;

Ситуація, яка моделюється, може бути представлена у вигляді нечіткої когнітивної карти (рис.3.8), яка ілюструє множинні зв'язку і характер взаємодії визначених факторів.

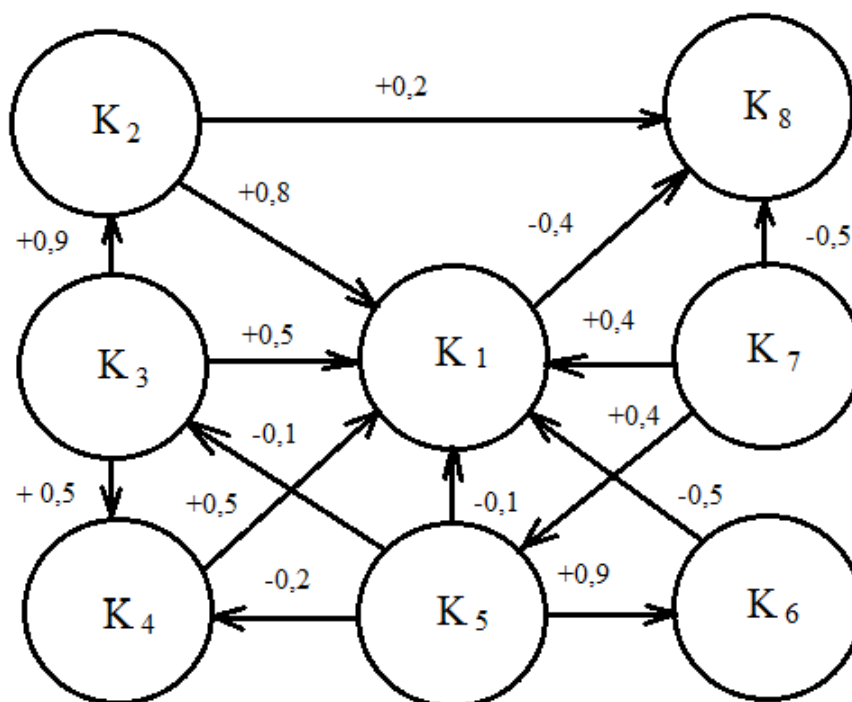


Рис.3.8 Нечітка когнітивна карта для моделювання задачі забруднення водних ресурсів.

Для розрахунків параметрів нечітких когнітивних карт використано програмний продукт FCMapper .

Матриця концептів, в якій позначені відношення причинності між
кжною парою концептів карти

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈
забруднення водних ресурсів (K ₁)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	- 0.40
промислові стоки (K ₂)	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
старіння очисних споруд (K ₃)	0.50	0.90	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
техногенні аварії (K ₄)	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
нові технології очищення (K ₅)	-0.10	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00
вартість нових очисних споруд (K ₆)	-0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
зростання населення (K ₇)	0.40	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.80
стан навколишнього середовища (K ₈)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

На основі матриці концептів розрахуємо головні системні показники (рис. 3.9): консонанс (outdegree), дисонанс (indegree) та вплив одного фактору на інший [194].

Для побудови динамічного плану необхідно проаналізувати обраховану нечітку когнітивну модель. Найбільш впливовими концептами на стан забруднення водних ресурсів є вплив таких концептів таких як K₂ (Промислові стоки) K₃ (старіння очисних споруд) K₅ (витрати на новітні технології), K₇ (збільшення населення). Ці концепти здійснюють найбільший вплив один на одного та на систему в цілому. Перш за все зазначимо, що найбільший вплив на систему має концепт K₂, а найменший

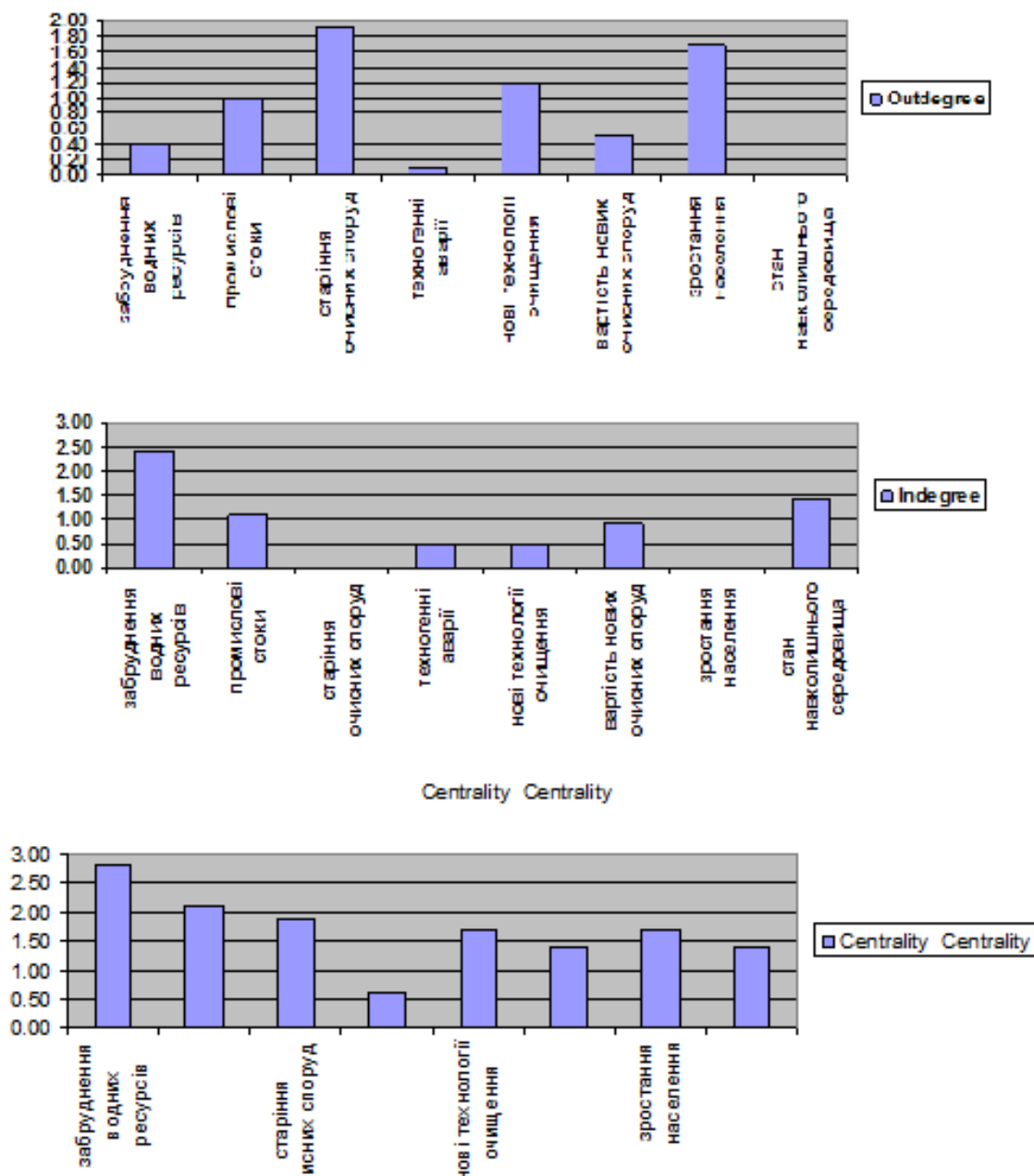


Рис.3.9. Консонанс (outdegree), дисонанс(indegree) та вплив одного фактору на інший

вплив на систему має концепт К4. З цього слід зробити висновок, що витрати від техногенних аварій, які трапляються рідко, впливають на стан забруднення і на баланс у незначній мірі. Насамперед необхідно виділяти кошти на нові технології очищення К5 та на очисні споруди, адже вплив концепту К3 є суттєвим.

Виходячи з результатів аналізу НКК найбільш критичними для побудови динамічних планів є концепти К2 (рівень промислових стоків), К3

(старіння очисних споруд), К7 (збільшення населення). Для побудови динамічного плану необхідно дослідити зміну значень цих параметрів на певних відрізках часу. Для цього системні показники НКК обчислюються ітеративно відповідно до плану досягнення цілі.

Головна ціль це зменшення рівня забруднення водних ресурсів враховуючи фактор старіння очисних споруд і збільшення рівня промислових стоків. В таблиці 3.2 представлені етапи плану по зменшенню забруднення водних ресурсів.

Таблиця 3.2 План заходів по зменшенню рівня забруднення водних ресурсів

N	Етап плану	Заходи	Значення концептів
1	Перший етап, 3 місяця	Зменшення рівня промислових стоків, дослідження і ремонт очисних споруд	Зменшення К2, Збільшення К6
2	Другий етап, 6 місяців,	Зменшення рівня промислових стоків, впровадження нових технологій очистки, збільшення фінансування	Зменшення К2, Збільшення К6, К5
3	Третій етап	Зменшення рівня промислових стоків шляхом впровадження нових очисних споруд і нових технологій очистки.	Зменшення К2, Збільшення К5
4	Четвертий етап, 6 місяців	Зменшення рівня промислових стоків шляхом впровадження	Зменшення К4, Збільшення К5

		нових технологій очистки, і зменшення ймовірності техногенних аварій.	
5	Ціль	Зменшення рівня забруднення.	Зменшення К1,К7

На рис.3.10 представлені результати ітеративного обчислення системних показників НКК.

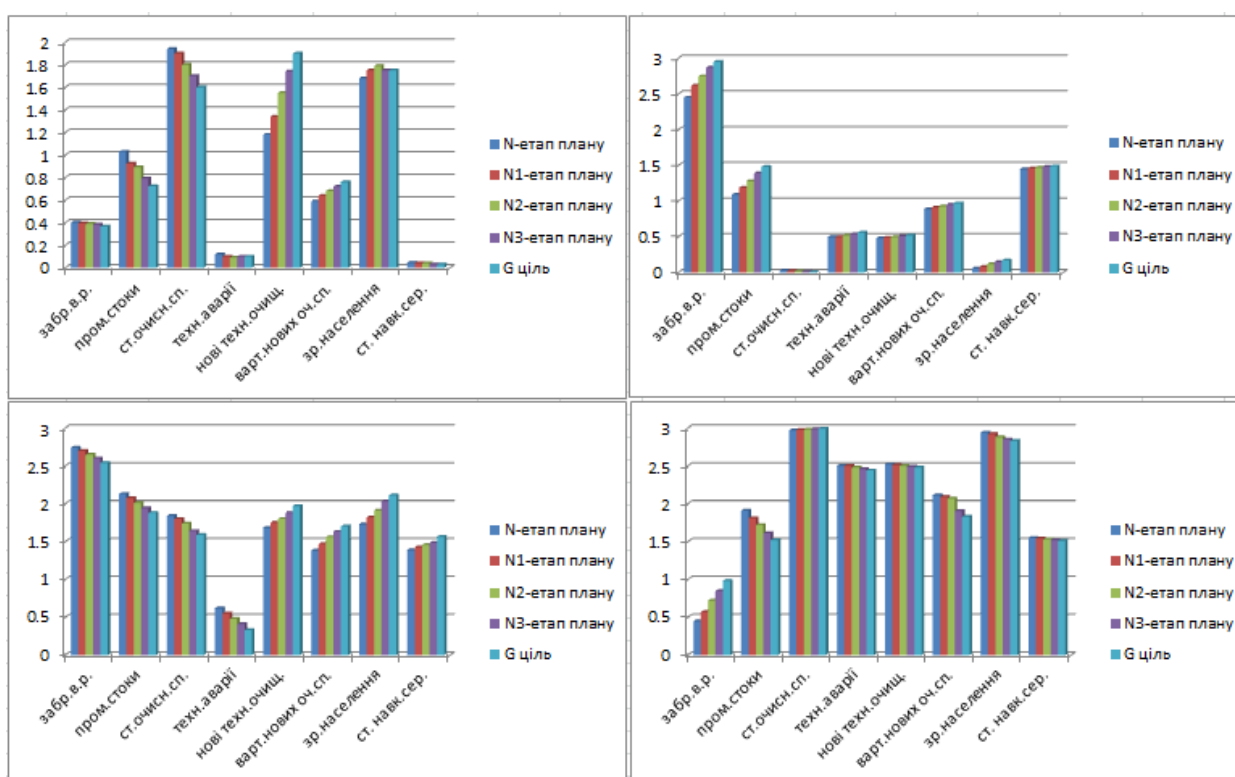


Рис.3.10 – Результати аналізу НКК: 1) консонанс c_i , 2) дисонанс d_i , 3) вплив системи на концепт \bar{P}_i , 4) вплив концепта на систему \bar{P}_j

В результаті аналізу НКК відстежується динаміка змін в системі і приймається рішення про зміну плану.

Таким чином можна провести аналіз системи за допомогою нечітких когнітивних карт, результатом аналізу є найбільш впливові показники в системі. На основі ітеративного обчислення системних показників провести моделювання, вирішити як саме і який концепт буде впливати на систему та

інші концепти. Такий підхід дозволяє виділяти найбільш впливові фактори в задачі, та на базі їх аналізу будувати динамічні плани розвитку ситуацій.

3.4 Аналіз та оцінювання ризику в задачах динамічного планування

Для оцінювання величини ризиків в задачах динамічного планування використовуються міри ризиків. Ризик характеризують два важливих аспекти: *волатильність* (мінливість) індикаторів, імовірність або частота подій, і, по-друге, *чутливість* критеріїв діяльності до їх наслідків. Відповідно можна запропонувати дві основні категорії вимірювання ризиків: показники чутливості та імовірнісні (статистичні) величини [28]. Розподіл стає ще більш умовним, з прийняттям до уваги суб'єктивності, що є принциповою властивістю оцінок ризику.

Волатильність. На практиці розподіл показників ефективності зазвичай оцінюється за ретроспективою, допускаючи, що спостереження ідентичні і незалежно розподілені. Якщо N – кількість спостережень, то очікувану доходність m можна оцінити простою середньою \bar{x} , а ризик варіацією – оцінкою дисперсії. Квадратний корінь із оцінки дисперсії доходності – стандартне відхилення – називають волатильністю (мінливістю):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} . \quad (3.3)$$

Вона вимірює величину розсіювання значень показників ефективності навколо очікуваного рівня [28].

Необхідно зазначити, що *невизначеність втрат* характеризують не певні показники розподілу, а сам розподіл. Існують розподіли, наприклад, розподіл Коші, для якого не існує дисперсії і апроксимація за розподілом Коші випадкових процесів, які характеризуються кінцевим математичним сподіванням і кінцевою дисперсією, є неправомірною [23]. Тому вибір для оцінки волатильності тієї чи іншої характеристики розподілу повинен

відбуватися з урахуванням особливостей розподілу даних і задачі, що розглядається. Як підсумок, можна зробити висновок про те, що *волатильність* — це характеристика, що визначає мінливість результатів від використання певного інструменту. Інтервали часу, за які розраховується волатильність та інші параметри в динамічному плануванні можуть бути різноманітні: години, дні, тижні, місяці, квартали і роки. В зв'язку з цим постає проблема агрегування – вираження волатильності і очікуваної ефективності для різних періодів.

Наведені міри ризику характеризуються наступними недоліками:

1. Більша частина з них не може бути агрегована, тобто зведення в один показник такого ж типу однаково для всіх факторів ризику. Фактори ризику не можуть бути агреговані для різних задач.
2. Традиційні міри ризику порівняно погано дозволяють контролювати ризик. Ліміти позицій, що визначаються факторами ризику або показниками чутливості часто неефективні.

Все це робить самим розповсюдженим в сучасному ризик-менеджменті підхід до оцінювання ризиків втрат на основі показника «вартості під ризиком» (*Value-at-Risk – VAR*), який достатньо ефективно справляється з вище перерахованими проблемами. *VAR* є однією з основних кількісних мір ризику, що показує максимально можливий збиток, який може виникнути при реалізації плану протягом певного майбутнього періоду часу з наперед заданою ймовірністю.

Показник *VaR* – це виражена в грошових одиницях оцінка величини, яку не перевищать протягом даного періоду втрати з заданою ймовірністю. Міра ризику *Value-at-Risk* на сьогоднішній день є стандартом у вимірах ризиків і для її обчислення розроблено багато моделей і методів [192,261].

Величина *VaR* розраховується: – на визначений період часу у майбутньому (часовий горизонт); – із заданою ймовірністю його перевищення (рівень довіри); – при даному припущенні стосовно характеру зміни середовища (метод розрахунку).

Ключовими для VaR є такі параметри:

- *Очікувана кількість ризику*, яка може розраховуватися в абсолютному вимірі або у процентному відношенні до значення показника на певну дату.

- *Часовим горизонтом*, який характеризується очікуваною реалізацією ризику (тобто термін, за який можна реалізувати на ринку даний інструмент (закрити позиції) без істотних втрат). На практиці, використовують, в залежності від задачі використання VaR, такими горизонтами може бути день, тиждень, декада, місяць.

- *Глибина періоду розрахунку VaR* – це об'єм ретроспективних або штучно змодельованих даних, на основі яких визначається оцінка. Наприклад, фраза «глибина розрахунку тижневого VaR складає 2 роки» означає, що для розрахунку втрат на тиждень бралися дані за 2 роки [144].

- *Імовірність*, з якою максимальні збитки не перевищують розрахованої очікуваної кількості ризику, визначається в залежності від переваг за ризиками, що виражені в регламентуючих документах наглядових органів або в корпоративній практиці. Наприклад, Базельський комітет з банківського нагляду рекомендує рівень довіри – 99%, на який орієнтується наглядові органи; на практиці найбільш популярним рівнем довіри є 95% [144]. Тобто формула (3.3) тлумачиться так: очікуваний об'єм ризику VaR перевищить реальний об'єм ризику x за часовий горизонт t з імовірністю α ($\alpha = 0,01; 0,05$ і т. ін.).

Розглянемо деякі підходи до оцінювання VaR, представлені на рис.3.11.

Параметричний метод розрахунку VaR заснований на обчисленні оцінки ризику на основі статистичної моделі фінансового результату оцінки активів.

В основі параметричного методу лежать дві складові:

- залежність вартості фінансового результату плану від змін факторів ризику;
- волатильність і кореляція факторів ризику.

Локальне оцінювання означає лінійну, або більш складну апроксимацію функції вартості показників.

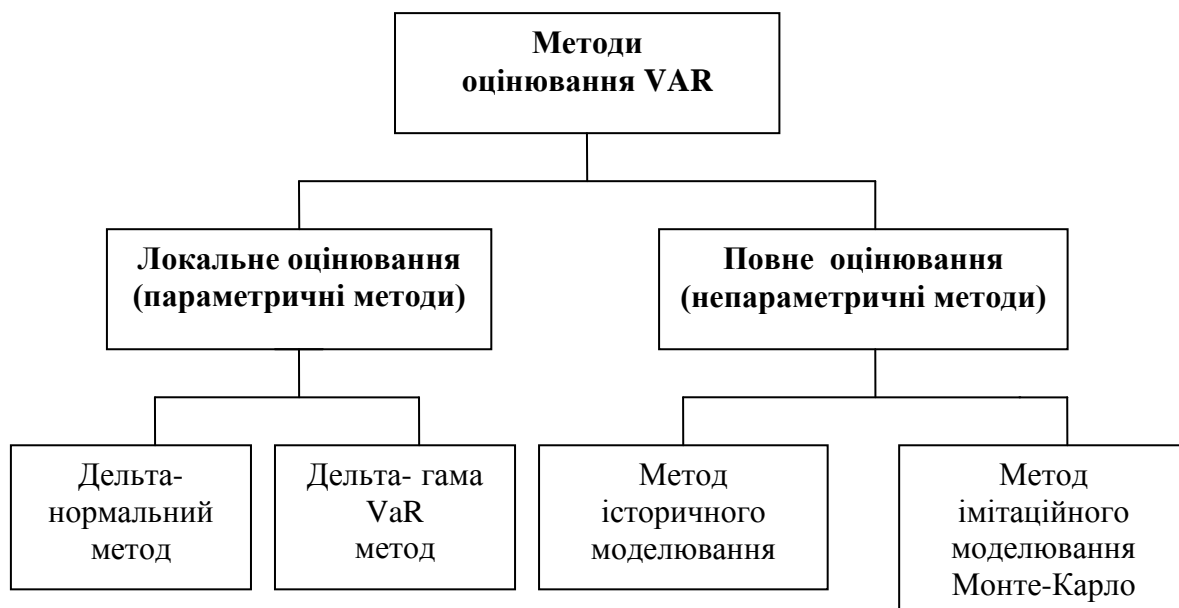


Рис. 3.11 Методи оцінювання VaR

На практиці часто використовуються два параметричних методи розрахунку VaR: дельта-нормальний VaR і дельта-гама VaR.[144]

В основі методу лежить припущення про нормальний розподіл прибутковостей зазначених факторів ризику. З цього випливає, що розподіл прибутковостей будь-яких інструментів, які є лінійними комбінаціями факторів ризику, також виявляється нормальним розподілом.

На практиці найбільшої популярності здобув дельта-нормальний VaR

Дельта-нормальний метод В його основі лежить припущення про нормальний закон розподілу логарифмічних дохідностей факторів ризику.

$$r_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \sim N(\mu, \sigma^2). \quad (3.4)$$

Припущення про нормальний закон розподілу факторів ризику значно полегшує знаходження величини VaR, тому що в цьому випадку розподіл

доходностей інструментів, які є лінійними комбінаціями факторів ризику, також буде нормальним.

Із зробленого припущення випливає, що величина прибутковості активу I_t за спостережуваний період t може бути представлена наступним чином:

$$I_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} \approx \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \sim N(\mu, \sigma^2), \quad (3.5)$$

де: P_t, P_{t-1} – ціна активу на початку і в кінці періоду відповідно; μ, σ^2 – математичне сподівання і дисперсія прибутковості активу відповідно.

З (3.4) випливає, що найбільший збиток за період t внаслідок падіння ціни активу із заданою ймовірністю $(1 - \alpha)$ може відбутися у тому випадку, якщо ціна активу наприкінці періоду складе величину, яка визначається за формулою:

$$P_t = P_{t-1} e^{\mu - k_{1-\alpha} \sigma}, \quad (3.6)$$

де: $k_{1-\alpha}$ – квантиль нормального розподілу ймовірностей, що показує на яке число стандартних відхилень відносно середнього може максимально відхилитися значення випадкової величини з довірчою ймовірністю $1-\alpha$. Звідки можна визначити найбільшу зміну ціни активу VAR за період t з довірчою ймовірністю $1-\alpha$:

$$RS = P_{t-1} (e^{\mu - k_{1-\alpha} \sigma} - 1) \approx P_{t-1} (\mu - k_{1-\alpha} \sigma), \quad (3.7)$$

Останнє наближення справедливе при маленьких σ . Таким чином, знаючи поточну вартість активу P_{t-1} , його очікувану прибутковість μ і волатильність σ за горизонт розрахунку VAR , можна по формулі (3.7) знайти значення ризикової вартості капіталу VAR з часовим горизонтом t і довірчим інтервалом $1-\alpha$.

Оцінка VAR з довільним часовим горизонтом. Припустимо, що необхідно оцінити VAR для горизонту розрахунків, відмінного від відомого

горизонту t . Якщо допустити припущення про ефективність показників плану, що складається в тому, що поточна вартість, ціна показника враховує всю необхідну інформацію про актив в конкретний момент часу і в подальшому змінюється під впливом новин, що не були заздалегідь спрогнозовані. В цьому випадку часова кореляція між цінами показника плану виявиться рівною нулю і, отже, відповідно до положень теорії ймовірності очікувана ефективність виявиться пропорційною тимчасовому горизонту T , а волатильність пропорційна квадратному кореню від T :

$$RS = P_{t-1} \left(\mu \frac{T}{t} - k_{1-\alpha} \sigma \sqrt{\frac{T}{t}} \right). \quad (3.8)$$

Визначення часового горизонту. На практиці планування в якості часового горизонту T використовують одnodенні, тижневі і місячні або річні тимчасові горизонти. У зв'язку з підвищеним ризиком початкових етапів інноваційного циклу можна рекомендувати тут розрахунки VAR з одnodенним тимчасовим горизонтом. На заключних етапах циклу, в залежності від цілей дослідження, можна визначати часовий горизонт на основі очікуваного горизонту інноваційного проекту, періоду погашення кредиту, терміну життя обладнання, періоду до дати закінчення договорів і т.п. З формули (3.8) випливає, що на довгострокових горизонтах планування ($T \gg t$) на величину ризикового капіталу більше впливає очікуване значення прибутковості, а на короткострокових часових горизонтах ($T \leq t$) – волатильність. Внаслідок цього, розраховуючи величину ризикового капіталу з горизонтом в один день, для простоти можна наближено покласти: $\mu = 0$. У зв'язку з останнім зауваженням ризиковий капітал, розрахований за формулою (3.8), називають «абсолютним VAR» [14]. Абсолютний ризиковий капітал показує чистий збиток, розрахований з урахуванням очікуваної прибутковості активу. Відносний ризиковий капітал визначається як чистий збиток, обчислений без урахування очікуваної

прибутковості активу (в умовах нульової прибутковості активу). Внаслідок цього відносний VAR можна визначити за спрощеною формулою:

$$RS = P_{t-1} k_{1-\alpha} \sigma \sqrt{\frac{T}{t}}. \quad (3.9)$$

Визначення довірчої ймовірності. Рівень довірчої ймовірності повинен бути вибраний в залежності від ставлення ОПР до ризику, а також відповідно з регламентуючими документами наглядових органів. Зазвичай рекомендується застосовувати рівень довірчої ймовірності, що дорівнює 0,99 (99%).

Оцінка очікуваної прибутковості і волатильності. Оцінка очікуваної прибутковості плану може бути отримана на основі аналізу ретроспективних даних.

Для оцінки волатильності активів використовують підхід, заснований на аналізі ретроспективних даних.

Підхід, заснований на аналізі ретроспективних даних. Відповідно до даного підходу розподіл прибутковості активу оцінюється за ретроспективним даними в припущенні, що спостереження (прибутковості активу) за i -й період I_i мають однаковий розподіл і часова кореляція між цінами дорівнює нулю. При зазначених припущеннях очікуване значення прибутковості активу μ визначається за формулою:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n}, \quad (3.10)$$

де: n – кількість спостережень прибутковості показника за минулі періоди.

Волатильність активу σ можна визначити за формулою оцінювання стандартного відхилення, що вимірює ступінь розкиду значень випадкової величини відносного очікуваного значення [261]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \mu)^2}{n-1}}. \quad (3.11)$$

При цьому передбачається постійна в часі волатильність σ . Такий метод оцінювання волатильності називають «методом змінного середнього». Для центрованих даних у формулі (3.11) вважають $\mu = 0$.

Застосовують і складніші моделі, що враховують мінливість волатильності в часі. Як приклад використання такої моделі в Risk Metrics [149] можна привести модель експоненціального згладжування. Волатильність, яку визначають з урахуванням її мінливості в часі, називають «експоненціально зваженою волатильністю» σ_{ez} . В Risk Metrics експоненціально зважена волатильність визначається таким чином:

$$\sigma_{ez} = \sqrt{\lambda\sigma^2 + (1-\lambda)I_1^2}, \quad (3.12)$$

де: λ – параметр згладжування, що визначається з умови $0 < \lambda < 1$; I_1 – спостережувана прибутковість за останній період спостереження (найближчий до поточної дати розрахунку VAR).

У випадку нормально розподіленої випадкової величини довірчий інтервал $(1-\alpha)$ завжди характеризується єдиним параметром – квантиллю $k_{1-\alpha}$, яка показує положення шуканого значення випадкової величини (симетрично в обох хвостах розподілу) відносно середнього ($M[r_i]$), що виражене в кількості стандартних відхилень доходності (σ_i). Так, для значень довірчого інтервалу, які найчастіше використовуються, 95 і 99% відповідні квантилі будуть дорівнювати 1,65 і 2,33 стандартних відхилень доходності портфеля.[144]

Особливості дельта-нормального методу оцінки VAR для показників плану. У багатьох випадках необхідно виконати розрахунок ризику для

показників плану. Зокрема, на вартість показників можуть впливати багато факторів ризику.

Першим кроком даного методу оцінювання є процедура декомпозиції елементів плану за факторами ризику. Вартість кожного такого елемента плану представляється у вигляді аналітичної залежності від деякого вибраної множини факторів ризику. При цьому передбачається, що прибутковості факторів ризику підпорядковані спільному нормальному розподілу ймовірностей. Виділення множини факторів ризику, які впливають на вартість елементів плану і відображають основні джерела ризику, являє собою серйозну проблему. При цьому виділені фактори ризику, можуть надавати різний вплив одночасно на кілька елементів плану. У цьому зв'язку на практиці виділяють так звані стандартизовані позиції. Вартість показників плану представляється у вигляді алгебраїчної суми таких позицій. Кожна із стандартизованих позицій повинна являти собою функцію лише тільки одного фактора ризику і мати таку ж дельта-чутливість до факторів ризику, як і портфель активів. Під дельта-чутливістю розуміють величину зміни вартості показника при нескінченно малій зміні фактора ризику. При такому виборі стандартизованих позицій дельта-чутливості показників плану стандартизованих позицій до кожного з факторів ризику виявляються рівними.

Введемо наступні позначення: r_1, r_2, \dots, r_n – виділені фактори ризику; S_1, S_2, \dots, S_n – виділені стандартизовані позиції (стани системи при плануванні); $V = S_1 + S_2 + \dots + S_n$ – вартість плану.

Використовуючи правило виділення стандартизованих позицій, а також розкладання функції V в ряд Тейлора в межах її поточного значення, можна записати такі співвідношення:

$$\Delta V \approx \sum_{i=1}^n \frac{\partial V(r_1, \dots, r_n)}{\partial r_i} \Delta r_i = \sum_{i=1}^n \frac{\partial S_i(r_i)}{\partial r_i} \Delta r_i, \quad (3.13)$$

де: $\Delta V, \Delta r_i$ – прирости вартості плану та i -ого фактору ризику, відповідно.

Переваги та недоліки дельта-нормального метода.

Перевагами дельта-нормального методу є такі:

1. Простота реалізації.
2. Невеликі витрати на збір поточних даних.
3. Припустима точність оцінки.

Недоліки дельта-нормального методу.

1. Низька точність оцінки ризику нелінійних параметрів через недоліки виміру чутливості нелінійних параметрів до факторів ризику.
2. Ігнорування ризику екстремальних подій, які можуть привести до аномальних збитків і не є досить частими для того, щоб бути представленими в останніх історичних даних (на основі яких оцінюється кореляція і волатильність доходностей).[144]

Для врахування ризику екстремальних подій використовується стрес-тестування, яке є різновидом сценарного аналізу. Стрес-тестування – метод кількісної оцінки ризику, який полягає у визначенні величини неузгодженої позиції, яка визначається при несподіваній зміні зовнішнього фактора – валютного курсу, процентної ставки тощо [261]. Поєднання цих величин дає уявлення про те, яку суму збитків чи доходів можна отримати у разі, якщо події розвиватимуться за закладеними припущеннями.

Непараметричні методи (методи повного оцінювання).

Під непараметричними методами визначаються ті методи, в яких оцінювані функції (наприклад, функція розподілу) не визначаються кінцевим числом параметрів.[201] Повне оцінювання означає, що проводиться повний перерахунок вартості плану без апроксимуючих припущень.

Найпоширенішими непараметричними методами є:

- Метод історичного моделювання.
- Метод імітаційного моделювання Монте-Карло.

Суть обох методів полягає у побудові емпіричної функції розподілу майбутніх змін цін і, виходячи з цього, потенційних прибутків та втрат.

Метод історичного моделювання. Історичний варіант *VaR*-методу розрахунку показника ризикової вартості (*VaR*) полягає у застосуванні для обчислень реальних історичних значень часового ряду випадкової величини, що аналізується. Для розрахунку *VaR* необхідно побудувати розподіл змодельованих змін показників плану за вибраний попередній історичний період, які залежать від змін одного або декількох факторів ризику за цей же період. Процедура реалізації методу є такою:

1) визначається початковий ряд показників – базових значень (наприклад, цін), що розглядається для всіх зафіксованих в історичному періоді станів;

2) визначається часовий інтервал, на якому буде розраховуватися ризикова вартість (*VaR*);

2) визначається ймовірність (рівень довіри), з якою буде розраховуватися ризикова вартість;

3) з використанням базових значень відповідної випадкової величини послідовно розраховуються зміни базових значень, і відповідні їм зміни вартості одиничного активу або показників плану;

4) зміни вартостей, розраховані на попередньому етапі, упорядковуються за зростанням із формуванням часового ряду змін;

5) на часовому ряді змін, відповідно до вибраної ймовірності, починаючи з найбільших від'ємних значень, виокремлюється стільки значень, щоб відношення їх кількості до загальної кількості значень у часовому ряді змін становило не більше $1-\alpha$ % для ймовірності α (наприклад, не більше 1 % для ймовірності 99%);

6) значення, взяті із множини значень, що залишилися після виокремлення даних на попередньому етапі з найменшим номером індексу і буде шуканим значенням ризикової вартості *VaR* [216].

Переваги методу історичного моделювання:

– відносна простота реалізації методу;

- відсутність припущення про нормальний закон розподілу дохідностей факторів ризику на ринку крім тієї, що реально спостерігалася у минулому;
- прийнятна точність оцінки ризику нелінійних фінансових інструментів;
- відсутність ризику використання помилкової моделі для оцінки вартості інструмента;
- простота та наглядність.

Недоліки методу історичного моделювання:

- некоректність результатів у випадку, якщо вибірка, отримана на базовому періоді не є репрезентативною, у тому числі і за кількістю спостережень;
- використання лише однієї траєкторії цін;
- ігнорування різниці між старими і останніми спостереженнями, тоді як видалення із вибірки найбільш старих значень може значно покращити точність моделі;
- великий об'єм обчислень для великих диверсифікованих портфелів[149].

Метод імітаційного моделювання Монте-Карло. Метод Монте-Карло, або метод стохастичного моделювання, заснований на моделюванні випадкових процесів із заданими характеристиками. На відміну від методу історичного моделювання, у методі Монте-Карло зміни залежать відповідно до заданих параметрів розподілу, наприклад, математичним сподіванням μ і волатильністю σ . Імітуємий розподіл може бути будь-яким, а кількість сценаріїв – досить великою (до декількох десятків тисяч). В іншому метод схожий на метод історичного моделювання. Особливості розглянутих методів оцінювання наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 Головні особливості методів оцінювання.

Метод	Дельта - нормальний	Історичного моделювання	Метод імітаційного моделювання Монте-Карло
Критерії			
Оцінювання	Локальне	Повне	Повне
Врахування історичного розподілу	Як оцінка нормального розподілу	Аналогічно, тому, яке було у минулому	Повністю
Врахування «допустимої» волатильності	Можливе	Ні	Так
Припущення про нормальний розподіл доходностей	Так	Ні	Ні
Оцінка екстремальних подій	Погана	Погана	Можлива
Модельний ризик	Може бути значним	Допустимий	Високий
Об'єм ретроспектив	Середній	Дуже великий	Малий
Обчислювальна складність	Невисока	Висока	Дуже висока
Наглядність	Середня	Висока	Низька
Обчислювальні потужностей	Низькі	Середні	Високі

Міра ризику VaR має ряд переваг і недоліків. Серед її переваг слід відзначити простоту представлення інформації про ризик у вигляді лише одного значення вартості збитків. Серед її недоліків слід відзначити відсутність інформації про випадки, вірогідність яких мала, відсутність інформації про вигляд розподілу збитків і можлива неоднозначність у оцінці збитків залежно від декомпозиції ресурсів за факторами ризику. Для оцінки VaR використовуються методи локального оцінювання та повного оцінювання.

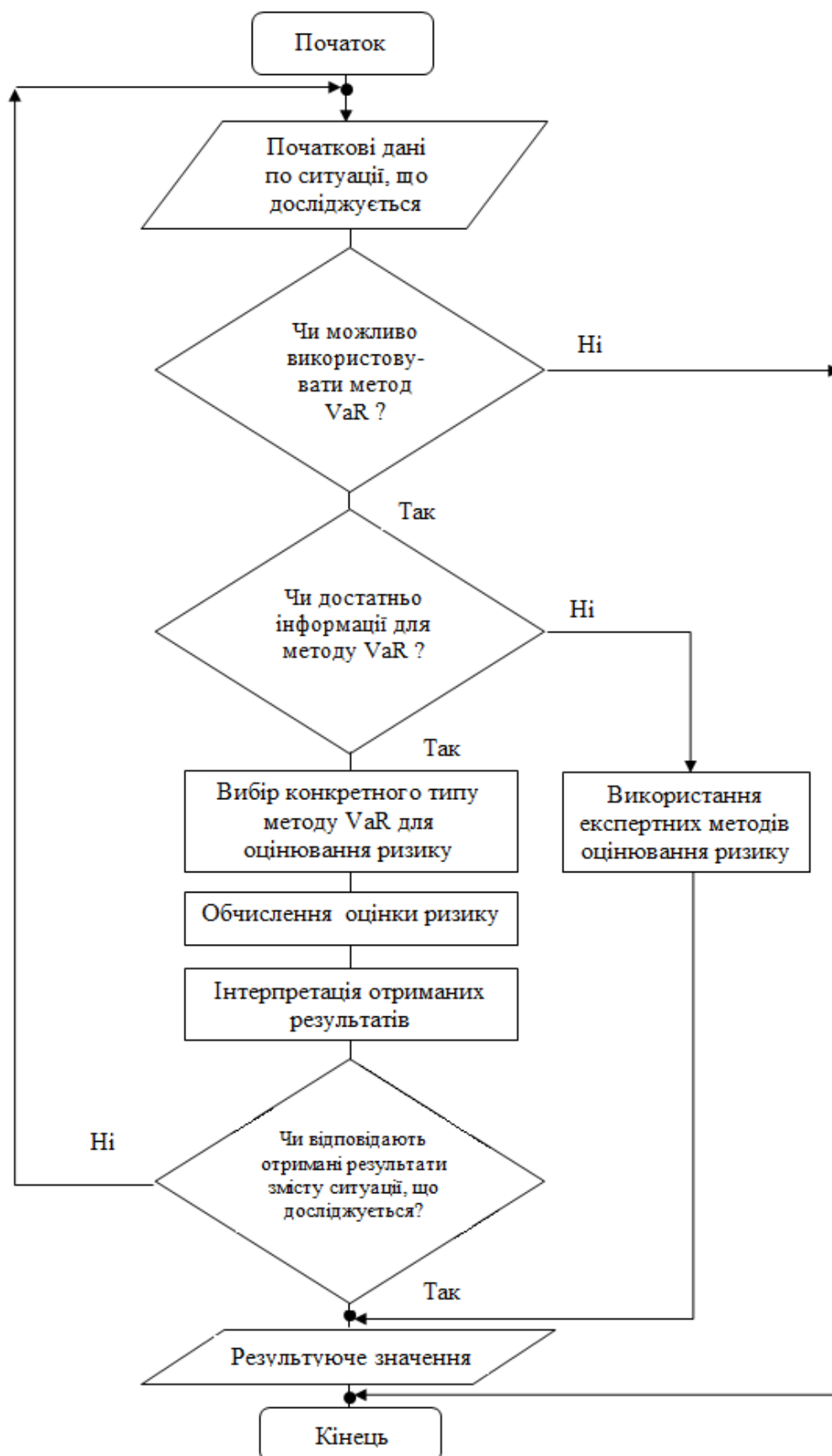


Рис.3.12 Загальна процедура розрахунку ризику за методом Var

Недоліками методів повного оцінювання є високі вимоги до обчислювальних потужностей для роботи в режимі он-лайн та відсутність інформації про вигляд розподілу збитків, коли при різних розподілах за заданим рівнем довіри може спостерігатися однакове значення VaR. На рис.3.7 представлено процедура оцінювання ризиків за допомогою міри ризиків VaR. Адекватність моделі для оцінки ризику при плануванні потрібно визначати періодично, обчислюючи кількість помилок прогнозу можливих втрат за річний період.

3.5 Оцінювання невизначеностей в задачах динамічного планування

При побудові динамічних планів оцінювання та врахування невизначеностей разом з аналізом та оцінкою ризиків має головне значення. Операції обробки невизначеностей при динамічному плануванні можна поділити так, як наведено нижче.

Обробка статистичних невизначеностей. Статистичні невизначеності найчастіше зустрічаються.[23,79] Вони пов'язані з розвитком моделей та оцінкою прогнозів та викликаються такими факторами:

- похибки вимірювань (шум), який є практично у всіх випадках збору даних незалежно від їх походження;
- стохастичні зовнішні збурення, що, як правило, негативно впливають на досліджуваний процес;
- значні випадкові викиди;
- мультиколінеарність, яка вимагає спеціальних методів обробки даних для зменшення ступеня взаємної кореляції між окремими часовими рядами.

Найчастіше засобами, які використовуються для відокремлення шуму і зовнішніх стохастичних збурень, є цифрові та оптимальні фільтри. Серед них фільтр Калмана є самим розповсюдженим інструментом обробки даних [119]. Цифрові фільтри (ЦФ) допомагають вибрати для подальшої обробки

потрібну смугу частот за допомогою лінійних структур, які можуть бути представлені у вигляді рівнянь авторегресії (AR), або авторегресії з ковзним середнім (ARMA) такого типу:

$$y(k) = \sum_{i=1}^p a_i y(k-i) + \sum_{j=1}^q b_j x(k-j), \quad (3.14)$$

де $x(k)$ – вхідна послідовність вимірювань; $y(k)$ – відфільтрована вихідна послідовність; $\theta = [a_1 \dots a_p \ b_1 \dots b_q]^T$ – вектор параметрів, який визначає смугу частот фільтра; p і q – порядки авторегресії та ковзного середнього, відповідно. Правильно спроектований адаптивний фільтр Калмана забезпечує можливість оцінювання коваріацій стохастичних збурень і шумів вимірювань, а також оцінку короткострокових прогнозів. Оптимальне проектування фільтра вимагає модель процесу (системи) у просторі станів:

$$x(k) = A(k, k-1)x(k-1) + B(k, k-d)u(k-1) + w(k), \quad (3.15)$$

$$z(k) = H x(k) + v(k), \quad (3.16)$$

де $x(k)$ – вектор простору станів, що складається з n елементів; $u(k)$ – це m -вимірний вектор управління; $w(k)$ – вектор випадкових зовнішніх збурень; $A(k, k-1)$ – це матриця ($n \times n$) динаміки системи; $B(k)$ – це матриця ($m \times n$) коефіцієнтів управління; k – дискретний час, пов'язаний з безперервним часом t через період дискретизації $T_s: t = kT_s$; d – час затримки системи по входу; $z(k)$ – це вектор вимірювання з r елементами; $H(k)$ – це матриця коефіцієнтів виміру (дуже часто це має діагональний вигляд); $v(k)$ – це вектор шуму (похибок вимірів). Подвійний аргумент часу $(k, k-1)$ означає, що змінна з таким аргументом використовується у момент часу k , але її значення формується на основі попередніх вимірів до $(k-1)$.

Основною перевагою моделі (3.14), (3.15) є те, що вона включає в себе дві складових випадкових процесів $w(k)$ і $v(k)$; отже, така модель більш адекватно відповідає реальності, ніж лінійна регресія. Основне завдання оптимального фільтра полягає у обчисленні векторних оцінок стану разом з урахуванням статистичних характеристик (коваріацій) двох випадкових процесів. Такий підхід забезпечує можливість для удосконалення оцінок вектора стану. Основне рівняння оптимального фільтра:

$$\hat{\mathbf{x}}(k) = A(k)\hat{\mathbf{x}}(k-1) + B(k)u(k-1) + K(k)[z(k) - H(k)A(k)\hat{\mathbf{x}}(k-1)] \quad (3.17)$$

де $K(k)$ – оптимальний коефіцієнт фільтра у матричній формі. Коефіцієнт обчислюється шляхом мінімізації функціоналу:

$$J = \min_{\mathbf{K}} E \left\{ [\hat{\mathbf{x}}(k) - x(k)]^T [\hat{\mathbf{x}}(k) - x(k)] \right\}, \quad (3.18)$$

де $x(k)$ – точне значення вектора стану, яке може бути знайдено за допомогою детермінованої частини моделі (3.15). У лінійному дискретному випадку коефіцієнт обчислюється шляхом знаходження розв'язку рівняння Ріккати.

Таким чином, оптимальний фільтр забезпечує можливість для зниження невизначеності у вигляді впливу двох випадкових процесів $w(k)$ і $v(k)$, а також оцінювання невимірюваних компонентів вектора стану, коли відповідні компоненти коваріаційних матриць відомі. В динамічному плануванні особливо корисні адаптивні версії фільтрів, які є найбільш придатними для практичних застосувань (в режимі роботи он-лайн і офф-лайн). Вони підходять для повторного оцінювання системи матриць $A(k)$ і $B(k)$, а також коваріацій двох випадкових процесів.

Невизначеність через відсутність спостережень. Для її подолання у часових рядах часто використовуються такі методи:

- просте усереднення, коли це можливо (коли тільки кілька значень відсутні);
- формування прогнозних оцінок за допомогою побудованої моделі з використанням наявних вимірювань;
- формування відсутньої оцінки за допомогою розподілів і їх параметрів, які визначаються на основі наявної частини вибірки даних;
- використання методів оптимізації, скажімо, відповідні форми ЕМ-алгоритмів [120, 266];
- експоненційне згладжування.

Найпростішою моделлю, яка може бути використана для оцінювання прогнозів, є AR (1):

$$y(k) = a_0 + a_1 y(k-1) + \varepsilon(k), \quad (3.19)$$

де a_0, a_1 параметри моделі; випадковий процес $\varepsilon(k)$ враховує можливі невизначеності структури моделі (відсутність відповідних регресорів, зовнішні випадкові збурення, похибки обчислення параметрів), а також можливі похибки вимірів. Якщо параметри a_0, a_1 відомі, можливо обчислити прогноз на крок вперед, як умовне математичне очікування у вигляді:

$$\begin{aligned} \hat{y}(k+1) &= E_k[y(k+1)] = E_k[y(k+1) | y(k), y(k-1), \dots, \varepsilon(k), \varepsilon(k-1), \dots)] = \\ &= a_0 + a_1 E_k[y(k)] = a_0 + a_1 y(k) \end{aligned} \quad (3.20)$$

оскільки $y(k)$ на момент k приймає відоме значення. Ітеративно можна отримати функцію прогнозування на довільну кількість кроків S [23]:

$$\hat{y}(k+s) = E_S[y(k+s)] = a_0 \left(\sum_{i=0}^{S-1} a_1^i \right) + a_1^S y(k) = a_0 \sum_{i=0}^{S-1} a_1^i + a_1^S y(k). \quad (3.21)$$

Послідовність прогнозних оцінок $\{\hat{y}(k+i)\} i=1, \dots, s$, буде збіжною, якщо $|a_1| < 1$:

$$\lim_{s \rightarrow \infty} E_k [y(k+s)] = \frac{a_0}{1 - a_1}, \quad (3.22)$$

Останній вираз означає, що для стаціонарного AR або ARMA процесів оцінки умовних прогнозів асимптотично ($s \rightarrow \infty$) збігаються до безумовного середнього (довгостроковий прогноз). Слід зазначити, що оптимальний фільтр можна також використовувати для оцінювання відсутніх даних, оскільки він містить "внутрішню" функцію прогнозування, яка забезпечує можливість для генерування короткострокових прогнозів. Подальше зменшення невизначеності можливе завдяки застосуванню кількох методів прогнозування і комбінування окремих прогнозів з використанням відповідних вагових коефіцієнтів.

Невизначеність параметрів моделі. Зазвичай невизначеності оцінок параметрів моделі, таких як упередженість і непослідовність пов'язані з низькою інформативністю даних або даними, що не відповідають нормальному розподілу. Така ситуація може мати місце у випадку мультиколінеарності регресорів та істотного впливу не лінійності процесу, що з деяких причин не були прийняті до уваги при побудові моделі. Коли об'єм вибірки даних незадовільний для побудови моделі, він може бути розширений за рахунок застосування імітаційного моделювання або спеціальних методів, таких як МГУА. Якщо дані не відповідають нормальному розподілу, то може бути використана метод максимальної правдоподібності або відповідні процедури Монте-Карло для ланцюгів Маркова [23]. Останні методи можуть бути застосовані з незначними обчислювальними витратами, коли кількість параметрів невелика.

Структурна невизначеність. При використанні в задачах прийняття рішень структура моделі повинна практично завжди оцінюватись за

допомогою даних. Це означає, що елементи структури моделі майже завжди приймають лише наближені значення. Коли модель побудована для прогнозування, аналізуються кілька кандидатів і вибирають кращу з них за множиною статистик якості моделі. Як правило, використовуються такі методи боротьби із структурними невизначеностями: поступове покращення порядку моделі (AR (P) або ARMA (P, Q)), застосування адаптивного підходу до моделювання та автоматичного пошуку "кращих" структур з використанням складних статистичних критеріїв якості; адаптивна оцінка часу затримки і типу розподілу даних та його параметрів; опису виявлених нелінійностей процесів за альтернативними аналітичними формами з подальшою оцінкою адекватності моделі і якості прогнозів. Комплексний критерій для моделювання і прогнозування може виглядати, наприклад, таким чином:

$$J = |1 - R^2| + \alpha \ln \left[\sum_{k=1}^N e^2(k) \right] + |2 - DW| + \beta \ln(MAPE) + U \rightarrow \min_{\hat{\theta}_i}, \quad (3.23)$$

де R^2 коефіцієнт детермінації; $\sum_{k=1}^N e^2(k) = \sum_{k=1}^N [y(k) - \hat{y}(k)]^2$ – сума квадратів похибок моделювання; DW – статистика Дарбіна-Уотсона; $MAPE$ – це середня абсолютна похибка у відсотках (на один крок прогнозування); U – це коефіцієнт Тейла, який характеризує корельованість похибок моделі; α, β – підібрані відповідним чином вагові коефіцієнти; $\hat{\theta}_i$ – це вектор параметрів для i -ї моделі-кандидата. Критерій такого типу використовується для автоматичного вибору кращої моделі-кандидата. Можливе подальше удосконалення складних критеріїв. Але при побудові критерію важливо не добавляти велику кількість членів у праву сторону рівняння (3.23).

Невизначеність амплітудного типу. Використання випадкових (тобто з випадковою амплітудою або рівнем) змінних, які не піддаються вимірюванню, приводить до необхідності використання нечітких множин

для опису таких ситуацій. Змінні з випадковою амплітудою можуть бути описані за деяким розподілом ймовірностей, якщо виміри можливі і їх можна проаналізувати за прийнятний проміжок часу. Однак, деякі змінні не можуть бути виміряні в принципі. У таких ситуаціях для змінної можна призначити множину можливих значень у лінгвістичній формі (наприклад: значення змінної = {*дуже низьке, низьке, середнє, високе, дуже високе*}). Існує необхідний набір математичних операцій, які повинні застосовуватися до обробки таких нечітких змінних.

Імовірнісні невизначеності. Використання випадкових величин приводить до необхідності побудови імовірнісних розподілів та їх застосування в процедурах прийняття рішень. Зазвичай значення спостережень відомі лише наближено, хоча відомі межі для цих значень. Розподіли ймовірностей дуже корисні для опису таких ситуацій. При роботі з дискретними результатами присвоюються ймовірності конкретним даним, використовуючи функцію маси. Вона показує, скільки потрібно "ваги" (або маси), щоб призначити її кожному спостереженню або виміру. Відповідь на запитання про значення того чи іншого результату буде його масою. Для більш глибокого розуміння того, що відбувається, корисні аксіоми Колмогорова. Якщо дві або більше змінних аналізується одночасно, то необхідно будувати та використовувати спільні розподіли. Спільні розподіли дозволяють обчислювати умовні ймовірності. Дуже корисним для виконання імовірнісних обчислень є поняття умовної незалежності: $P(x, y | z) = P(x | z) P(y | z)$, де x і y незалежні події. Незалежності є дуже зручними для аналізу, але події повинні бути дійсно незалежними. Гранична ймовірність $P(B)$, може бути обчислена за допомогою умовних ймовірностей. Умовна ймовірність того, що відбувається в цілому, може бути отримана з умови: $P(A/B) = P(B/A)P(A)/P(B)$.

Щоб вирішити проблему опису невизначеності, можна розглянути різноманітні байєсівські моделі, які представлені у вигляді так званого

байєсівського формалізму програмування. Ця множина моделей включає в себе байєсівські мережі [27], динамічні мережі Байєса (ДБН), приховані моделі Маркова (дискретні і безперервні), фільтри Калмана, байєсівські карти та інше. При цьому структура процесу обробки інформації включає в себе такі етапи:

(1) опис проблеми та формулювання основного питання вигляді: $P(X_i / D, Kn)$, де X_i визначає одну змінну, тобто те, що має бути оцінено з використанням специфічних механізмів логічного висновку; D, Kn – дані і знання стосовно подій, що аналізуються;

(2) використання попередніх знань та експериментальних даних для встановлення типової структури та визначення параметрів;

(3) вибір та застосування відповідної методики логічного висновку;

(4) перевірка якості кінцевого результату.

Ця схема також придатна для використання в режимі адаптації параметрів моделі. Обчислюються нові оцінки експериментальних даних або даних від експертів, які можуть бути використані, наприклад, для оцінки попередніх розподілів або структури БМ (ДБМ). За допомогою наведених типів невизначеностей можливо аналізувати та враховувати невизначеності у задачах динамічного планування.

3.6 Процедура врахування ризиків і невизначеностей при побудові структур динамічних планів

За допомогою теоретико-графових моделей можливо представити простір станів для знаходження оптимального плану розвитку ситуацій. Знаходження оптимальної структури плану – це в більшості випадків задача знаходження оптимального шляху на графі. Знаходження оптимального та найкоротшого шляху у просторі станів є спільною проблемою багатьох науково-прикладних задач [51]. Розв'язок задачі пошуку оптимального шляху полягає у пошуку екстремального значення функції, якою оцінюють ефективність при певних обмеженнях у відповідності до обраних критеріїв.

Методи пошуку оптимального шляху використовують графову модель у вигляді простого орграфа $G=(V, U)$ з невід'ємними вагами $w(u) \geq 0$ для кожного орієнтованого ребра $u \in U$, яке має дві граничні вершини із множини вершин V графа, тобто $u = (v_i, v_j), v_i, v_j \in V$.

Розмірність задачі визначається потужністю множин вершин V та ребер U , а ефективність алгоритмів її розв'язування оцінюється обчислювальною складністю. Обчислювальна складність є функцією від розмірності задачі: $O = F(V, U)$.

Клас алгоритмів задачі пошуку оптимального шляху з використанням графових моделей відноситься до обчислень на дискретних структурах – комбінаторних обчислень. В задачах великої розмірності вирішення проблеми зменшення перебору варіантів ґрунтується на пошуку евристичних і характеристичних алгоритмів, виходячи із фізичного змісту задачі. Необхідною умовою є визначення просторової області існування оптимального рішення та вибір найбільш ефективного алгоритму при заданих умовах пошуку.[51]

Кожен з алгоритмів пошуку на графі вирішує задачу про найкоротший шлях на зваженому зв'язному графі. Найкоротший шлях з однієї вершини в іншу – це такий шлях по ребрах, що сума ваг ребер, буде мінімальною.

Методи пошуку на зваженому графі використовують схожий кінцевий характер до методів перетину ліній, але мають радикально інший метод, особливо в сенсі підходу до побудови графа пошуку. Основна ідея полягає у тому, щоб розділити простір на дискретні області, названі комірками, і обмежити переміщення від заданої комірки до «сусідів». Спрямований граф створюється, приймаючи комірки як вершини графа, а можливі переміщення до сусідніх комірок – як спрямовані грані між вершинами. Функція ваги визначається вартістю до кожної грані. Розподіл простору, визначення сусідів і функції вартості граней можуть відрізнятися між різними методами пошуку на графі [51].

Для вирішення завдань високої обчислювальної складності ефективно використовуються евристичні алгоритми. Найкращим евристичним алгоритмом для пошуку оптимальних шляхів у різних просторах є алгоритм A^* [7,146,185].

Цей алгоритм використовує відстань плюс вартість евристичної функції (як правило, позначається через $F(n)$) для визначення порядку, в якому порядку пошук буде переглядати вузли дерева. Відстань плюс вартість евристичного пошуку представляє собою суму двох функцій:

- функція вартості шляху, яка визначає вартість переміщення від початкового вузла до поточного вузла (зазвичай позначається $g(n)$);
- функція допустимої "евристичної оцінки", тобто відстань до цілі (як правило, позначається $h(n)$).

Алгоритм A^* має такі властивості:

- припустимість: якщо розв'язок існує, він буде знайдений;
- оптимальність: знайдений розв'язок завжди оптимальний;
- ефективність: алгоритм A^* , знаходить розв'язок швидше ніж інші алгоритми.

Типова формула евристики виражається у вигляді:

$$F(n) = g(n) + h(n), \quad (3.24)$$

де $F(n)$ значення оцінки, цільового вузла n ; $g(n)$ – найменша вартість прибуття у вузол n з початкової точки; $h(n)$ евристичне наближення вартості шляху до мети від вузла n .

Для задачі побудови динамічного плану в більшості випадків не потрібно визначати оптимальну структуру плану (визначати оптимальний шлях на графі), а потрібно детально оцінювати і визначати елементи плану (ситуації) на кожному етапі планування. Використання алгоритмів евристичного пошуку та їх варіантів в данному випадку можливе але обмежено із-за того, що при ситуаційному плануванні множина етапів і

ситуацій плану, може бути визначена заздалегідь, і вона може бути відносно невеликою, та на кожному етапі плану визначається найбільш оптимальна ситуація шляхом оцінювання із множини допустимих. На наступному етапі необхідно здійснювати оцінювання розвитку ситуації з точки зору ризиків і невизначеностей і здійснити вибір можливого варіанта розвитку ситуації. Таким чином при аналізі і оцінюванні ситуації на кожному етапі плану необхідно визначити і врахувати тип і величину ризиків при досягненні і реалізації ситуації, а також оцінити і врахувати ступінь і тип невизначеності при виборі варіанта розвитку ситуації.

Процедура по оцінюванню ризиків і невизначеностей має ітеративний характер. Обчислення ризиків та невизначеностей відбувається для кожної ситуації і за потребою для майбутніх ситуацій. Формула по якій буде визначатись оцінка ситуації плану з врахуванням величин ризиків і невизначеностей, має наступний вигляд:

$$F(n) = \sqrt{Rs_n * \sum Rs_i + Us_n * \sum U_i} \quad (3.25)$$

де $F(n)$ - значення оцінки n -ї ситуації; Rs_n - ситуаційний ризик (ймовірність не настання ситуації), Rs_i – ризики які притаманні данній ситуації, Us_n – ситуаційна невизначеність (ймовірність настання ситуації), U_i – невизначеності притаманні ситуації.

Процедура врахування ризиків та невизначеностей при побудові динамічного плану є ітераційною та багатокроковою, і залежить від кількості визначених етапів плану і кількості ситуацій, які потрібно оцінити. На першому кроці визначається структура плану, кількість етапів (станів) плану. На другому кроці визначається кількість можливих ситуацій на кожному етапі плану, або якщо це не можливо, то тільки на етапі плану, який розглядається. На третьому кроці оцінюються можливі варіанти

розвитку ситуації на поточному етапі плану з врахуванням можливих ризиків та невизначеностей і обирається найкращий варіант ситуації.

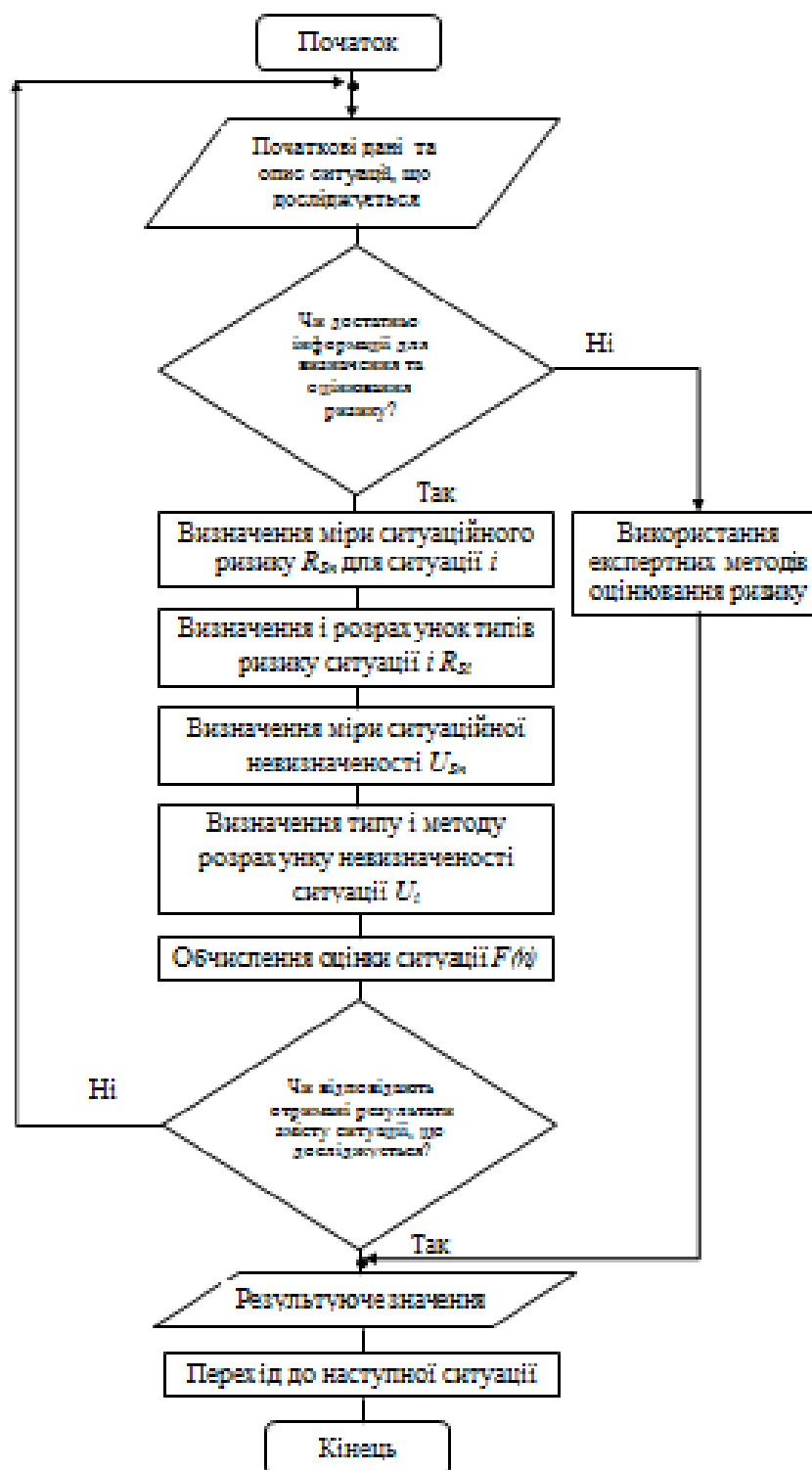


Рис.3.13 Процедура оцінювання ризиків та невизначеностей для ситуації плану

На наступному кроці розглядається наступний етап плану і т.д.. На кожному етапі для можливих ситуацій, обраховуються ризики і невизначеності за формулою (3.25). Блок – схема процедури аналізу і оцінювання ризиків та невизначеностей при динамічному плануванні та ситуаційному моделюванні представлена на рис.3.13. При виборі найкращого варіанта ситуації враховується значення оцінки ситуації, воно повинно бути мінімальним. ($F(n) \rightarrow \min$). Процедура оцінювання ризиків і невизначеностей на кожному етапі планування дає можливість врахувати динамічні зміни середовища і побудувати наблизений і адаптований до можливих змін ситуації варіант плану.

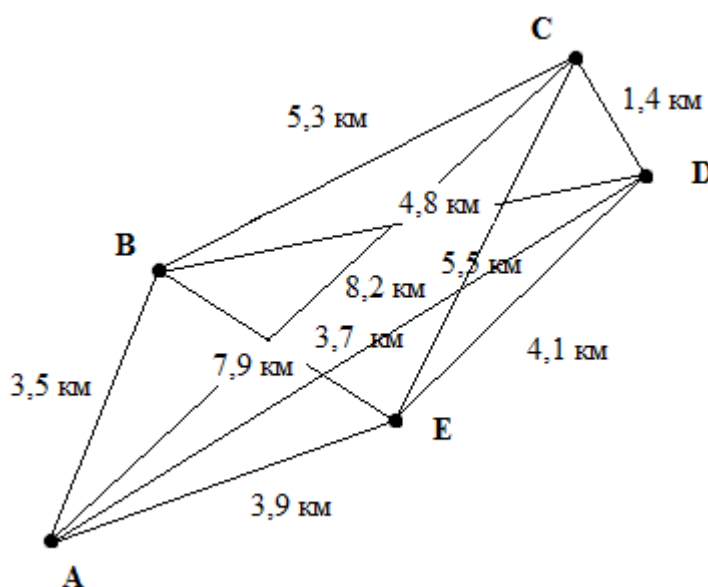


Рис.3.14 Схема обльоту з відстанями між точками

Приклад. Побудувати план польоту безпілотного літального апарату (БПЛА) по обльоту чотирьох точок з метою фотографування. Для побудови послідовності обльоту точок В, С, D, Е може використовуватись жадібний алгоритм. Схема обльоту з відстанями між точками представлена на рис. 3.14

За жадібним алгоритмом попередня послідовність обльоту вершин наступна: А,В,Е,D,С,А (20,9 км).

В таблиці 3.4 задано інформацію для розрахунку ризиків і невизначеностей і обраховано функцію оцінювання для кожної точки об'їзду (ситуації).

Таблиця 3.4 Інформація для розрахунків функції оцінювання.

№	Точка об'їзду	R_{s_n}	R_{s_i}	U_n	U_i	$F(n)$
1	В	0,2	0,2	0,15	0,1	0,2345
2	С	0,25	0,22	0,15	0,15	0,2783
3	Д	0,22	0,3	0,15	0,20	0,3098
4	Е	0,2	0,25	0,15	0,25	0,2958

З врахуванням ризиків і невизначеностей найкращим варіантом для наступної точки об'їзду після початкової буде точка В, потім точка С, потім точка Е, потім точка Д. Послідовність об'їзду і довжина (25,7 км) відрізняється від результатів роботи жадібного алгоритму, але з точки зору ризиків і безпеки цей шлях кращий.

Таким чином розроблена процедура аналізу і оцінювання ризиків та невизначеностей дає можливість побудови динамічного плану при ситуаційному моделюванні на основі процедури оцінювання і вибору варіантів розвитку ситуації.

3.8 Інформаційна технологія оцінювання та аналізу інформації

Архітектура інформаційної технології для оцінювання та аналізу інформації представлена на рис. 3.15.

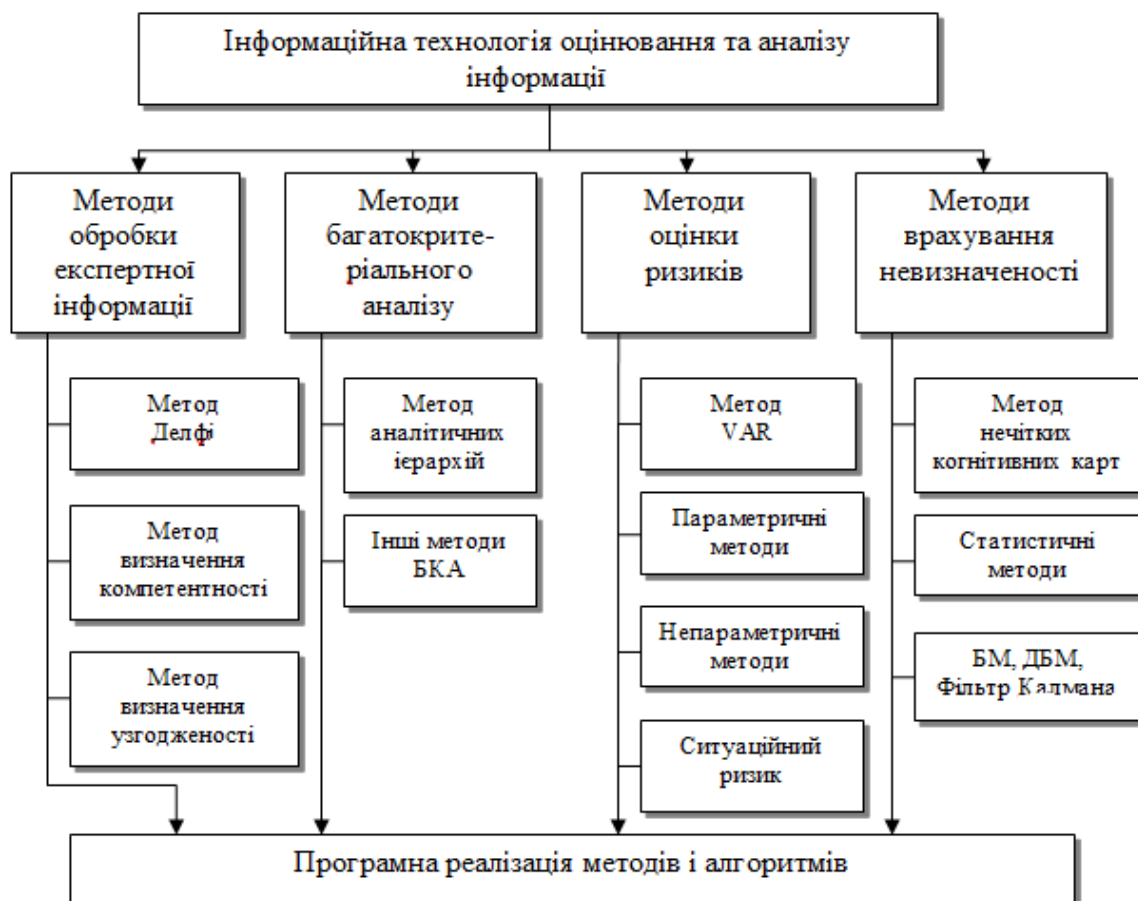


Рис. 3.15 Інформаційна технологія оцінювання та аналізу інформації.

3.8 Висновки до розділу 3

1. Визначені головні задачі і методи аналізу та обробки інформації в задачах динамічного планування. Розроблено послідовність етапів перетворення різнотипової інформації для належного високоякісного розв'язання задач динамічного планування.
2. Представлено технологію обробки якісної інформації, яка забезпечує необхідну повноту аналізу і складається із двох етапів: обробки експертної інформації та методів багатокритеріального аналізу.
3. Розглянуто особливості застосування нечітких когнітивних карт для аналізу та обробки інформації в задачах динамічного планування. Розроблено метод аналізу інформації на основі теорії нечіткого когнітивного моделювання, який за рахунок ітеративного обчислення системних

показників дає можливість враховувати зміни інформації в динамічному середовищі.

4. Розглянуто процедури оцінювання можливих ризиків в задачах динамічного планування і прийняття рішень на основі універсальної методології VAR, яка забезпечує необхідну для прийняття рішень точність оцінок. Показано, що оцінки VAR можна визначити за допомогою різних алгоритмічно-обчислювальних процедур, які відрізняються за об'ємами обчислювальних витрат.

5. Запропоновано класифікацію невизначеностей, пов'язаних з аналізом даних і математичним моделюванням, та підходи до їх подолання в задачах динамічного планування. Встановлено, що основними методами боротьби з невизначеностями структурного, параметричного та стохастичного типів є нечітка логіка, статистичні методи та методи теорії ймовірностей.

6. Розроблено метод оцінювання ризиків та невизначеностей, який завдяки використанню процедур оцінювання ситуації та вибору, підвищує точність ситуаційного моделювання, а також надає можливість уточнювати структуру динамічних планів.

7. Запропонована архітектура інформаційних технологій для аналізу та обробки інформації в задачах динамічного планування, яка ґрунтується на запропонованих методах аналізу даних і експертних оцінок, статистично-ймовірнісного аналізу даних, методів оцінки невизначеностей і ризиків.

РОЗДІЛ 4

СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПОБУДОВИ ДИНАМІЧНИХ ПЛАНІВ

Використання моделей різного типу та методів моделювання в задачах динамічного планування ґрунтується на тому, що в процесі побудови плану необхідно враховувати одночасно велику кількість даних різного типу, з одного боку, а з іншого боку необхідно відстежувати та прогнозувати динаміку змін різноманітних даних з метою побудови адекватної моделі процесу або декількох процесів, які досліджуються при побудові динамічного плану. В цьому розділі представлені результати досліджень, виконаних при побудові структур динамічних планів та при використанні і побудові математичних моделей для вирішення завдань динамічного планування.

4.1 Особливості побудови і вибору моделей в задачах динамічного планування

Існують умови, що визначають необхідність побудови моделі процесу при створенні динамічного плану. Перша умова це те, що рішення повинне ґрунтуватися на процесі, що аналізується. Друга умова, це те що поведінку процесу необхідно прогнозувати у сильному або слабкому контексті [23,107]. Процес який розглядається, як прогнозований у сильному контексті, характеризується тим, що його внутрішня динаміка не є невизначеною та описується математично. Поведінку процесів, які неможливо математично описати, можливо прогнозувати на основі спостережень, якщо це можливо. Такі процеси називають прогнозованими в «слабкому» контексті, тому що прогнозоване значення достовірне для умов, що відповідають конкретному набору даних. Аналіз досвіду вирішення економетричних задач показує, що

поведінку та динаміку складного процесу можливо прогнозувати статистичними методами на основі минулих і поточних даних.

Наступною умовою використання моделі процесу є те, що необхідно мати дані, що характеризують його поведінку у минулому. Там де можливо, відсутність цих даних можна замінити, експертними оцінками. Вибір конкретної моделі процесу представлено на рис. 4.1.

Вибір конкретної моделі процесу, який прогнозується, ґрунтується на додаткових характеристиках. Ці характеристики отримуються за допомогою даних, зібраних на етапі розбиття задачі. Якщо існують невизначеності у вихідних даних, в динаміці, то необхідно вибирати стохастичну модель. В більшості випадків процес можна розглядати як детермінований. Прикладами стохастичних можуть бути процеси, пов'язані з навколишнім середовищем (забруднення, погода), економікою, фінансами, процесами керування різними об'єктами в умовах наявності стохастичних збурень та шумів вимірів і т. ін.

Наступною характеристикою є оцінювання реального процесу з погляду особи, яка приймає рішення (ОПР). ОПР має своє представлення про те, як необхідно прогнозувати процес. Якщо ОПР зацікавлена тільки у 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 кінцевий стан), то таке прогнозування називають *механістичним*. Для детермінованого процесу і оцінювання прогнозу на основі відношення вихід/вхід необхідно використовувати так звані *замкнуті форми аналітичних моделей*. [23,109] Якщо ж процес стохастичний і використовується прогноз на основі відношення вихід/вхід, то при побудові динамічного плану необхідно скористатися *ймовірнісною* або іншою моделлю процесу, яка дає можливість опису подій у стохастичній постановці.

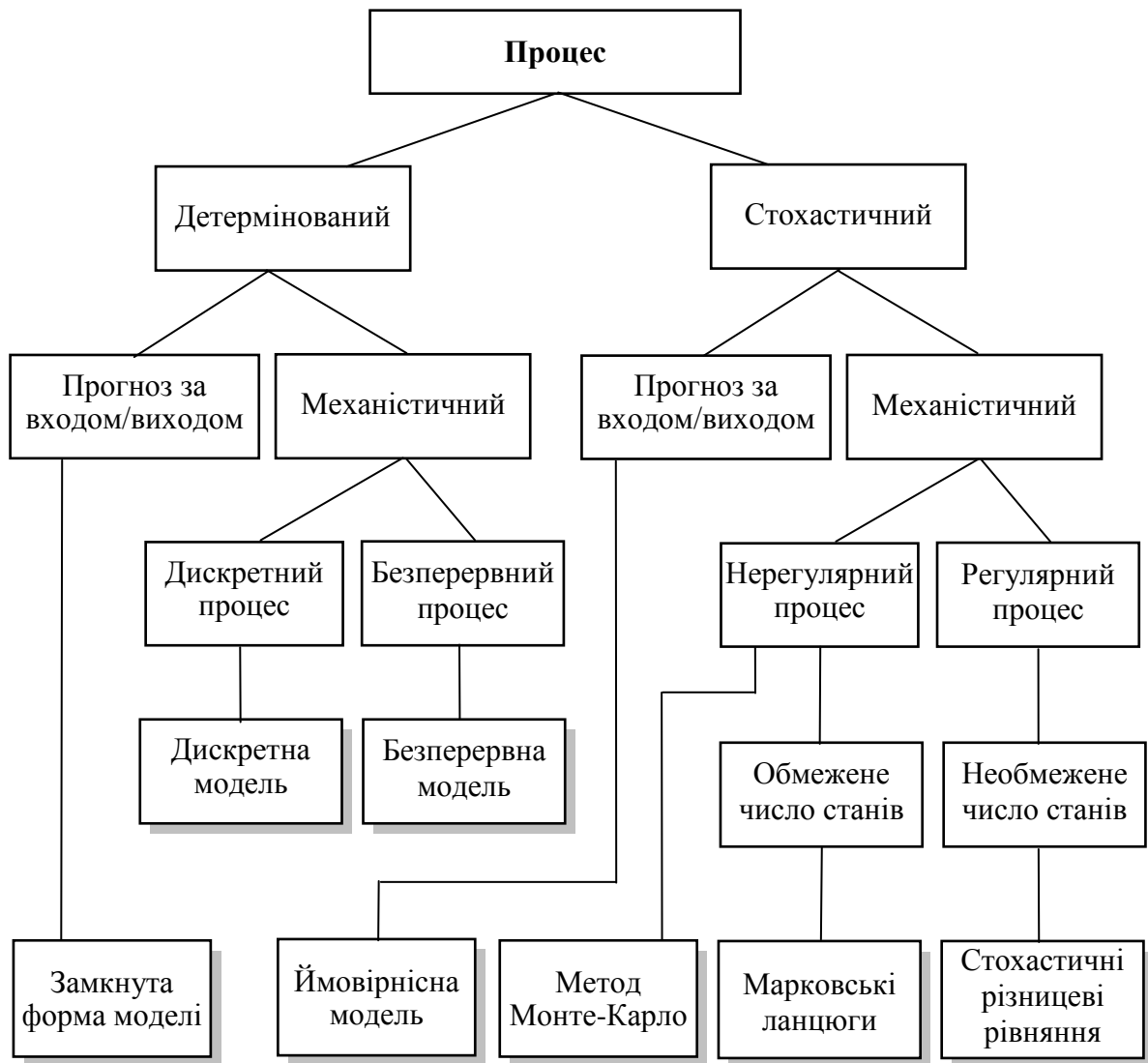


Рис. 4.1 Вибір моделі процесу при динамічному плануванні

У динамічному плануванні необхідно визначити тип моделі яка буде використовуватися: дискретна або неперервна. Якщо процес класифікується як стохастичний з обмеженою кількістю станів і регулярний, а форма прогнозування механістична, то при проектуванні необхідно вибрати модель на основі ймовірнісних моделей.

4.2 Побудова структури динамічного плану

Побудова структури динамічного плану базується на цілях і задачах плану, який будується. Цілі і задачі планування визначаються на етапі

аналізу даних. Структура плану є базовою структурою для побудови моделей плану і його окремих елементів.

Для розв'язання задачі побудови структури динамічного плану розроблено метод, етапи якого наведено на рис.4.2. Метод базується на результатах оцінювання ризиків і невизначеностей.

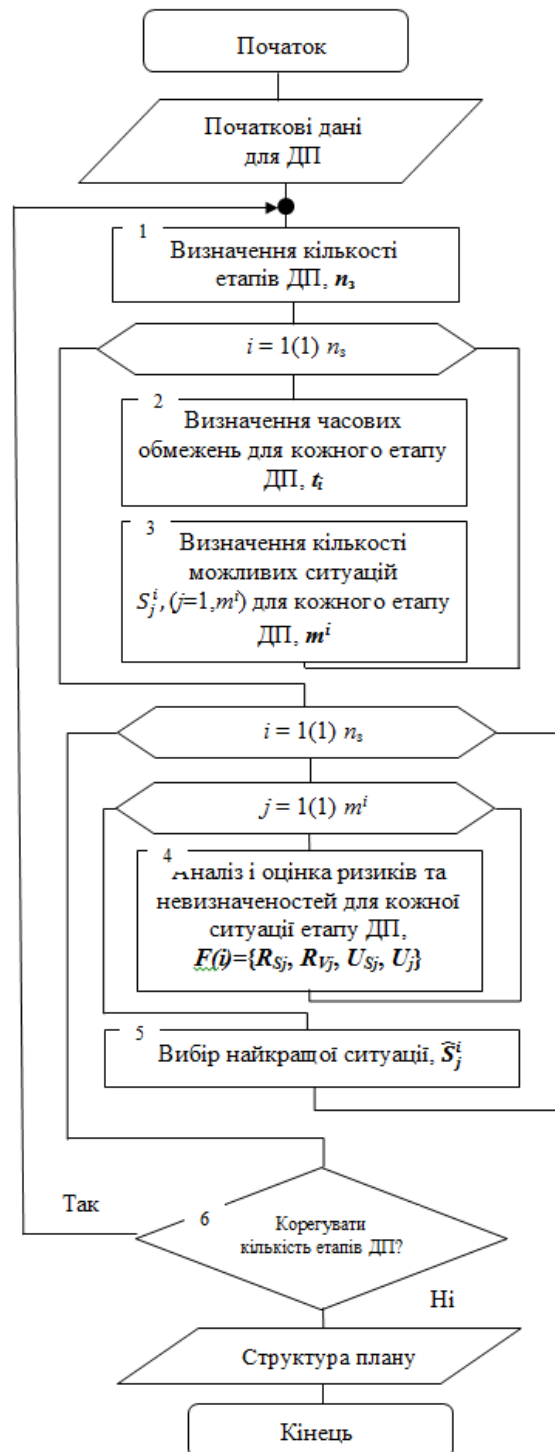


Рис.4.2 Метод побудови структури динамічного плану

Метод складається з наступних кроків:

1. Попереднє визначення кількості етапів плану.
2. Визначення часових обмежень на план і на кожний етап окремо.
3. Визначення кількості можливих ситуацій для кожного етапу плану.
4. Визначення ризиків і невизначеностей для кожної ситуації етапу.
5. Вибір найкращої ситуації з точки зору ризиків і невизначеностей.
6. Корегування плану.

Процес розробки моделі структури плану базується на ситуаційній моделі у вигляді графу $G = \langle S, R \rangle$, де $S = \{S_j^i\}$ – множина вершин (ситуацій); $R = \{R_{j_1}^{i_1}, R_{j_2}^{i_2}\}$ – множина ребер графу. Кожне ребро визначається парою вершин, що з'єднується. Вибір кожної ситуації в етапі здійснюється на основі методу аналізу і оцінювання ризиків та невизначеностей. На рис.4.3 представлена модель структури динамічного плану

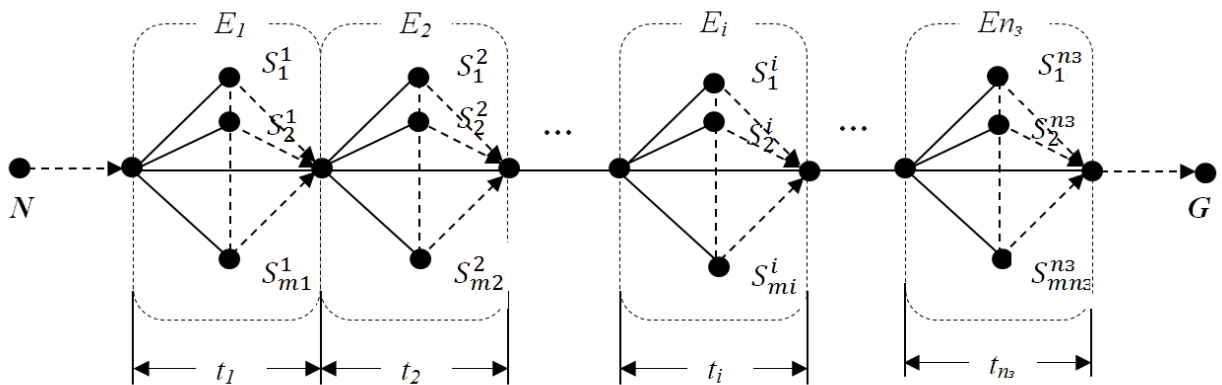


Рис.4.3 Модель структури динамічного плану

Модель структури динамічного плану є базовою моделлю плану на основі якої будується і досліджується динамічний план і його складові.

4.3 Класифікація методів моделювання для вирішення завдань динамічного планування

Для розв'язання задач динамічного планування використовують різні класи моделей як у неперервному, так і у дискретному часі, які представляють, як правило, в уніфікованій формі простору станів. [23, 115,

147, 198, 311] У такому випадку моделі не повинні мати дуже високу точність (адекватність), тому що вони функціонують у замкнутому контурі з від'ємним зворотним зв'язком. Це сприяє асимптотичному зменшенню похибок до мінімально можливих значень навіть при використанні досить грубих моделей.

Моделювання при побудові динамічних планів дає можливість за мінімальний час дослідити можливість застосування різних варіантів планів, визначити вплив середовища на побудову плану та визначити ефективність планування при зміні вхідних керуючих сигналів у широкому діапазоні їх значень. Система побудови динамічних планів може працювати в режимі порадника при плануванні в економічних, екологічних, соціальних та в інших складних процесах. Такий тип планування реалізується за допомогою систем підтримки прийняття рішень (СППР), які дають можливість генерувати множину альтернатив з подальшим вибором кращої з них за допомогою множини критеріїв якості.

Вибір структури моделі, що адекватна процесу, – задача не завжди проста і вирішується, як правило, ітераційно. Спочатку структуру моделі оцінюють наближено на підставі дослідження закономірностей протікання процесу, аналізу кореляційних функцій, візуального аналізу даних. При цьому вибирають кілька найбільш ймовірних структур (кандидатів). Потім обчислюють оцінки параметрів моделей-кандидатів і вибирають кращу з них, використовуючи відповідні статистичні характеристики якості моделей.

Остаточним критерієм придатності моделі є можливість її застосування для розв'язання конкретної задачі, наприклад, прогнозування. Якщо жодна з моделей-кандидатів не може вважатися адекватною для конкретного застосування, то необхідно досліджувати на інформативність експериментальні дані, які можуть бути недостатньо інформативними для оцінювання моделі. У такому випадку може знадобитися повторний чи додатковий збір експериментальних даних і корегування структури моделі. Іноді взагалі приходить вибирати не один, а більше класів моделей для

опису процесу або ж для досягнення належної якості прогнозування використовувати схеми комбінування оцінок прогнозів з коректно вибраними (обчисленими) ваговими коефіцієнтами.[23]

Основними відомими підходами до побудови математичних моделей є такі: структурний і функціональний.

Структурний підхід передбачає математичний опис внутрішнього механізму взаємодії змінних, складу елементів структури, та відображення їх фактичних взаємозв'язків між собою. *Функціональний підхід* використовують для формального опису процесу, не проникаючи глибоко у фактичну структуру цього процесу і взаємодії його змінних [23].

Очевидно, що функціональний підхід є простішим від структурного і саме він найчастіше використовується на практиці. Гнучкість даного підходу дає можливість відносно швидко будувати високоякісні моделі для прогнозування та побудови динамічних планів. Крім того, як правило, дискретні моделі такого типу досить легко адаптуються до часових змін, що мають місце у динамічному плануванні. Для вирішення задач динамічного планування використовуються і структурний і функціональний підхід, та на різних етапах планування різні за типом моделі. Класифікація моделей для вирішення завдань динамічного планування представлена на рис. 4.4.

4.4 Представлення моделей динамічного плану у просторі станів

При побудові моделей динаміки систем та процесів для побудови динамічного плану виникає проблема адекватності моделі, тому що в реальних процесах і системах як правило, набагато складніше поставити експеримент, якщо це можливо, та отримати інформативні експериментальні дані у достатньому об'ємі.[8,36] Для цього необхідно використати методику побудови моделей і аналізу часових рядів, яка запропонована Боксом і Дженкінсом.



Рис. 4.4 Класифікація моделей

Методика побудови математичної моделі процесу з використанням даних у вигляді часового ряду і часового перерізу, складається з наступних кроків [9,90]:

– Аналіз процесу, для якого будується модель, на основі експертних оцінок протікання процесу, візуального дослідження графіків вимірів вхідних і вихідних змінних, представлених часовими рядами або часовими перерізами, та іншої доступної інформації.

– Обробка експериментальних даних з метою забезпечення найкращих (з точки зору теорії оцінювання) умов для оцінювання параметрів (коефіцієнтів) моделі.

– Аналіз часових рядів на наявність нестационарності і нелінійності за допомогою множини відповідних статистичних критеріїв (статистик).

– Вибір структури моделей-кандидатів (1. обчислити та виконати аналіз кореляційної матриці для часових рядів залежної та незалежних змінних з метою визначення тих екзогенних змінних, які необхідно включити в модель; 2. обчислити автокореляційну (АКФ) та часткову автокореляційну функції (ЧАКФ) залежної змінної з метою визначення оцінки порядку авторегресійної частини моделі та ковзного середнього; 3. оцінити характеристики інших елементів структури математичної моделі.

– Обрати методи оцінювання параметрів математичних моделей вибраних структур і обчислити оцінки векторів їх параметрів. Найчастіше для цього використовується метод найменших квадратів (МНК), метод максимальної правдоподібності (ММП) та їх модифікації.

– Обрати кращу з оцінених моделей-кандидатів за допомогою множини статистичних критеріїв якості моделі. Застосувати модель до розв'язання основної задачі – прогнозування, або поглибленого дослідження процесу і встановити її придатність[23].

4.4.1 Побудова динамічних моделей в просторі станів

Представлення моделей у просторі станів є зручним та уніфікованим, а тому часто використовується в теорії моделювання, оцінювання, прогнозування а також можливе використання у динамічному плануванні. Таке уніфіковане представлення математичних моделей у ПС спрощує їх подальше використання. [23,100]

Для неперервного часу лінійна модель у просторі станів має наступний вигляд:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}(t)\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}(t)\mathbf{u}(t) + \mathbf{w}(t), \quad (4.1)$$

$$\mathbf{z}(t) = \mathbf{H}(t)\mathbf{x}(t) + \mathbf{v}(t), \quad (4.2)$$

де $\mathbf{x}(t)$ – вектор змінних стану розмірності n ; $\dot{\mathbf{x}}(t)$ – перша похідна вектора стану стосовно часу (швидкість зміни значень вектора стану); $\mathbf{A}(t)$ – матриця динаміки об'єкта (суб'єкта) чи процесу вимірності $[n \times n]$, яка у загальному випадку залежить від часу; $\mathbf{B}(t)$ – матриця коефіцієнтів керування вимірності $[n \times m]$, яка також може залежати від часу; $\mathbf{u}(t)$ – вектор сигналів керування вимірності $[m \times 1]$; $\mathbf{w}(t)$ – вектор збурень стану вимірності $[n \times 1]$; $\mathbf{z}(t)$ – вектор вимірів (експериментальних даних) вимірності $[r \times 1]$; $\mathbf{H}(t)$ – матриця коефіцієнтів вимірів розмірності $[r \times n]$; $\mathbf{v}(t)$ – вектор похибок (шумів) вимірів розмірності r . Наведена вище модель може бути, за необхідності, частково модифікована з метою її адаптації до конкретного типу процесів. Досить часто роблять припущення (яке необхідно апріорно чи апостеріорно довести для конкретного випадку) про те, що збурення стану $\mathbf{w}(t)$ та шуми вимірів $\mathbf{v}(t)$ – незалежні гаусові процеси з постійними дисперсіями та нульовими середніми значеннями, тобто:

$$E[\mathbf{w}(t)] = 0, \quad E[\mathbf{w}(t)\mathbf{w}^T(\tau)] = \mathbf{Q}(t)\delta(t - \tau); \quad (4.3)$$

$$E[\mathbf{v}(t)] = 0, \quad E[\mathbf{v}(t)\mathbf{v}^T(\tau)] = \mathbf{R}(t)\delta(t - \tau), \quad (4.4)$$

де $E[\cdot]$ – символ математичного сподівання; $\mathbf{w}^T(t)$ – означає операцію транспонування вектора або матриці; $\mathbf{Q}(t)$, $\mathbf{R}(t)$ – коваріаційні матриці збурень стану та шумів вимірів, відповідно (діагональні елементи цих матриць – це дисперсії складових векторів $\mathbf{w}(t)$ і $\mathbf{v}(t)$).

Модель у просторі станів для дискретного часу має такий же вигляд як і (4.1), (4.2), але методи отримання матриць \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{H} інші. В теорії аналізу часових рядів часто використовують таку форму представлення дискретних моделей у просторі станів (рівняння стану і рівняння вимірів):

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{F}\mathbf{x}(k) + \mathbf{w}(k), \quad (4.5)$$

$$\mathbf{z}(k) = \mathbf{A}^T \mathbf{u}(k) + \mathbf{H}^T \mathbf{x}(k) + \mathbf{v}(k), \quad (4.6)$$

де \mathbf{F} , \mathbf{A}^T , \mathbf{H}^T – матриці параметрів розмірності $[n \times n]$, $[r \times p]$ і $[r \times n]$, відповідно; $\mathbf{u}(k)$ – вектор регресорів (екзогенних змінних) вимірності $[p \times 1]$. Як і раніше, $\mathbf{w}(k)$, $\mathbf{v}(k)$ – вектори збурень стану і шумів вимірів, відповідно, з такими статистичними характеристиками:

$$E[\mathbf{w}(k) \mathbf{w}^T(l)] = \begin{cases} \mathbf{Q}, & k=l \\ 0, & k \neq l \end{cases}, \quad E[\mathbf{v}(k) \mathbf{v}^T(l)] = \begin{cases} \mathbf{R}, & k=l \\ 0, & k \neq l \end{cases},$$

де $\mathbf{Q}[n \times n]$, $\mathbf{R}[r \times r]$ – коваріаційні матриці збурень та шумів вимірів, відповідно. Послідовності $\{w(k)\}$, $\{v(k)\}$ некорельовані для будь-яких моментів часу:

$$E[\mathbf{w}(k) \mathbf{v}^T(l)] = 0, \quad \forall k, l.$$

Припускається, що вектор екзогенних змінних $\mathbf{u}(k)$ не містить інформації стосовно $\mathbf{x}(k+s)$ та $\mathbf{v}(k+s)$ для $s=0,1,2,\dots$ окрім тієї, що міститься в $y(k-1)$, $y(k-2)$, ..., $y(1)$. Наприклад, $\mathbf{u}(k)$ може містити у собі

затримані у часі значення y або змінні, що некорельовані з $\mathbf{x}(j)$ або $\mathbf{v}(j)$, $\forall j$.

Модель у просторі станів використовують, як правило, для опису динаміки деякої скінченної кількості спостережень, $\{y(1), y(2), \dots, y(T)\}$, за припущення, що відоме початкове значення вектора стану $\mathbf{x}(k)$. Як правило, для зручності подальшого аналізу робиться припущення щодо некорельованості початкового значення $\mathbf{x}(1)$ вектора стану $\mathbf{x}(k)$ з будь-якою реалізацією векторів $\mathbf{w}(k)$, $\mathbf{v}(k)$, тобто:

$$E[\mathbf{x}(1) \mathbf{w}^T(k)] = 0, \quad \forall k \in [1, \dots, T], \quad E[\mathbf{x}(1) \mathbf{v}^T(k)] = 0, \quad \forall k \in [1, \dots, T]. \quad (4.7)$$

З рівняння станів випливає, що $\mathbf{x}(k)$ можна записати як лінійну функцію від $[\mathbf{x}(1), \mathbf{w}(2), \mathbf{w}(3), \dots, \mathbf{w}(k)]$:

$$\mathbf{x}(k) = \mathbf{w}(k) + \mathbf{F}\mathbf{w}(k-1) + \mathbf{F}^2\mathbf{w}(k-2) + \dots + \mathbf{F}^{k-2}\mathbf{w}(2) + \mathbf{F}^{k-1}\mathbf{x}(1), \quad (4.8)$$

$$\forall k = 2, 3, \dots, T.$$

Таким чином, із $E[\mathbf{w}(k) \mathbf{w}^T(l)] = 0$, $k \neq l$ і $E[\mathbf{x}(1) \mathbf{w}^T(k)] = 0$, $k = 1, 2, \dots, T$ випливає, що $\mathbf{w}(k)$ некорельовано із затриманими значеннями \mathbf{x} :

$$E[\mathbf{x}(l) \mathbf{w}^T(k)] = 0 \quad \text{при} \quad l = k-1, k-2, \dots, 1. \quad (4.9)$$

Аналогічно:

$$E[\mathbf{x}(l) \mathbf{v}^T(k)] = 0 \quad \text{при} \quad l = 1, 2, \dots, T,$$

$$E[\mathbf{y}(l) \mathbf{v}^T(k)] = E\{[\mathbf{A}^T \mathbf{u}(l) + \mathbf{H}^T \mathbf{x}(l) + \mathbf{v}(l)] \mathbf{v}^T(k)\} = 0 \quad \text{при} \quad l = k-1, k-2, \dots, 1,$$

$$E[\mathbf{y}(l) \mathbf{w}^T(k)] = 0 \quad \text{при} \quad l = k-1, k-2, \dots, 1.$$

Матриці параметрів F , Q , A , H , R можуть бути функціями часу для нестационарних об'єктів та процесів.

4.4.2 Оцінювання нелінійностей у ймовірно-статистичних моделях

Важливою проблемою при визначенні структури моделі є встановлення факту наявності нелінійностей та встановлення типу нелінійностей. [23,100]

Тести на наявність нелінійності наступні:

Перший тест застосовується, коли розглядається кілька груп спостережень для одного процесу:

$$\hat{F} = \frac{\frac{1}{m-2} \sum_{i=1}^m n_i (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2}{\frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}, \quad (4.10)$$

де \bar{y}_i – середнє значення для i -ї реалізації (вибірки або групи) даних; \hat{y}_i – середнє для лінійної апроксимації даних; m – кількість груп даних; n_i – кількість вимірів в i -й групі; n – загальна кількість вимірів. Ця статистика представляє 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} з $\nu_1 = m - 2$ та $\nu_2 = n - m$ степенями свободи досягає або перевищує рівень значущості, то процес нелінійний.

Наявність нелінійності можна встановити наближено за допомогою вибірових нелінійних кореляційних функцій (НКФ), Це кореляційні

функції, розраховані за вибірками експериментальних даних. Наприклад, якщо дискретна НКФ

$$r_{yx^2}(s) = r_{y(k)x^2(k-s)} = \frac{1}{N} \frac{\sum_{k=s+1}^N \{ [y(k) - \bar{y}] [x(k-s) - \bar{x}]^2 \}}{\sigma_y \sigma_x^2}, \quad (4.11)$$

$$s = 0, 1, 2, 3, \dots,$$

має значення, які відрізняються від нуля, то процес містить квадратичну нелінійність відносно регресора x .

Наявність нелінійного детермінованого тренду у процесі можна визначити оцінивши рівняння:

$$y(k) = a_0 + c_1 k + c_2 k^2 + \dots + c_m k^m + \varepsilon(k), \quad (4.12)$$

яке представляє собою поліном порядку m відносно часу; $\varepsilon(k)$ – випадковий процес. Якщо хоча б один із коефіцієнтів в моделі, c_i , $i = 1, \dots, m$, є статистично значущим, то гіпотеза щодо відсутності тренду відхиляється.

Наявність нелінійності стосовно регресора $x(k)$ можна встановити за допомогою відповідного полінома:

$$y(k) = a_0 + c_1 x(k) + c_2 x^2(k) + \dots + c_m x^m(k) + \varepsilon(k). \quad (4.13)$$

4.5 Моделі на основі регресії та різницевих рівнянь

Розглянемо головні типи моделей на основі регресії.

Моделі на основі авторегресії: рівняння авторегресії описує пам'ять процесу, тобто вплив значень попередніх станів на його поточний стан:

$$y(k) = a_0 + a_1 y(k-1) + \dots + a_p y(k-p) = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i y(k-i) + \varepsilon(k), \quad (4.14)$$

де $a_i, i=1, \dots, p$ – коефіцієнти моделі, які оцінюють на основі значень часового ряду; p – порядок авторегресії, який визначається кількістю затриманих у часі значень ряду, що використовуються у правій частині рівняння для опису динаміки змінної в момент k ; $k=1, 2, \dots$ – дискретний час; $\varepsilon(k)$ – випадкова величина, поява якої зумовлена такими причинами:

- вплив випадкових збурень на процес, що моделюється;
- похибки рівняння, зумовлені неточно вибраною структурою (можливо, що не враховано деякі регресори, введено непотрібні незалежні змінні або робиться спроба моделювати нелінійний процес за допомогою лінійного рівняння);
- методичні і обчислювальні похибки, які з'являються при обчисленні оцінок коефіцієнтів рівняння. [23,95,100]

Моделі на основі парної регресії: вони включають у правій частині незалежну змінну (регресор):

$$y(k) = a_0 + a_1 x(k) + \varepsilon(k), \quad (4.15)$$

де $x(k)$ – регресор (незалежна або екзогенна змінна), тобто $x(k)$ має три назви. Залежну змінну $y(k)$ називають ще основною або ендогенною змінною.

Моделі на основі множинної регресії: множинна регресія відображає вплив декількох незалежних змінних на залежну:

$$y(k) = a_0 + a_1 x_1(k) + a_2 x_2(k) + \dots + a_p x_p(k) + \varepsilon(k), \quad (4.16)$$

де $x_1(k), \dots, x_p(k)$ – регресори рівняння. Таке рівняння може включати також авторегресійну частину.

Авторегресія + множинна регресія = змішана регресія:

$$y(k) = a_0 + \sum_{i=1}^l a_i y(k-i) + b_1 x_1(k) + b_2 x_2(k) + \dots + b_p x_p(k) + \varepsilon(k). \quad (4.17)$$

Авторегресія з ковзним середнім порядку (p, q) (АРКС (p, q)):

$$y(k) = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i y(k-i) + \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon(k-j) + \varepsilon(k). \quad (4.18)$$

Регресія, нелінійна стосовно змінних (псевдолінійна регресія):

$$y(k) = a_0 + a_1 x(k) + a_2 x^2(k) + \dots + a_p x^p(k) + \varepsilon(k). \quad (4.19)$$

Тобто у даному випадку це поліноміальна регресія порядку p . Коефіцієнти псевдолінійної регресії оцінюються такими ж методами, що і лінійної, наприклад методом найменших квадратів (МНК) або максимальної правдоподібності (ММП).

Регресія, нелінійна стосовно параметрів: Моделі, нелінійні стосовно параметрів, містять адитивні члени, які включають в себе добутки параметрів моделей або інші види зв'язку (крім адитивного) між параметрами:

$$y(k) = a_0 + a_1 e^{b x(k)} + \varepsilon(k). \quad (4.20)$$

Для оцінювання параметрів таких моделей необхідно застосовувати методи нелінійного оцінювання – нелінійний метод найменших квадратів, метод максимальної правдоподібності, Монте Карло та інші.

Моделі гетероскедастичних процесів: тобто процесів, дисперсія яких змінюється в часі.[26] Рівняння для умовної дисперсії (авторегресія першого порядку):

$$h(k) = \beta_0 + \beta_1 \varepsilon^2(k-1) + \varepsilon_1(k), \quad (4.21)$$

де $h(k)$ – умовна дисперсія процесу в момент k ; $\varepsilon^2(k)$ – квадрат залишків авторегресії низького порядку (1-го або 2-го), побудованої для основної змінної; $\varepsilon_1(k)$ – похибка моделі в момент k .

Авторегресійна умовно гетероскедастична модель порядку p (ARУГ(p)):

$$h(k) = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i \varepsilon^2(k-i) + \varepsilon_1(k). \quad (4.22)$$

Узагальнена авторегресійна умовно гетероскедастична модель (УАРУГ(p, q)):

$$h(k) = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i \varepsilon^2(k-i) + \sum_{i=1}^q \alpha_i h(k-i) + \varepsilon_1(k), \quad (4.23)$$

де $\alpha, \beta, \gamma \geq 0$ (щоб уникнути появи від'ємних значень умовних дисперсій).

Експоненціальна модель УАРУГ (умовна дисперсія як асиметрична функція ε , тобто моделювання впливу попередніх значень $\varepsilon(k-i)$ на волатильність):

$$\log(h(k)) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \frac{|\varepsilon(k-i)|}{h(k-i)} + \sum_{i=1}^p \gamma_i \frac{\varepsilon(k-i)}{h(k-i)} + \sum_{i=1}^q \beta_j \log(h(k-i)). \quad (4.24)$$

Модель УАРУГ-М (модифікована) – моделювання премії за ризик:

$$y(k) = \beta + \gamma h(k) + \varepsilon(k), \quad (4.25)$$

$$h(k) = a_0 + a \sum_{i=1}^p \varepsilon^2(k-i) + \sum_{i=1}^q h(k) + \varepsilon_2(k). \quad (4.26)$$

Модель для прогнозування волатильності за допомогою УАРУГ:

$$h(k+1) = \beta_0 + \beta_1 \varepsilon^2(k) + \gamma h(k), \quad (4.27)$$

$$h(k+j) = \beta_0 + (\beta_1 + \gamma_1) h(k+j-1). \quad (4.28)$$

Рівняння для умовної дисперсії та коваріації:

$$h(s(k)) = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon^2(s(k-1)) + \alpha_2 h(s(k-1)),$$

$$h(f(k)) = \beta_0 + \beta_1 \varepsilon^2(f(k-1)) + \beta_2 h(f(k-1)),$$

$$\text{cov}[s(k), f(k)] = \gamma_0 + \gamma_1 \varepsilon(s(k-1)) + \gamma_2 \text{cov}[s(k-1), f(k-1)]. \quad (4.29)$$

Коефіцієнт хеджування при використанні моделі з двома факторами:

$$\hat{b}^*(k) = \frac{\text{cov}[s(k), f(k)]}{\hat{h}^2(f)}. \quad (4.30)$$

Моделі коінтегрованих процесів, тобто нестационарних процесів з трендом, які можна об'єднати в межах однієї моделі, що має стаціонарні статистичні характеристики [23].

У випадку коінтегрованості змінних $x(k)$ і $y(k)$ для них може бути побудована модель корегування похибки, яка поєднує динаміку змінних на коротких проміжках часу з довгостроковим врівноваженим зв'язком та має наступний вигляд:

$$\Delta x(k) = a_{10} + \sum_{i=1}^p b_{1i} \Delta x(k-i) + \sum_{i=1}^p c_{1i} \Delta y(k-i) + \lambda_1 e(k-1) + \varepsilon_1(k),$$

$$\Delta y(k) = a_{20} + \sum_{i=1}^p b_{2i} \Delta y(k-i) + \sum_{i=1}^p c_{2i} \Delta x(k-i) + \lambda_2 e_x(k-1) + \varepsilon_2(k). \quad (4.31)$$

Коефіцієнти λ_1, λ_2 в наведених рівняннях називають швидкістю пристосування (корегування).

На сьогодні існує дуже багато інших різновидів дискретних моделей, які описують різні складові реальних динамічних процесів. Вище було наведено тільки деякі типи математичних моделей стаціонарних та нелінійних нестационарних процесів, які широко використовуються для опису динаміки процесів різної природи, які можна використати в задачах динамічного планування.

4.6 Застосування нечітких моделей в задачах динамічного планування

В задачах динамічного планування у випадках наявності системної невизначеності, що пов'язана з нечіткими, неточними, розпливчастими властивостями процесів, наприклад, такими: інформаційна, ситуаційна і стратегічна невизначеності, де не завжди можливо коректно застосувати існуючі детерміновані методи, користуються підходами до формального опису невизначених, неточних і ненадійних факторів, зокрема, до формального представлення якісних експертних оцінок. Апарат нечітких множин і нечіткої логіки та побудовані на їх основі нечіткі моделі використовуються для розв'язання задач, для яких вхідні дані є невизначеними і слабо формалізованими.[34, 110, 273, 274, 321, 322] Найбільш ефективними та системними для задач планування є нечіткі ситуаційні моделі [77, 80,90,148] та нечіткі когнітивні моделі [194,275].

4.6.1 Розробка динамічних планів на основі нечітких ситуаційних мереж

Сукупність методів ситуаційного підходу та нечіткої логіки отримала назву нечіткого ситуаційного підходу (НСП) [148,180]. Існують різні методи, що реалізують нечіткий ситуаційний підхід. Частина з них ґрунтується на представленні ситуацій у вигляді сукупності нечітких значень фіксованого набору ознак. До даної групи відносяться методи: нечіткого логічного висновку, нечіткої класифікації, багатокритеріальної оцінки та вибору, аналізу сукупності ситуацій у вигляді графових структур. Сукупність зазначених методів дозволяє побудувати системи підтримки прийняття рішень на основі нечіткого ситуаційного підходу для різних складних об'єктів.[194]

Однак для побудови динамічних планів в складному середовищі потрібно не просто ідентифікувати поточну ситуацію і відповідну їй множину керуючих рішень, а й визначити шляхи досягнення цілей планом в

системі, для чого потрібно прорахувати можливі наслідки послідовності рішень на кілька кроків вперед. Такі завдання потребують залучення додаткових методів.

Системи для ситуаційного аналізу на основі нечітких ситуаційних мереж ґрунтуються на представленні сукупності типових станів системи у вигляді вузлів графа, переходи якого відповідають керуючим рішенням.

При цьому база знань не містить у явному вигляді продукцій, що ставлять у відповідність керуючі рішення конкретній ситуації. Послідовність керуючих рішень, що переводять систему з поточного стану в стан, що описується цільовою ситуацією (найкращою в сенсі обраної системи оцінок), визначається шляхом виведення по мережі.

Прийняття рішень у СППР на основі НСМ можна застосовувати для вирішення окремих завдань планування [133,134]. Однак, широке використання НСМ в задачах прийняття рішень при управлінні складними організаційно-технічними системами (особливо в задачах динамічного планування) обмежено рядом факторів.

По-перше, незважаючи на те, що для широкого класу моделей розроблені ефективні способи зменшення розмірності простору ознак на основі побудови ієрархії та використання об'єктно-орієнтованого підходу, щодо НСМ подібні питання не розглядалися.

По-друге, в класичній постановці в моделях "ситуація – дія" кожній типової ситуації зіставляється своя множина допустимих дій, тоді як в моделях "ситуація – стратегія планування – дія", ситуації скоріше описують типові стани, ніж служать вказівкою на застосовність рішень. Тим самим вони дозволяють застосовувати будь-яке рішення, що також впливає на розмірність завдання. Доцільним є спільне застосування даних моделей, що дозволяє задати в явному вигляді для кожної типової ситуації множину можливих керуючих рішень, що обмежує кількість можливих переходів в НСМ.

По-третє, відсутність урахування стохастичної невизначеності, характерної для багатьох завдань ситуаційного планування. Інакше кажучи, якщо розглядати НСМ як аналогію деякої моделі детермінованого автомата, створену для нечіткого випадку, то очевидна відсутність нечіткого аналога стохастичного автомата.

По-четверте, представлення нечіткої ситуації у вигляді нечіткої множини другого рівня, характерне для існуючих моделей НСМ, ускладнює формулювання еталонних ситуацій експертом і вимагає більшої кількості операцій при порівнянні вхідної і еталонної ситуацій, ніж при завданні ситуації у вигляді посилки продукційного правила.

Зміна ж способу подання нечіткої ситуації, у свою чергу, потребує розробки нових способів подання керуючих рішень, що особливо актуально при динамічній побудові НСМ.

По-п'яте, недостатнє врахування чинника часу та тривалості реалізації керуючих рішень, що притаманне більшості систем ситуаційного планування.

По-шосте, існує недолік, властивий більшості моделей, що використовуються в задачах прийняття рішень при вирішенні завдань планування складними організаційно-технічними системами – це недостатнє врахування такої сторони складних систем, як множинність аспектів їх розгляду.

Нечітка ситуаційна мережа (НСМ) – нечіткий орієнтований зважений граф переходів за нечіткими еталонними ситуаціями. Набір нечітких, управляючих рішень, необхідних для виводу рішень по поточній ситуації, а також їх послідовність для досягнення цільової ситуації визначаються стратегією управління – нечітким маршрутом в нечіткій ситуаційній мережі між поточною та цільовою ситуаціями.

Вершини НСМ відповідають еталонним нечітким ситуаціям, дуги зважені керуючими рішеннями, необхідними для переходу по ситуаціям, і ступенями переваги цих рішень. Тут \tilde{s}_i ($i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$) – еталонні нечіткі

ситуації; $R_j (j \in P = \{1, 2, \dots, f\})$ – управляюче рішення; $\alpha(\tilde{s}_i, R_j)$ – ступінь переваги застосування керуючого рішення R_j в ситуації \tilde{s}_i у порівнянні з іншими можливими рішеннями із множини $R = \{R_1, R_2, \dots, R_j\}$. Ступені переваги керуючих рішень або залишаються незмінними у кожній ситуації і визначаються експертним опитуванням, або деяким чином залежать від ситуації і тоді для їх визначення використовується продукційна система типу "ситуація-перевага рішення" (С-ПР).

Керуюче рішення, що відповідає поточній ситуації, представляє собою послідовність рішень, необхідних для переходу від поточної ситуації до цільової за оптимальним, в деякому значенні, маршруту в НСМ. Таким чином, вивід рішень в моделі С-СУ-Д розбивається на два етапи: постановка цілі (цільової ситуації) і побудова стратегії управління. Ситуація з можливими в ній керуючими рішеннями представляє собою продукцію системи С-Д. Стратегія управління задає послідовність "перегляду" продукцій в продукційній системі "ситуація-дія", що відповідає оптимальному переводу об'єкта управління в цільовий стан.

Існує два підходи до побудови НСМ для заданого об'єкта управління: прямий і зворотній [148]. Суть прямого підходу полягає у моделюванні переходів об'єкта із ситуації в ситуацію. Для цього опитуванням експертів виявляється множина керуючих рішень $R = \{R_1, R_2, \dots, R_j\}$, можливих для даного об'єкта управління. Керуючі рішення задаються у вигляді відносин між значеннями ознак. Для кожної ситуації $\tilde{s}_i \in S_s$ формується підмножина ситуацій $s_{is} \subseteq S_s$, в які переходить об'єкт із ситуації \tilde{s}_i під впливом керуючих рішень з множини R . Потім вершини \tilde{s}_i в ситуаційній мережі з'єднується дугою з кожною вершиною s_{is} . Дуги навантажуються відповідними рішеннями та ступенями переваги цих рішень в ситуації \tilde{s}_i . Аналогічна процедура повторюється для всіх ситуацій з множини S_s . Ситуація $\tilde{s}_j \in S_s$, в

яку переходить об'єкт із ситуації \tilde{s}_i під впливом керуючого рішення R_i , визначається в результаті композиції \tilde{s}_i з відношенням, що задає рішення R_i .

Зворотній підхід полягає в тому, що на множині еталонних нечітких ситуацій вводиться деяке відношення, граф якого відображає можливі переходи із ситуації в ситуацію. Визначаючи необхідні для переходів керуючі рішення і ступені переваги їх застосування, отримуємо НСМ. Слід зазначити, що зворотній метод побудови НСМ достатньо розроблений тільки для об'єктів, що характеризуються взаємною незалежністю значень ознак. У цьому випадку для побудови НСМ застосовується відношення спільності ситуацій.

Формальне визначення "нечіткої" ситуації планування. Нехай $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_p\}$ – множина ознак, значеннями яких описуються стани об'єкта планування. Кожна ознака y_i ($i \in J = \{1, 2, \dots, p\}$) описується відповідною лінгвістичною змінною $\langle y_i, T_i, D_i \rangle$, де $T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_{m_i}^i\}$ – терм-множина лінгвістичної змінної y_i (набір лінгвістичних значень ознаки, m_i – кількість значень ознаки); D – базова множина ознаки y_i . Для опису термів T_j^i ($j \in L = \{1, 2, \dots, m_i\}$), що відповідають значенням ознаки y_i , використовуються нечіткі змінні $\langle T_j^i, D_i, C_j^i \rangle$, тобто значення T_j^i описується нечіткою множиною \tilde{C}_j^i в базовій множині D_i : $\tilde{C}_j^i = \{(\mu_{C_j^i}(d)/d)\}$, $d \in D_i$.

Нечіткої ситуацією \tilde{s} називається нечітка множина другого рівня

$$\tilde{s} = \{(\mu_s(y_i)/y_i)\}, y_i \in Y, \quad (4.32)$$

де $\mu(y_i) = \{(\mu_{\mu_s(y_i)}(T_j^i)/T_j^i)\}, j \in L, i \in J$. Ситуації \tilde{s}_i та \tilde{s}_l ($\tilde{s}_i, \tilde{s}_l \in S_s$) мають $(p-q)$ -спільність якщо нечіткі значення усіх ознак крім, можливо, q ознак, в цих ситуаціях нечітко рівні. Отже, застосовуючи не більше q 1-локальних, тобто діючих на нечітке значення тільки однієї ознаки, керуючих рішень, можна перейти із ситуації \tilde{s}_i в ситуацію \tilde{s}_l і навпаки. Практично при побудові НСМ зручно користуватися відношенням $(p-1)$ -спільності ситуацій (хоча це й не

обов'язково). Ситуації \tilde{s}_i і \tilde{s}_l за означенням мають $(p-1)$ -спільність, якщо вони відрізняються нечіткими значеннями тільки однієї ознаки $y_k \in Y$, а значення усіх інших $p-1$ ознак в цих ситуаціях нечітко рівні. Тоді, застосовуючи не більше одного 1-локального рішення, можна перейти із ситуації \tilde{s}_i в ситуацію \tilde{s}_l і навпаки.

Спочатку будується граф $(p-1)$ -спільності еталонних ситуацій. При цьому граф $G_{\tilde{z}} = (S_s, P)$ є графом $(p-1)$ -спільності еталонних ситуацій, якщо

$$P = \{p = \langle \tilde{s}_i, \tilde{s}_l \rangle\}, \tilde{s}_i \in S_s, \tilde{s}_l \in S_s, k_{p-1}(\tilde{s}_i, \tilde{s}_l) \geq t,$$

де t - поріг нечіткого рівності. Іншими словами, в графі $G_{\tilde{z}}$ дві вершини \tilde{s}_i і \tilde{s}_l з'єднуються дугою, спрямованою від \tilde{s}_i до \tilde{s}_l , якщо ситуації \tilde{s}_i і \tilde{s}_l мають $(p-1)$ -спільність за ознаками.

Тепер для побудови нечіткої ситуаційної мережі потрібно навантажити дуги графа переходів відповідними керуючими рішеннями і ступенями їх переваги. При цьому дуга $(\tilde{s}_i, \tilde{s}_l)$ у графі переходів між ситуаціями \tilde{s}_i і \tilde{s}_l , що мають $(p-1)$ -спільність, навантажується необхідним керуючим рішенням $R_k \in R$, необхідним для переходу з \tilde{s}_i в \tilde{s}_l . Знаючи \tilde{s}_i і \tilde{s}_l , можна визначити керуюче рішення R_k .

Сукупність нечітких значень ознак, що характеризують стан об'єкта планування, називається нечіткою ситуацією. Збільшення кількості нечітких ситуацій у порівнянні з типовими не позначається на розмірі вирішальної таблиці, оскільки кількість нечітких ситуацій незначно відрізняється від кількості типових ситуацій.

Отже, за допомогою обмеженого набору нечітких ситуацій можливо описати практично нескінченну кількість станів об'єкта планування. Тепер спрощено функціонування блоків оцінки станів і прийняття рішень можна представити наступним чином. Стан об'єкта планування оцінюється блоком оцінювання станів через деякі дискретні проміжки часу. Стан об'єкта

представляється у вигляді нечіткої ситуації. Отримана вхідна нечітка ситуація порівнюється з усіма типовими ситуаціями, що зберігаються в результуючій таблиці. На рис. 4.5 представлено алгоритм побудови динамічного плану за допомогою НСМ.

Для моделювання складних динамічних систем і процесів в умовах часових обмежень, розроблено метод ситуаційного моделювання на основі нечітких ситуаційних мереж з часовими обмеженнями. Нечітка ситуаційна мережа з часовими обмеженнями – нечіткий орієнтований зважений граф переходів по нечітким еталонним ситуаціям, при виконанні певних часових умов для кожної еталонної ситуації. Часові умови, це час від початку однієї ситуації до початку іншої ситуації. Вони визначаються експертом, або якщо можливо розраховуються автоматично.

$$G = (S, R, \alpha_i, \tau_i) \quad (4.33)$$

де $S=(s_1, s_2, \dots, s_n)$ - вершини нечіткої ситуаційної мережі, тут $\tilde{s}_i (i \in I = \{1, 2, \dots, n\})$ – еталонні нечіткі ситуації, R_j – управляюче рішення, $\alpha(\tilde{s}_i, R_j)$ – ступінь переваги застосування керуючого рішення R_j в ситуації \tilde{s}_i в порівнянні з другими можливими рішеннями з множини $R = \{R_1, R_2, \dots, R_j\}$, τ_i - часове обмеження на i -у ситуацію, яке є умовою переходу в наступну ситуацію. Значення часових обмежень задаються в одиницях виміру часу.

Метод складається з наступних кроків:

1. Визначення множини типових станів для ситуації s_n .
2. Визначення керуючих рішень r .
3. Встановлення ступеней переваг α_i і часових переваг τ_i для кожної ситуації.
4. Визначення остаточної множини керуючих рішень.
5. Визначення остаточного варіанту ситуаційної моделі.



Рис. 4.5 Алгоритм побудови динамічного плану за допомогою HCM

Фрагмент HCM з часовими обмеженнями для деякого об'єкта управління показано на рис. 4.6.

Часові обмеження зменшують кількість можливих рішень при вирішенні прикладних задач та дозволяють більш детально описати управляючі рішення, що дозволить спростити систему керування і здійснювати більш точне керування складним технічним об'єктом. Послідовність етапів при побудові нечіткої ситуаційної мережі з часовими обмеженнями представлено на рис.4.8.

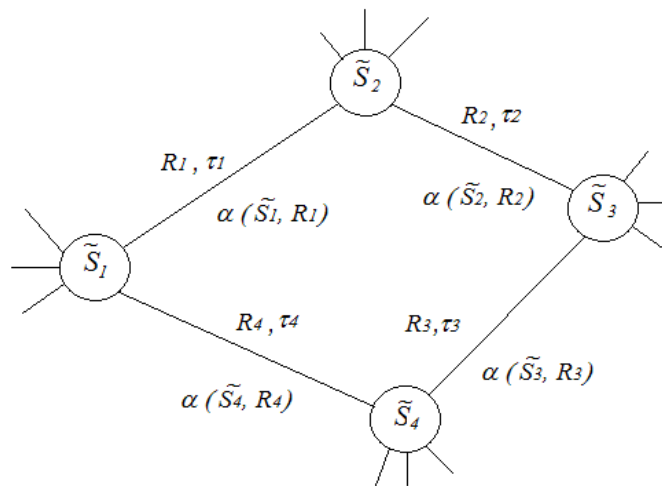


Рис.4.6 Фрагмент НСМ з часовими параметрами

Ступені переваги керуючих рішень або не змінні в кожній ситуації і визначаються експертом, або ставляться в залежність від ситуації, і тоді для їх визначення використовується система типу "ситуація-перевага рішення" (С-ПР), яка складається з продукційних правил. Керуюче рішення, що відповідає поточній ситуації, представляє собою послідовність рішень, необхідних для переходу від поточної ситуації до цільової по оптимальному в деякому значенні маршруту в НСМ, який відповідає заданим часовим обмеженням.

Приклад. Для прикладу розглянемо процес побудови нечіткої ситуаційної мережі з часовими обмеженнями для управління безпілотним літальним апаратом (БПЛА). Нечітка ситуаційна мережа базується на плані польоту. План польоту включає в себе початкову і кінцеву точку польоту, маршрут польоту, та певні часові обмеження, які можуть бути визначені експертом. Відповідно, здійснення польоту можна визначити як процес переходу між початковим і кінцевим станами, враховуючи часові обмеження. Цей процес може бути реалізований різними способами або шляхами, серед яких необхідно знайти найкращий.

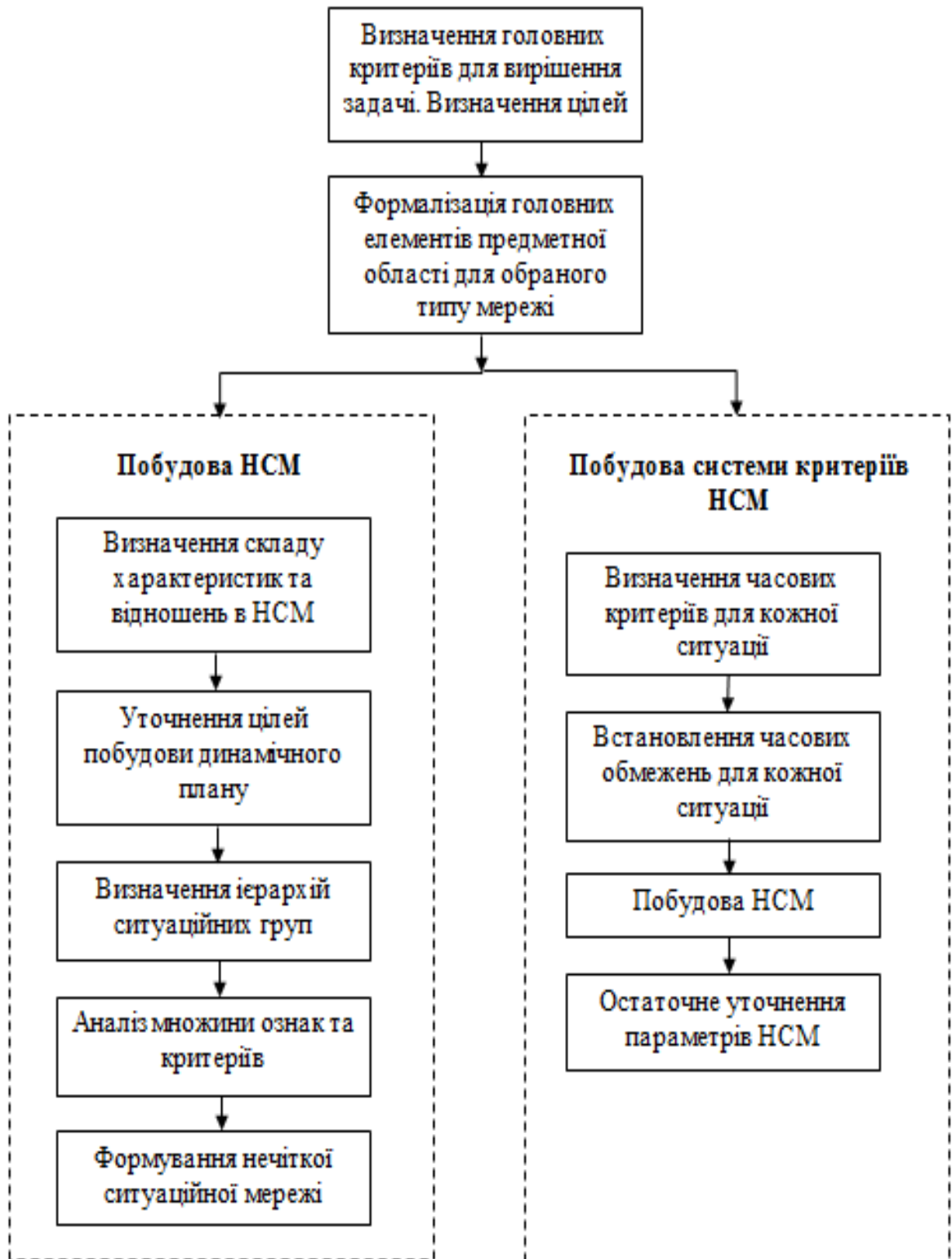


Рис.4.7 Послідовність етапів при побудові нечіткої ситуаційної мережі з часовими обмеженнями

Для визначення найкращого шляху використовується модель "ситуація - стратегія управління - дія" (С-СУ-Д), що здійснює пошук маршруту польоту по нечітким ситуаційним мережам.

Будується нечітка ситуаційна мережа у вигляді графу. Граф нечіткої ситуаційної мережі відображає можливі переходи з однієї нечіткої ситуації в іншу. Далі визначаються необхідні для кожного переходу керуючі рішення R_j ($j \in P = \{1, 2, \dots, f\}$), ступені переваги їх застосування $\alpha(s_i, R_j)$ та часові обмеження τ_i . Ступінь переваги застосування керуючого рішення обирається експертом. Критеріями вибору експерта можуть бути такі параметри польоту, пов'язані з необхідними для здійснення рішення заходами, наприклад, визначення висоти польоту, маневрування на певній висоті і т. інш.

Наприклад нечітка ситуація, що характеризує деякий стан, що виник при управлінні БПЛА представляється наступним чином:

$\{ \langle \langle 0.1 / \text{"велика"} \rangle, \langle 0.8 / \text{"середня"} \rangle, \langle 0.4 / \text{"мала"} \rangle / \text{"Швидкість польоту"} \rangle,$
 $\langle \langle 0.6 / \text{"велика"} \rangle, \langle 0.8 / \text{"невелика"} \rangle, \langle 1.0 / \text{"середня"} \rangle,$
 $\langle 0.6 / \text{"мала"} \rangle / \text{"Висота польоту"} \rangle,$
 $\langle \langle 0.8 / \text{"велика"} \rangle, \langle 0.6 / \text{"середня"} \rangle, \langle 0.1 / \text{"мала"} \rangle / \text{"Відстань до точки підльоту"} \rangle$
 $\langle \langle \text{"здійснити маневр за 5 хвилин"} \rangle \rangle \}.$

Вона надходить до блоку виводу та прийняття рішень, де по вирішальній таблиці визначаються управляючі рішення. У вирішальній таблиці у відповідність до цієї нечіткої ситуації може бути поставлено управляюче рішення: *"Знизити швидкість руху, підкорегувати висоту польоту, почати виконувати маневр через 1 хвилину, закінчити через 4 хвилини"*, тобто виконати маневр підльоту до цілі, в часовому інтервалі – 5 хвилин.

Для побудови нечіткої ситуаційної мережі призначена нечітка ситуаційна система, вона складається з п'яти основних блоків (рис.4.7). При цьому чотири блоки, а саме блок оцінки станів, блок видачі керуючих рішень, блок прийняття рішень, база знань і даних, є блоками персональної ситуаційної системи з нечіткою логікою, для налаштування яких на конкретну проблемну область призначений п'ятий блок – блок експертного

опитування. Взаємодія блоків в режимі налаштування відображено пунктирними лініями, а в режимі експлуатації створеної системи – суцільними.

В таблиці 4.2 представлено структуру програмного забезпечення.

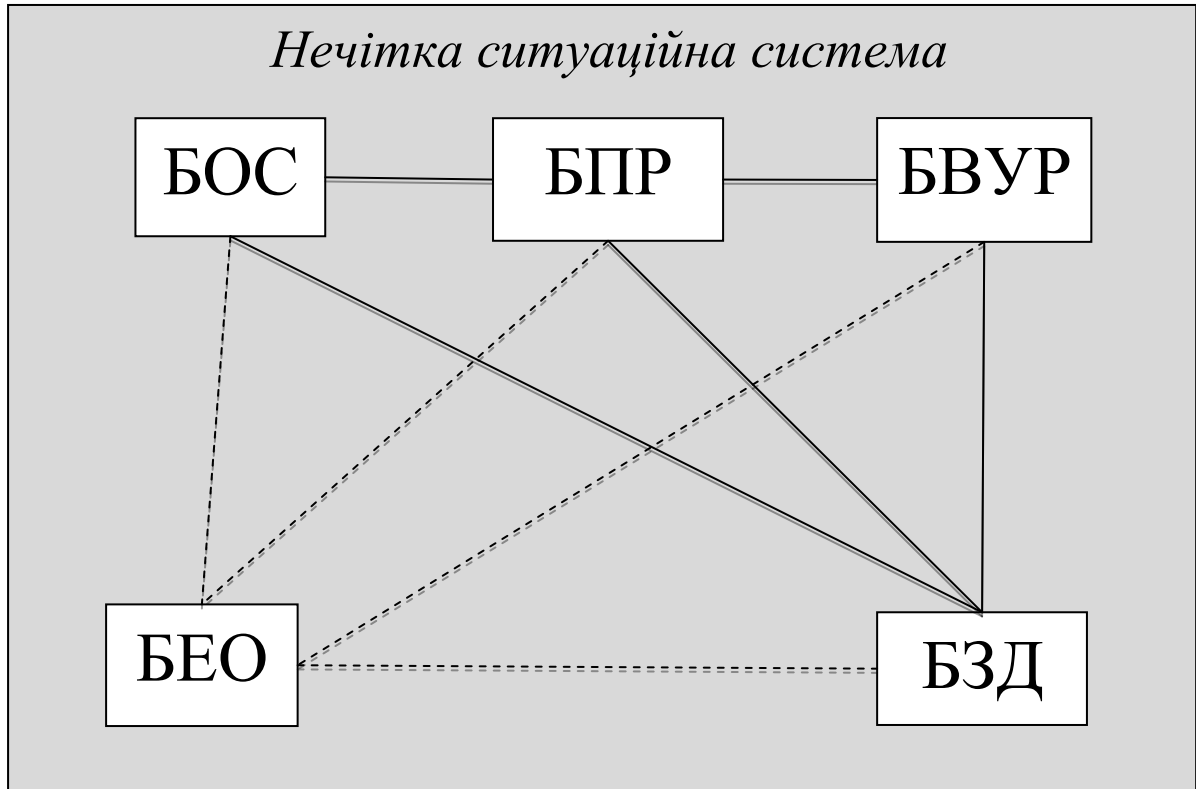


Рис.4.7 Загальна структура програмного забезпечення нечіткої ситуаційної системи

Таблиця 4.2. Характеристика основних блоків системи

Повна назва	Скорочена назва	Призначення
Блок оцінки станів	БОС	оцінка поточної ситуації ; перетворення опису інформації в потрібну форму.
Блок прийняття рішень	БПР	пошук для вхідної ситуації еталонної з врахуванням обраного методу порівняння ситуацій та ступеня довіри;
Блок видачі управляючих рішень	БУКР	Встановлення часових обмежень, ступеней переваги, пошук оптимального шляху між еталонною та цільовою ситуацією та видача на його

		основі переліку управляючих рішень.
База знань і даних	БЗД	зберігання еталонних ситуацій та їх налаштувань, зв'язків та керуючих впливів, ступенів відповідності.
Блок експертного опитування	БЕО	подання до системи всіх даних, що містяться в базі даних та знань, а також забезпечення виводу інформації на основі опису поточної та цільової ситуації та додаткових налаштувань.

4.7 Моделювання задач динамічного планування за допомогою мереж Петрі

Мережі Петрі це апарат моделювання складних систем і процесів, аналіз яких дозволяє отримати важливу інформацію про структуру та динамічну поведінку модельованої системи [176].

Моделювання в мережах Петрі здійснюється на рівні подій. Визначається, які дії відбуваються в системі, які стани передували цим діям і який стан прийме система після виконання дії. Виконання моделі події в мережах Петрі описує поведінку системи. Аналіз результатів виконання може сказати про те, в яких станах перебувала система, а які стани не-досяжні.

Можливість модифікацій мережі Петрі дозволяє адаптувати її для моделювання будь-яких об'єктів і процесів. Збільшення складності об'єктів, що моделюються, призводить до зростання розмірності мережі Петрі. Щоб спростити процес побудови моделі і підвищити її наочність, використовують різноманітні модифікації мереж Петрі (нечіткі, кольорові мережі Петрі, та інш.) [176].

Модель на основі простої мережі Петрі це $N_{petry} = \{S, T, F, M_0\}$, де $S = \{s_1, s_2, \dots, s_g\}$ – множина станів; $T = \{t_1, t_2, \dots, t_v\}$ – множина переходів; F –

множина дуг, яка включає підмножини вхідних та вихідних дуг по відношенню до переходу; M_0 – множина, в якій задається початкове маркування мережі Петрі.

Для моделювання задач планування можливе використання часових мереж Петрі, що є вдосконаленням мережі Петрі і пов'язано з додаванням до кожного з переходів інформації про часові межі. Це дозволяє визначити і деталіно описати часові проміжки плану. Часова мережа описується за допомогою наступного виразу $N_{time} = \{S, T, F, Eft, Lft, M_0\}$, де Eft, Lft – функції, що ставляться у відповідність кожному з переходів і визначають нижню (Eft) та верхню (Lft) часові межі, які задовольняють наступним умовам: $Eft(t) \leq Lft(t)$. Модель, яка враховує пріоритети, включає множину пріоритетів для кожного з переходів і має наступний вигляд: $PN_{pr_time} = \{S, T, F, Eft, Lft, PR, M_0\}$, де $PR = \{Pr_1, Pr_2, \dots, Pr_v\}$ – множина пріоритетів, а Pr_{1-v} – величини пріоритетів.

Для розширення можливостей аналізу складних систем та процесів, в тому числі для моделювання динамічних планів використовується моделювання на основі кольорових мереж Петрі, головною особливістю яких передбачається врахування змінних різного типу та умов спрацювання переходів. Модель на основі кольорової мережі Петрі має наступний вигляд $PN_{col} = \{S, T, F, M_0, Type, Type_T, Type_M, In\}$, де $Type$ – множина типів; $Type_T$ – множина, яка відображає доступну множину типів у позиціях мережі; $Type_M$ – множина типів маркерів, що ініціюють перехід; In – множина умов ініціації переходів.

Метод побудови динамічних ситуаційних моделей на основі кольорових мереж Петрі полягає в наступному:

1. Визначити множину станів $S = \{S_1, S_2, \dots, S_g\}$, та множину переходів $T = \{t_1, t_2, \dots, t_v\}$, які відповідають ситуації, що моделюється.
2. Визначити F , та задати початкове маркування мережі M_0 .

3.Визначити можливі зміни ситуації, та відобразити їх у Tr множині типів у позиціях Tm мережі.

4.Визначити маркери ,що ініціюють переходи, і умови ініціалізації переходів Itn (часові).

Динамічна модель ситуації у вигляді кольорової мережі Петрі:

$$DSM = (S, T, F, M_0, Tr, Tm, Itn) \quad (4.34)$$

На основі кольорових мереж Петрі можливо розробляти точні ситуаційні моделі динамічних процесів, приймати рішення на підставі моделювання, а також перевіряти результати моделювання.

Приклад. Необхідно промоделювати сезонний розподіл електроенергії між споживачами за допомогою кольорових мереж Петрі.[75,76] Електроенергію споживають 8 груп споживачів. Електроенергія поставляється 4 окремими джерелами, а саме: – вітряні електростанції (ВЕС); – сонячні батареї; – акумуляторні батареї; – дизель генератор.

Слід зазначити, що сонячні батареї, дизель генератор і акумуляторні батареї дають стабільно одне і теж значення видобутої електроенергії щомісяця. Що стосується ВЕС, то інтенсивність, а відповідно і кількість видобутої енергії цим джерелом залежать від пори року і місяця. Необхідно розподілити енергоресурси в залежності від їх потреб і в залежності від пори року. Моделювання здійснюється за допомогою вільно розповсюдженого ПЗ CPN Tools v.4.01.

Вхідні дані:

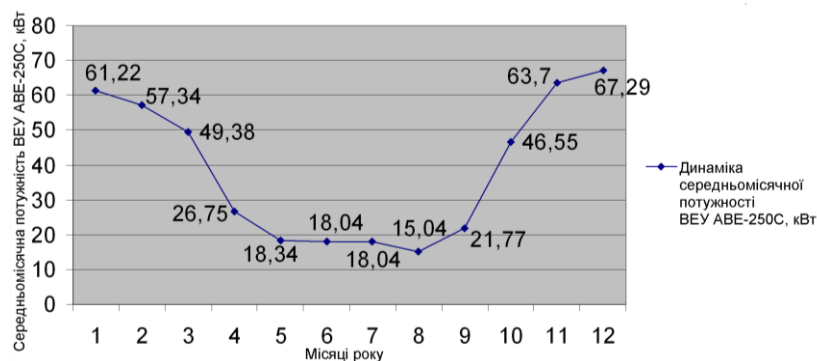


Рис. 4. 8 Графік середньомісячних потужностей вітряної електростанції

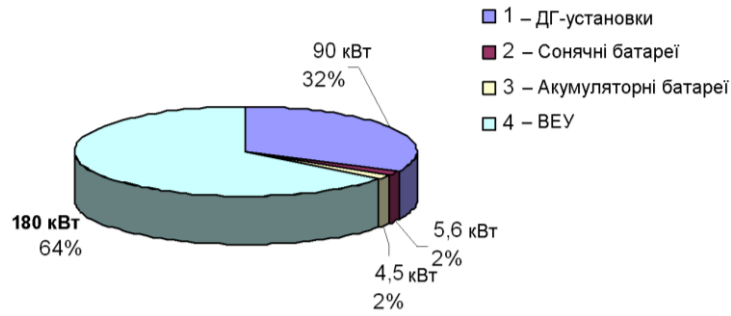


Рис 4.9 – Графік місячних потужностей різних ресурсів

Таблиця 4.1 – Споживання ресурсів за групами споживачів

№ з/п	Види споживачів і роботи	Розмірність показника	Період споживання (пора року, місяць)			
			Весна	Літо	Осінь	Зима
1	1	кВт	25	44,2	23	14,2
2	2	кВт	8,0	8,0	8,0	8,0
3	3	кВт	8,0	8,0	8,0	8,0
4	4	кВт	4,0	5,0	4,0	-
5	5	кВт	5,0	18,0	5,0	-
6	6	кВт	1,0	1,0	1,0	1,0
7	7	кВт	2,0	8,0	2,0	-
8	8	кВт	10,0	-	10,0	40,0
ВСЬОГО			63	92,2	61	71,2

Для вирішення поставленої задачі створена ситуаційна модель в вигляді мережі Петрі, зображена на рис. 4.10.

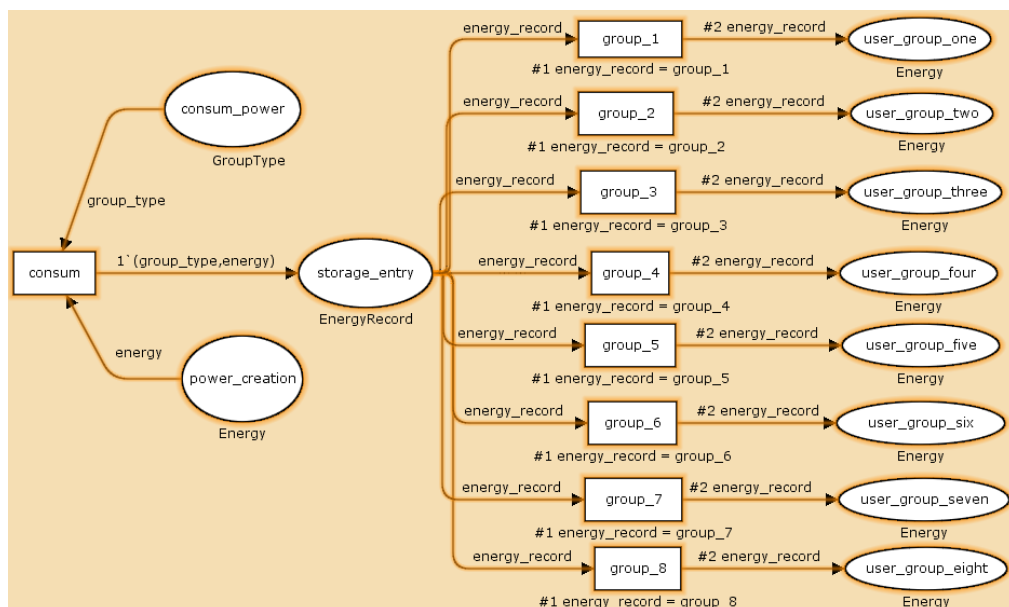


Рис. 4.10 – Ситуаційна модель енергетичної системи в вигляді мережі Петрі

Тут `Power_creation` – це стан, в якому задається кількість і види електроенергії. Як було зазначено вище, у поставленій задачі є 4 джерела електроенергії, а тому було створено `colorset` на мові CPN ML для представлення кожного к джерел. Іншими словами, було створено 4 типи фішок, які можуть бути передані з даного стану. Були створені наступні види фішок: `solar_energy`, `diesel_energy`, `wind_energy`, `batar_energy`, де `solar_nergy` – представляє собою електроенергію видобуту сонячними батареями; `diesel_nergy` – електроенергію вироблену за допомогою дизельних генераторів; `wind_energy` – електроенергію, вироблену ВЕС, та `batar_nergy` – електроенергії вироблену акумуляційними батареями. Синтаксис об'явлення змінних наведено на рис 4.11

```

▼Declarations
  ▼Standard priorities
    ▼val P HIGH = 100;
    ▼val P NORMAL = 1000;
    ▼val P LOW = 10000;
  ▼Standard declarations
    ▶colset UNIT
    ▶colset BOOL
    ▶colset INT
    ▶colset INTINF
    ▼colset REAL = real;
    ▶colset STRING
    ▼colset GroupType=with group 1|group 2|group 3|group 4|group 5|group 6|group 7|group 8;
    ▼colset Energy=with solar_nergy|diese_nergy|wind_nergy|batary_nergy;
    ▼colset EnergyRecord=product GroupType* Energy;
    ▼var energy:Energy;
    ▼var group_type:GroupType;
    ▼var energy_record:EnergyRecord;

```

Рис.4.11 – Синтаксис об'явлених змінних для створеної мережі Петрі

Consum_power – стан, який зберігає фішки, які відповідають за споживання електроенергії. Тип, який відведений для цього стану, підписаний, як group_type.

Group_type – це colorset, який відповідає за групу споживачів. Синтаксис можна побачити. Цей колір дозволяє створити 8 видів фішок, для кожної групи споживачів відповідно.

Group_1-group_8 – переходи фільтрування, які приймають фішки типу EnergyRecord та передають тип енергії у стани груп. Кожен з переходів спрацює лише у тому випадку, якщо на вхід прийде фішка з відповідної групою, інакше перехід працювати не буде.

Storage_entry – стан, в якому зберігається тимчасовий запис про EnergyRecord. Цей стан необхідний, щоб виконати фільтрування і відповідно розподіл ресурсів на групи. Фішки з цього стану передаються на переходи фільтрування.

User_group_one – user_group_eight – стани, у яких відповідно зберігається тип енергії спожитої відповідної групою.

Consume – це старт, який приймає фішки двох типів: Energy, змінна energy та Group_type, змінна group_type. Це означає, що необхідно розподілити відповідний тип енергії відповідній групі. Цей перехід відповідає за об'єднання типу спожитої енергії з групою, яка відповідно його спожила. Деталі роботи мережі Петрі буде наведено нижче. На виході переходу формується одна нова фішка, яка представляє собою запис, цей запис оголошено як Energy_Record.

Оголошуються вхідні дані. Вхідні дані, представляють собою оголошення фішок у вхідних станах. Вхідні стани мережі це стани consum_power та power_creation.

Далі обирається один з видів енергії та група споживачів.

Розрахунок споживання енергії на кожену пору року. Розраховується спожита енергію за весну. На моделі рис. 4.12 наведено початкові дані для моделювання. Щоб задати необхідні дані використовуються

мультимножини, які в мові CPN ML виглядають так:

Оголошення груп :

- 25`group_1++;
- 8`group_2++;
- 8`group_3++;
- 4`group_4++;
- 5`group_5++;
- 1`group_6++;
- 2`group_7++;
- 10`group_8.

Оголошення типів енергії:

- 5`solar_energy++
- 90`diesel_energy++
- 57`wind_energy++
- 4`batar_energy.

Після 50 кроків, отримуємо результат наведено на рис. 4.12.

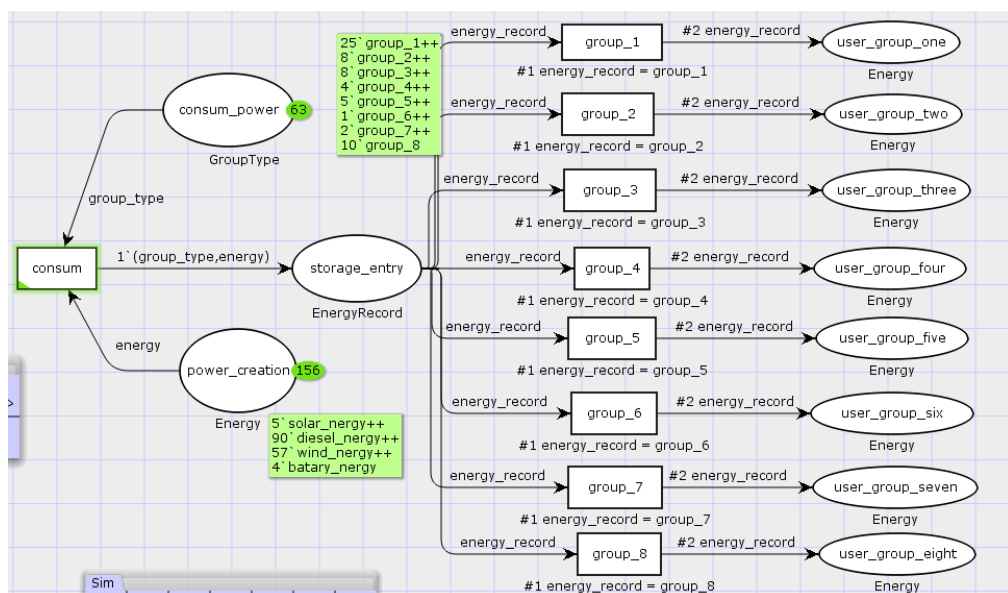


Рис. 4.12 – Початкові дані для моделювання розподілення ресурсів

ВЕСНОЮ

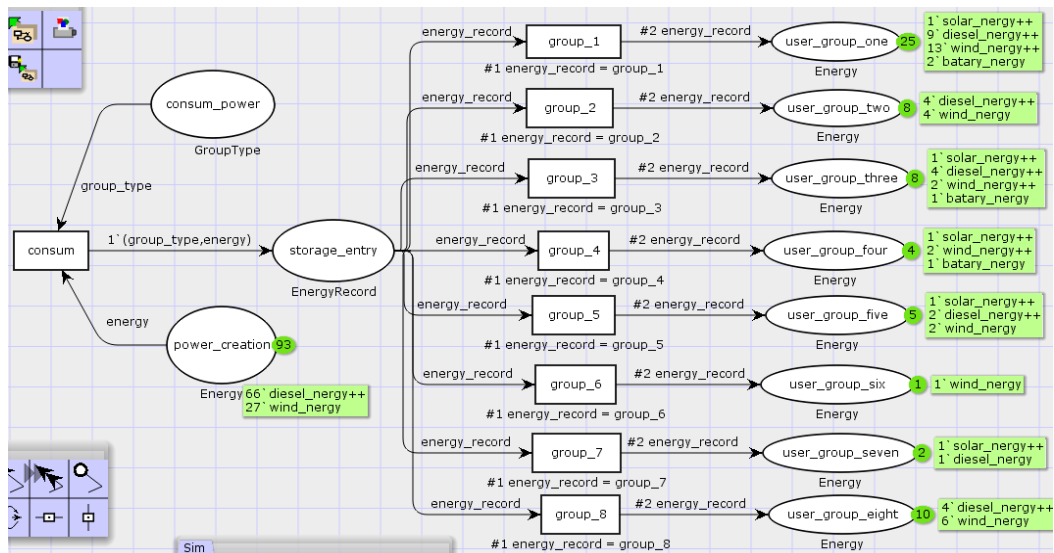


Рис. 4.13 – Результати моделювання по розподіленню ресурсів весною
Отримані дані характеризують усереднений розподіл за сезон. Дані за весну наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Отримані результати

Група	Сонячні батареї	Дизельний генератор	ВЕС	Акумуляційні батареї
1	2	3	3	2
2	-	3	4	-
3	2	2	1	1
4	1	2	-	1
5	1	2	2	-
6	-	-	1	-
7	2	1	-	-
8	-	1	3	-

Моделювання розподілу енергії на літо. Після моделювання, отримуємо результат наведений в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Отримані результати

Група	Сонячні батареї	Дизельний генератор	ВЕС	Акумуляційні батареї
1	1	1	2	-

2	1	-	1	-
3	2	1	1	-
4	-	1	-	1
5	1	-	1	-
6	1	-	-	-
7	1	1	1	1
8	1	-	-	-

Моделювання розподілу енергії на осінь.

Отримані результуючі дані занесено до табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Отримані результати

Група	Сонячні батареї	Дизельний генератор	ВЕС	Акумуляційні батареї
1	1	7	2	2
2	1	1	2	-
3	-	4	3	-
4	-	1	3	-
5	1	1	4	-
6	1	2	-	-
7	-	1	2	-
8	-	2	2	2

Моделювання розподілу енергії на за зиму.

Отримані результуючі дані занесено до табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Отримані результати

Група	Сонячні батареї	Дизельний генератор	ВЕС	Акумуляційні батареї
1	3	7	3	1
2	1	3	3	1
3	1	1	6	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	1
7	-	-	-	-
8	-	19	20	1

Результати моделювання сезонного розподілу енергоресурсів по групам споживачів свідчать про адекватність моделей, на основі кольорових мереж Петрі.

4.8. Розробка інформаційної технології моделювання і побудови динамічних планів

Інформаційна технологія моделювання і побудови динамічних планів представлена на рис. 4.14.

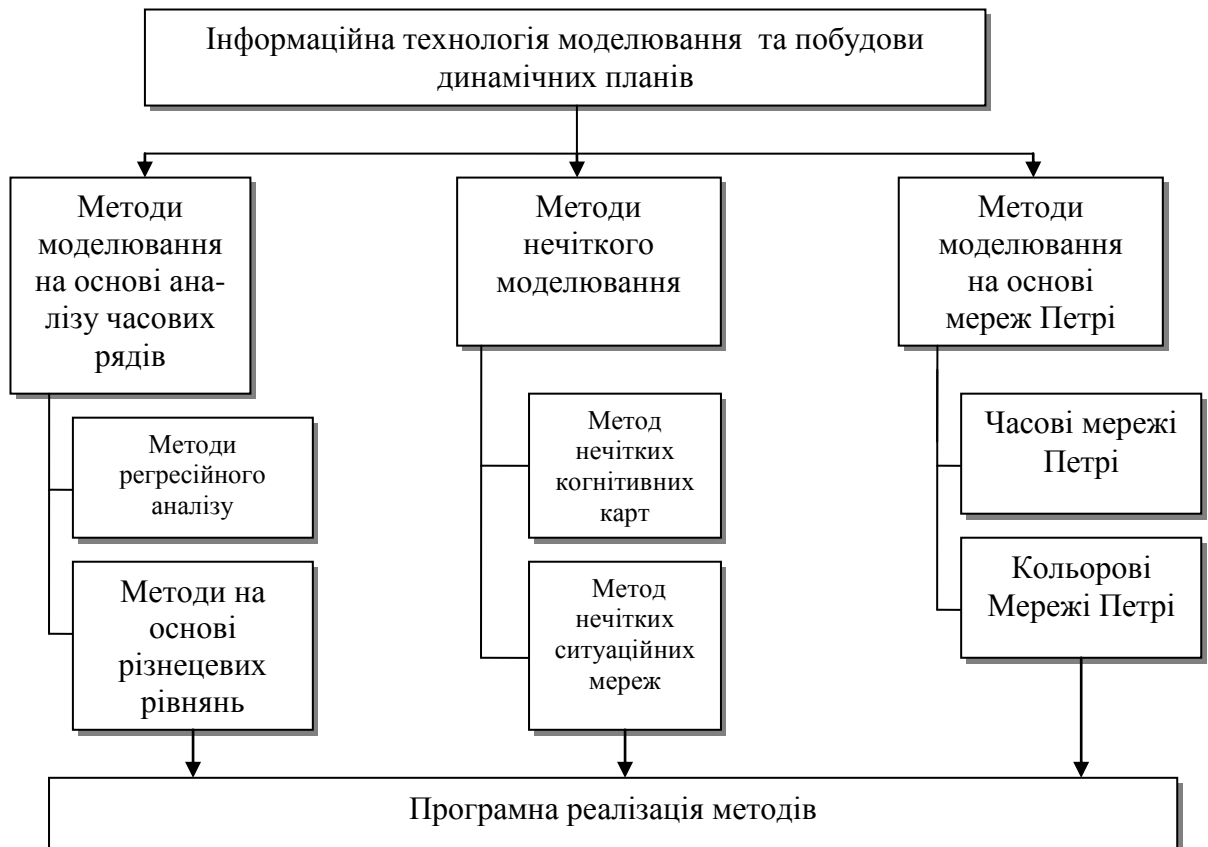


Рис. 4.14 Інформаційна технологія моделювання і побудови динамічних планів

4.9 Висновки до розділу 4

1.Визначені головні задачі і методи моделювання в задачах динамічного планування. Розглянуто особливості вибору моделей і критеріїв для розв'язання задач динамічного планування.

2.Представлено метод побудови структури динамічного плану на основі оцінювання ризиків і невизначеностей при дослідженні ситуацій. Представлена ситуаційна структурна модель динамічного плану

3.Запропоновано класифікацію задач і методів моделювання в задачах динамічного планування, яка надає можливість коректно вибрати метод побудови моделі залежно від конкретної постановки задачі.

4.Запропоновано підхід до побудови моделей у просторі станів на основі методики побудови моделей за теорією аналізу часових рядів, який забезпечує коректний перехід від регресійних рівнянь типу $AR(p)$ та $ARКС(p, q)$.

5.Досліджено задачу оцінювання нелінійностей в ймовірнісно-статистичних моделях з метою уточнення структури математичної моделі часового ряду.

6.Розглянуто ймовірнісно-статистичні моделі на основі регресії та різницевих рівнянь, які використовуються для коротко- та середньострокового прогнозування з метою прийняття рішень на їх основі.

7.Розглянуто особливості застосування нечітких ситуаційних мереж для моделювання ситуацій в задачах динамічного планування в умовах наявності невизначеностей інформаційного характеру. Для моделювання поведінки складних динамічних систем в умовах ситуаційної невизначеності, запропоновано метод ситуаційного моделювання на основі нечітких ситуаційних мереж з часовими обмеженнями.

8.На основі кольорових мереж Петрі запропонований метод побудови динамічних ситуаційних моделей для вирішення задач планування.

9.Запропонована схема інформаційних технологій для моделювання в

задачах динамічного планування, яка ґрунтується на запропонованих методах побудови статистичних моделей, методах моделювання на основі нечітких ситуаційних мереж та моделях на основі кольорових мереж Петрі.

РОЗДІЛ 5.

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ПРОГНОЗУВАННЯ В ЗАДАЧАХ ДИНАМІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ

Вирішення задач прогнозування в задачах динамічного планування вимагає використання сучасної методології системного аналізу до існуючих підходів та методів моделювання і прогнозування, коректної побудови математичних моделей процесів різної природи на основі розробок в галузі ймовірно-статистичних методів і теорії оцінювання. Сучасні методи, прогнозування [1], не передбачають застосування системного підходу до розв'язання задач прогнозування в плануванні і не дають відповіді на основне запитання: як організувати процес обробки даних таким чином, щоб отримати кращі оцінки прогнозів в умовах наявності невизначеностей різних типів (структурних, параметричних і статистичних). Ці невизначеності зумовлені нестационарністю процесу, розвиток якого прогнозується, пропусками даних, неякісними зашумленими даними, наявністю екстремальних значень [20]. Тому необхідно створювати нові процедури (схеми, підходи) для прогнозування та для оцінювання моделей і прогнозів, які забезпечать якість прогнозування та отримання прийнятних оцінок прогнозів в умовах наявності невизначеностей, коротких вибірок та недостатньо високої інформативності статистичних даних. [38]

У даному розділі вирішуються завдання побудови інформаційних технологій прогнозування для вирішення задач динамічного планування на основі системного використання різних методів.

5.1 Концепція побудови інформаційної технології адаптивного прогнозування для вирішення завдань динамічного планування

На рис. 5.1 наведено структурну схему системного підходу до організації процесу прогнозування при вирішенні завдань динамічного планування [20]. Він ґрунтується на аналізі досліджуваного процесу,

встановленні типів наявних характерних невизначеностей, оцінюванні структури і параметрів моделі та прогнозів. Для розв'язання цього комплексу завдань необхідно спроектувати і реалізувати СППР. Спрощена концептуальна схема процесу моделювання, прогнозування (як логічного завершення двох попередніх етапів) наведена на рис.5.2. На рис.5.3, наведено розширену схему адаптивного моделювання і прогнозування.[20]

Адаптивне прогнозування починається з визначення процесу, аналізу його станів, існуючих підходів до побудови прогнозів розвитку процесу. На основі аналізу літературних джерел встановлюється тип моделі, необхідної для опису визначеного процесу. Вибір типу та структури моделі дуже важливий етап для реалізації подальших етапів створення системи прогнозування та в подальшому системи прийняття рішень.

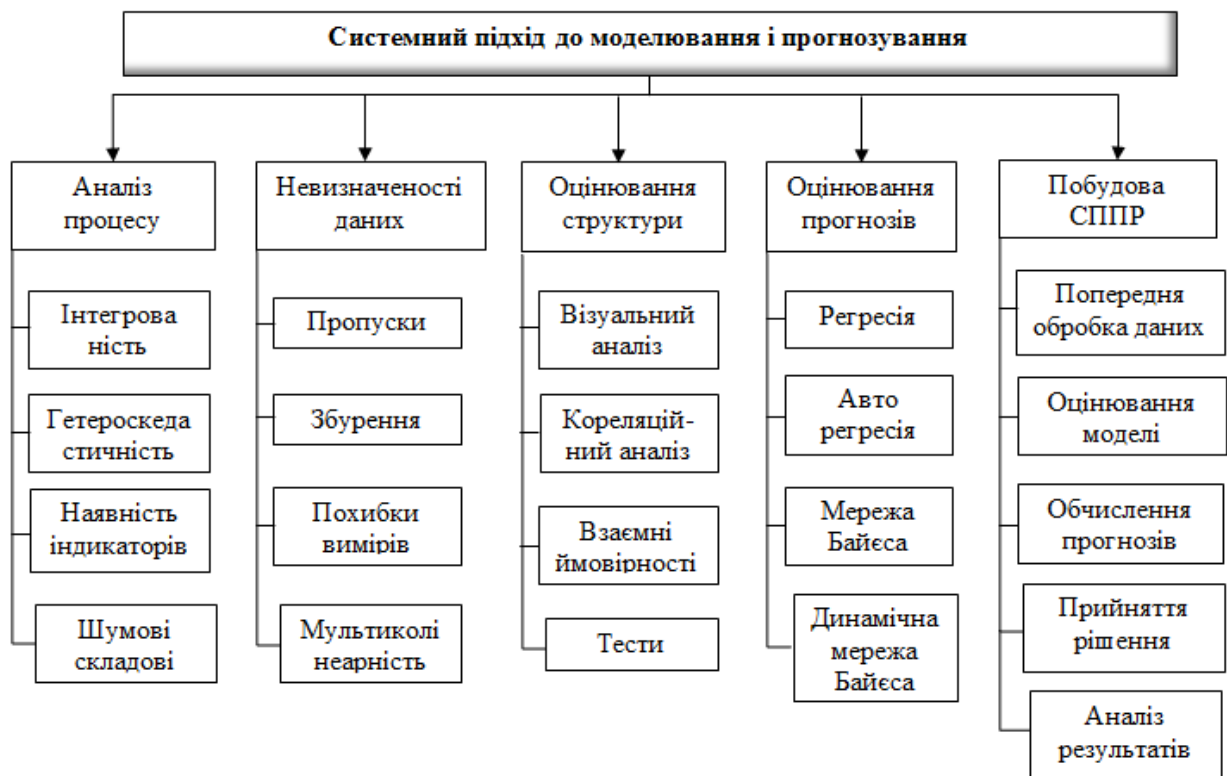


Рис.5.1. Системний підхід до моделювання і прогнозування

При розробці систем для прогнозування процесів різної природи підібрати модель готову до використання дуже важко. Відомі моделі потребують корегування їх структури та параметрів для адаптації до конкретних умов використання. Якість даних є необхідною умовою для побудови математичної моделі, а тому при визначенні даних необхідно

керуватись відомими вимогами стосовно їх інформативності та синхронності [20,23,25].

Адаптивне прогнозування починається з визначення процесу, аналізу його станів, існуючих підходів до побудови прогнозів розвитку процесу. На основі аналізу літературних джерел встановлюється тип моделі, необхідної для опису визначеного процесу. Вибір типу та структури моделі дуже важливий етап для реалізації подальших етапів створення системи прогнозування та в подальшому системи прийняття рішень.



Рис.5.2. Узагальнена схема прогнозування

Данні спочатку обробляють для коректного застосування методів оцінювання моделі та для отримання їх статистично значущих оцінок.

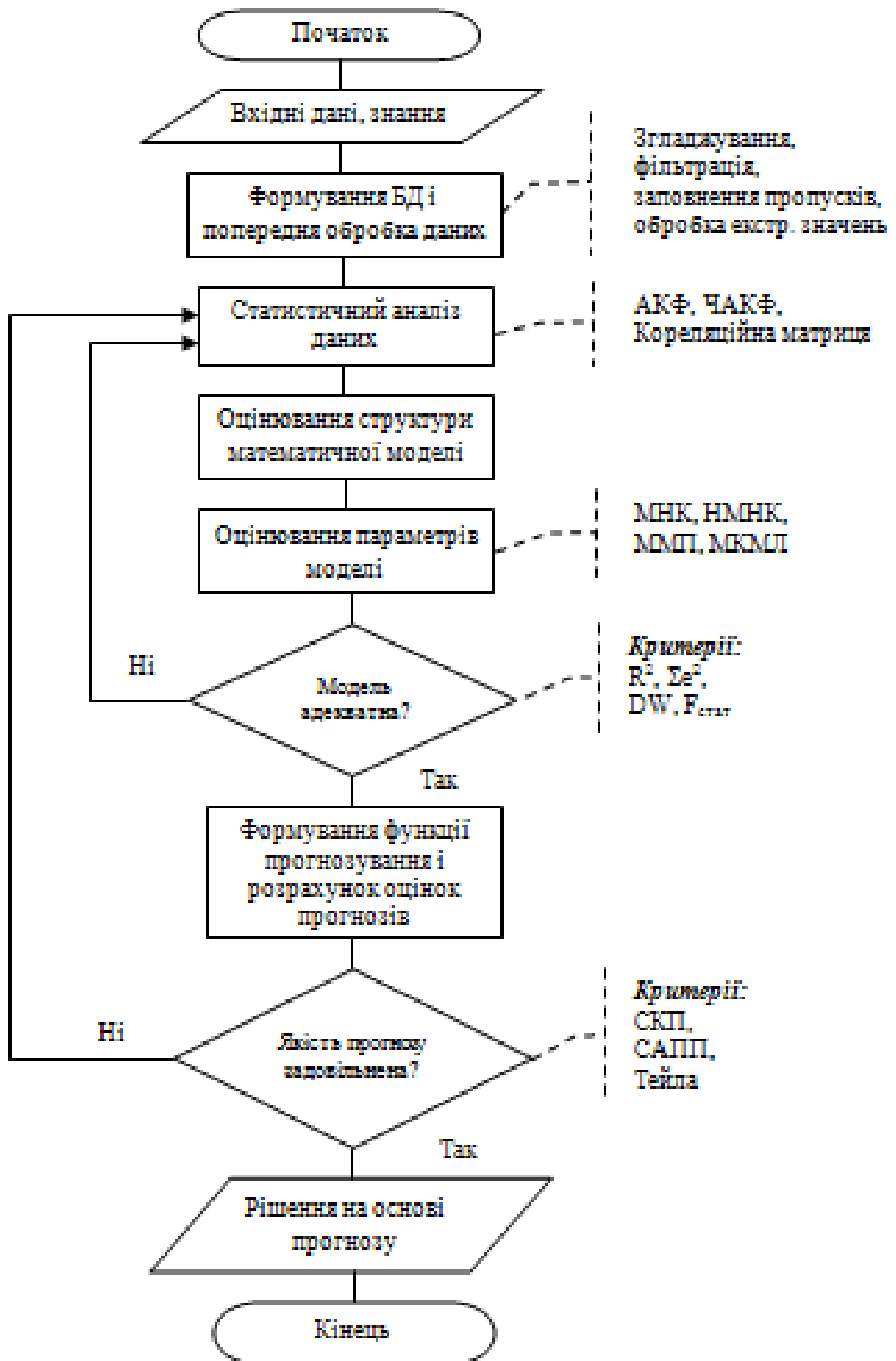


Рис.5.3 Розширена схема адаптивного підходу до моделювання і прогнозування

На основі аналізу попередньо підготовлених даних оцінюють структуру та параметри математичних моделей та процесів, вибраних для прогнозування та планування. Вибір та оцінювання структури моделі – головний момент її побудови.

Структура моделі включає п'ять елементів: (1) *вимірність* (кількість рівнянь, які утворюють модель); (2) *порядок* – максимальний порядок диференціальних або різницевих рівнянь, які утворюють модель; (3) *нелінійність та її тип* (нелінійності стосовно змінних або параметрів); (4) *час затримки (лаг)* реакції відносно входу та його оцінка; (5) *зовнішнє збурення процесу та його тип* (випадкове або (рідко) детерміноване). Як правило, для одного процесу оцінюють декілька моделей-кандидатів, а потім вибирають кращу з них за допомогою множини статистичних параметрів якості моделі. [20]

Як статистичну модель розглядається модель процесу у вигляді розподілу випадкових величин [2,3]. Після побудови модель перевіряється на можливість її застосування до розв'язання задачі прогнозування. На сьогодні існує широкий спектр методів прогнозування, які застосовують в задачах планування і прийняття рішень. Вибір методу прогнозування це задача, яка часто потребує вибору кращого з декількох альтернативних методів на основі аналізу отриманого результату або створення схем оцінювання комбінованих прогнозів [20].

Самими розповсюдженими методами прогнозування розвитку процесів довільної природи є такі: методи регресійного аналізу, нечітка логіка, ймовірнісні методи, метод групового врахування аргументів (МГВА), нейронні мережі, нейронечіткі моделі, методи на основі „м'яких” обчислень, та деякі інші. Кожний із методів в тій чи іншій мірі може враховувати невизначеності структурного, статистичного або параметричного характеру. Одним із сучасних напрямів розвитку ймовірнісних методів моделювання і прогнозування є статичні і динамічні мережі Байєса (МБ), які мають ряд суттєвих переваг перед іншими підходами. [20]

5.2 Підхід до прогнозування на основі часових рядів для вирішенні завдань динамічного планування

На сьогоднішній день визначено досить велика множина методів прогнозування лінійних та нелінійних процесів з використанням даних у формі часових рядів.[25] Найбільш поширеними серед них є метод групового врахування аргументів (МГВА)[114], авторегресія (АР), та її різновиди ARMAX[23,25], з дробовою інтегрованістю ARFIMA[25], АРКС, авторегресія з інтегрованим ковзним середнім (АРІКС)[25], нелінійна множинна регресія, квантильна регресія, регресійні дерева, нейромережі, байєсівські мережі, нечіткі множини, нечіткі нейромережі та інші. Відносно „універсальними” методами моделювання та прогнозування є МГВА і нечіткі нейромережі. Однак, практика показує, що одного, навіть досить універсального методу, недостатньо для досягнення повноти аналізу процесу. Так, наприклад коректний аналіз гетероскедастичних процесів вимагає застосування моделей спеціальної структури для опису умовної дисперсії, що не забезпечує МГВА. Кожний метод має також свої недоліки і переваги стосовно обчислювальних витрат та характеристик точності оцінок прогнозів. Так, висока точність прогнозу за допомогою МГВА або нейромережі іноді досягається за рахунок високих обчислювальних витрат і моделей складної структури. Це особливо стосується застосування моделі у задачах динамічного планування, де модель необхідна і для оцінювання прогнозу і для прийняття рішення. Суттєву перевагу щодо обчислювальних витрат можна досягти у такому випадку за допомогою набагато простішої моделі АРКС (або АРІКС), перевагами яких є простота структури та можливості їх оперативної адаптації до характеристик процесу в реальному часі. Цьому сприяє також наявність множини відносно простих методів рекурсивного оцінювання параметрів моделей. [23,25]

На сьогодні відсутній систематизований підхід до вибору структури математичних моделей та методів прогнозування, а також рекомендацій стосовно їх застосування.

Методи прогнозування можна розділити на три широкі класи [23,25]:

1. прогнозування на основі суджень, тобто, прогнозування, на суб'єктивних судженнях (оцінках), інтуїції, поглиблених знаннях конкретної області та іншій інформації, що має відношення до прогнозованого процесу – так зване передбачення;
2. методи прогнозування на основі використання часового ряду однієї змінної, тобто, на основі вивода вні ни, вивода вні ни з ковзним середнім (АРКС) та АРКС плюс модель тренду;
3. методи прогнозування на основі використання часових рядів декількох змінних [29].

В останньому випадку ендогенна змінна, що прогнозується, залежить від декількох регресорів або екзогенних змінних у правій частині рівняння. Очевидно, що в загальному випадку метод прогнозування може поєднувати у собі декілька наведених вище методів.

Застосування такого підходу забезпечує отримання високої якості прогнозів та прийнятих рішень, які на них ґрунтуються. Схема процесу аналізу даних та динамічного прогнозування в СППР на основі часових рядів представлена на рис.5.4.

5.3 Прогнозування динаміки процесів довільної природи

Для прогнозування динаміки досліджуваного процесу необхідно відповідним чином сформулювати постановку задачі. Постановка задачі прогнозування визначається рівнем прийняття рішення та особливостями конкретної задачі планування. Загалом, процедура прогнозування може бути спрямована на оцінювання майбутніх значень таких складових процесу [23,25]:

- тренд процесу (його поточне середнє значення), як показник довгострокових змін;
- нерегулярної складової тренду, що вказує на коротко- та середньострокові зміни досліджуваних процесів;

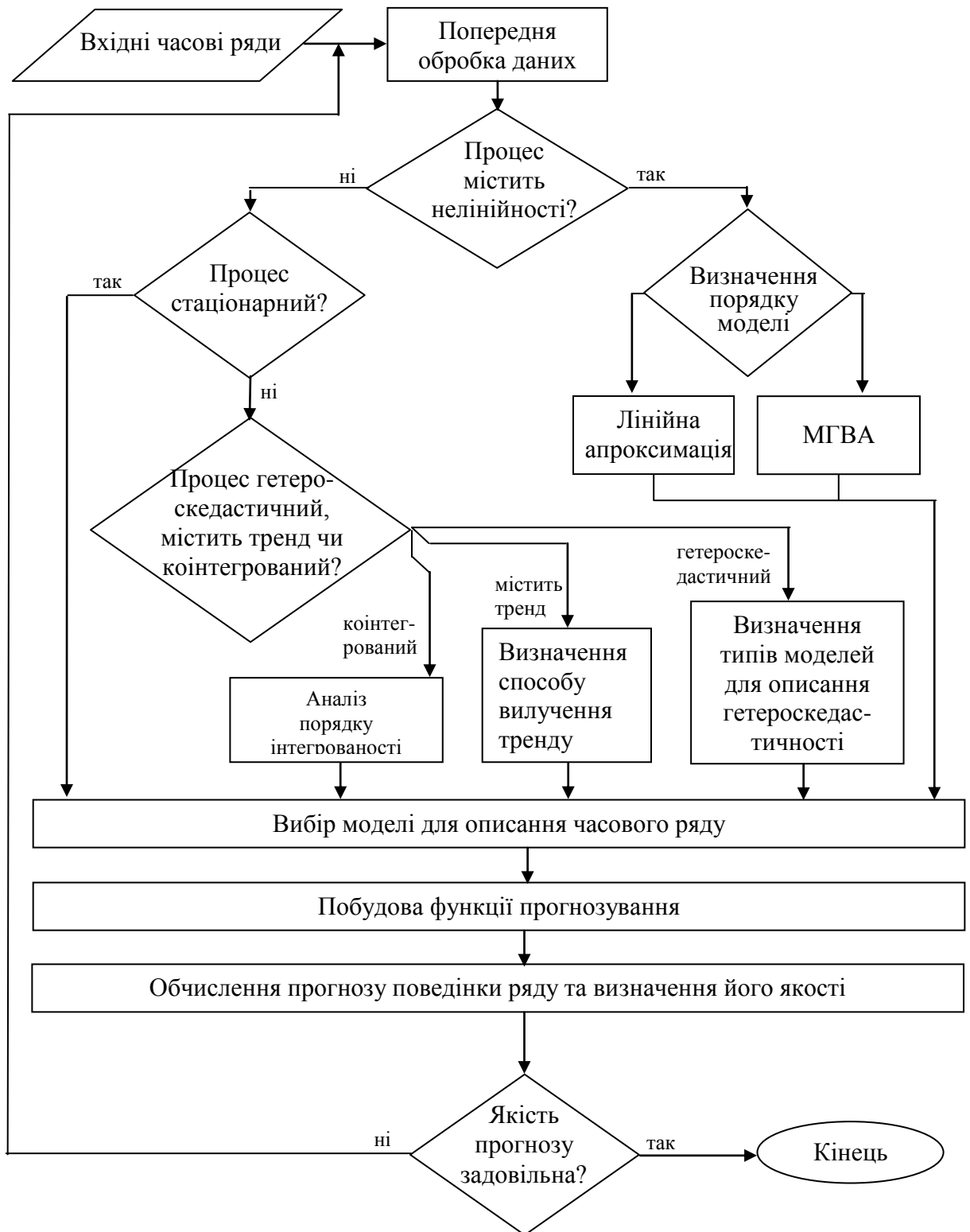


Рис.5. 4 Схема процесу динамічного прогнозування на основі часових рядів

- прогнозування коливань або відхилень від поточного середнього, які вказують на короткострокові зміни процесів;
- прогнозування можливих сезонних ефектів;

- оцінювання майбутніх приростів зміни процесу, які визначають швидкість (динаміку) його розвитку;
- прогнозування умовної дисперсії, як міри розсіювання процесу; так, волатильність часто використовують за міру ризику у при дослідженні фінансових процесів;
- прогнозування рівнів якісних змінних з використанням нечіткої логіки, дерев рішень або нейронечітких моделей;
- одночасне прогнозування кількох вказаних елементів.

У відповідності до постановки задачі прогнозування (тобто які елементи процесу необхідно оцінювати), будується математична, ймовірнісна або логічна модель у формі множини правил, що має за мету забезпечення високої якості оцінок прогнозів на заданому інтервалі. Таблиця 5.2 містить складові прогнозування динаміки та можливості математичного опису процесів різної природи.

Таблиця 5.2 Складові динаміки процесів різної природи

№	Модель	Тип моделі	Тип прогнозу
1	Детермінований тренд	$y(k) = a_0 + a_1 \cdot k + a_2 \cdot k^2 + \dots + a_p \cdot k^p + \varepsilon(k)$ $E[\varepsilon(k)] = 0$ – обмеження на випадковий процес	Довгострокове прогнозування
2	Стохастичний тренд	$y(k) = y_0 + k a_0 + \sum_{i=1}^k \varepsilon(i);$ $\sum_{i=1}^k \varepsilon(i)$ – випадкова складова тренду.	Довгострокове прогнозування
3	Авторегресія з ковзним середнім	$y(k) = \sum_{i=1}^p a_i y(k-i) + \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon(k-j) + \varepsilon(k)$	Прогнозування коливань, короткочасових змін. Прогнозування сезонних ефектів.
4	Прогнозування дисперсії гетероскедастичні процеси)	$h(k) = \beta_0 + \beta_1 \varepsilon^2(k-1) + \varepsilon_1(k)$ $h(k)$ – умовна дисперсія процесу; $\varepsilon^2(k)$ – квадрат залишків авторегресійної моделі основної змінної невисокого	Прогнозування динаміки дисперсії.

		порядку; $\varepsilon_1(k)$ – визначається похибкою моделі в момент k .	
--	--	---	--

Опис детермінованого тренду. Детермінований тренд можна описати за допомогою полінома довільного порядку p :

$$y(k) = a_0 + a_1 \cdot k + a_2 \cdot k^2 + \dots + a_p \cdot k^p + \varepsilon(k), \quad E[\varepsilon(k)] = 0,$$

або за допомогою іншої детермінованої функції (експонента, гармонічна функція і т. ін.). Оцінювання прогнозу за наведеною моделлю тренду зводиться до підстановки в неї необхідного значення часу k і застосування оператора умовного математичного сподівання щоб позбутися впливу випадкового процесу $\varepsilon(k)$. Оскільки майбутні значення тренду вважаються довгостроковим прогнозом, то детермінований тренд – це індикатор довгострокових змін. Центрованість випадкового процесу, $E[\varepsilon(k)] = 0$, забезпечує коректність застосування методів оцінювання параметрів, зокрема методу найменших квадратів.

Опис стохастичного тренду. Однією з простих моделей стохастичного тренду є відоме рівняння (процес) випадкового кроку:

$$y(k) = a_0 + y(k-1) + \varepsilon(k). \quad (5.1)$$

Розв'язок цього рівняння має вигляд:

$$y(k) = y_0 + k a_0 + \sum_{i=1}^k \varepsilon(i). \quad (5.2)$$

Сума випадкових величин $\sum_{i=1}^k \varepsilon(i)$ у правій частині рівняння (5.2) описує нерегулярну (випадкову) складову загального тренду. Інші (ускладнені) моделі стохастичних трендів можуть включати комбінації кількох випадкових процесів. Це надає можливість для опису складних випадків прискорених змін досліджуваних процесів, які трудно прогнозуються.

Швидкі коливання процесу, які накладаються на тренд, – це його короткострокові зміни, які можна описати авторегресію з ковзним середнім:

$$y(k) = \sum_{i=1}^p a_i y(k-i) + \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon(k-j) + \varepsilon(k), \quad (5.3)$$

де процес ковзного середнього можна обчислити різними способами, залежно від постановки задачі. Можливості визначення оцінок прогнозу, $\hat{y}(k+s)$, де s – кількість кроків прогнозування, з використанням операторів умовного та безумовного математичного сподівання розглянемо нижче.

Якщо обчислити перші або різниці вищих порядків, то з процесу вилучається тренд першого або другого порядку. Так, якщо процес містить лінійний тренд, то його вилучають перші різниці. Після переходу до різниць дані містять коливання, що накладаються на детермінований тренд.

Для прогнозування сезонних ефектів у модель процесу необхідно вводити відповідні значення основної змінної із лагами, що відповідають періодичності сезонного ефекту. Якщо дані щомісячні, то період ефекту дорівнює 12, а якщо дані квартальні, то періодичність ефекту дорівнює чотирьом. Сезонний ефект можна враховувати за допомогою основної змінної і за допомогою ковзного середнього.

Можливості прогнозування дисперсії. Якщо дисперсія процесу має свою динаміку, тобто змінюється у часі, то для її опису можна вибрати відповідне рівняння, змінні якого характеризують дисперсію даного процесу. На основі цієї моделі можна побудувати відповідну функцію прогнозування для обчислення у подальшому оцінки прогнозованого значення. Процеси, дисперсія яких змінюється у часі, отримали назву гетероскедастичних. Для опису динаміки дисперсії використовуються моделі АРУГ (ARCH), УАРУГ (GARCH), ЕУАРУГ (EGARCH) та деякі інші[25,26].

Параметри таких моделей обчислюють за методом максимальної правдоподібності або, у окремих випадках, за допомогою методу Монте-Карло для марковських ланцюгів.

5.3.1 Оцінювання прогнозів без розв'язків рівнянь

Отримання оцінок прогнозів за допомогою різницевого рівняння – один з розповсюджених підходів до прогнозування. Проста структура різницевого рівняння дає можливість обчислювати оцінки прогнозів на один крок без додаткового перетворення моделі [23,25]. У праву частину моделі підставляють минулі значення основної змінної і обчислюють оцінку прогнозу на один крок вперед. Для того щоб обчислити оцінку прогнозу на більшу кількість кроків (періодів дискретизації вимірів), необхідно зробити попередні перетворення моделі. Розглянемо два підходи до побудови прогнозуючих функцій та отримання оцінок прогнозів [23.25].

Спочатку розглянемо процес авто регресії першого порядку (АР(1)):

$$y(k) = a_0 + a_1 y(k-1) + \varepsilon(k), \quad E[\varepsilon(k)] = 0. \quad (5.4)$$

Тепер збільшимо час k на одиницю і отримаємо:

$$y(k+1) = a_0 + a_1 y(k) + \varepsilon(k+1). \quad (5.5)$$

За умови, що оцінки параметрів a_0, a_1 відомі, можна визначити умовне математичне сподівання на момент k (тобто вся необхідна інформація про процес відома на момент k , включно):

$$\begin{aligned} \hat{y}(k+1) &= E_k[y(k+1)] = E_k[y(k+1) | y(k), y(k-1), \dots, \varepsilon(k), \varepsilon(k-1), \dots)] = \\ &= a_0 + a_1 E_k[y(k)] = a_0 + a_1 y(k), \end{aligned} \quad (5.6)$$

оскільки $y(k)$ – відома величина на момент k .

Аналогічно отримаємо рівняння для моменту часу $k+2$:

$$y(k+2) = a_0 + a_1 y(k+1) + \varepsilon(k+2) \quad (5.7)$$

і також запишемо умовне МС:

$$\begin{aligned} E_k[y(k+2)] &= a_0 + a_1 E_k[y(k+1)] = a_0 + a_1 E_k[a_0 + a_1 y(k)] = \\ &= a_0 + a_0 a_1 + a_1^2 y(k). \end{aligned} \quad (5.8)$$

Для моменту часу $k+3$ маємо:

$$E_k[y(k+3)] = a_0 + a_0 a_1 + a_0 a_1^2 + a_1^3 y(k). \quad (5.9)$$

Для загального випадку обчислення оцінок прогнозів на довільну кількість s кроків можна записати такий вираз:

$$\begin{aligned} \hat{y}(k+s) &= \\ &= E_s[y(k+s)] = a_0 \left(\sum_{i=0}^{s-1} a_1^i \right) + a_1^s y(k) = a_0 \sum_{i=0}^{s-1} a_1^i + a_1^s y(k). \end{aligned} \quad (5.10)$$

Рівняння (5.10) – це функція прогнозування на довільну кількість кроків. Послідовність оцінок прогнозів – це збіжний процес, якщо $|a_1| < 1$, тобто

$$\lim_{s \rightarrow \infty} E_k[y(k+s)] = \frac{a_0}{1-a_1}, \quad |a_1| < 1, \quad (5.11)$$

де a_1 – знаменник геометричної прогресії. Формулу (5.11) можна трактувати так: для стаціонарного процесу АР чи АРКС оцінка прогнозу збігається асимптотично ($s \rightarrow \infty$) до безумовного середнього.

Обчислимо похибки оцінок прогнозування за умови центрованості випадкового процесу, $E[\varepsilon(k)] = 0$:

$$f_k(s) = y(k+s) - E_k[y(k+s)]. \quad (5.12)$$

Оцінка похибки прогнозування на один крок визначається за виразом:

$$f_k(1) = y(k+1) - E_k[y(k+1)] = a_0 + a_1 y(k) + \varepsilon(k+1) - a_0 - a_1 y(k) = \varepsilon(k+1). \quad (5.13)$$

Значення похибки оцінки прогнозу на два кроки:

$$\begin{aligned}
f_k(2) &= y(k+2) - E_k[y(k+2)] = \\
&= a_0 + a_1[a_0 + a_1y(k) + \varepsilon(k+1)] + \varepsilon(k+2) - E_k[y(k+2)] = \\
&= a_0 + a_0a_1 + a_1^2y(k) + a_1\varepsilon(k+1) + \varepsilon(k+2) - a_0 - a_0a_1 - a_1^2y(k) = \\
&= \varepsilon(k+2) + a_1\varepsilon(k+1).
\end{aligned} \tag{5.14}$$

Тепер запишемо вираз для похибки оцінок прогнозів на довільну кількість кроків таким чином:

$$f_k(s) = \varepsilon(k+s) + a_1\varepsilon(k+s-1) + a_1^2\varepsilon(k+s-2) + \dots + a_1^{s-1}\varepsilon(k+1). \tag{5.15}$$

Оскільки $E[f_k(s)] = 0$, то оцінка прогнозу, знайдена за виразом (5.12), є незміщеною. Знайдемо дисперсію похибок прогнозування на довільну кількість кроків:

$$\text{Var}[f_k(s)] = \sigma^2 [1 + a_1^2 + a_1^4 + a_1^6 + \dots + a_1^{2(S-1)}], \tag{5.16}$$

де s – кількість кроків прогнозування. Знайдемо асимптотичне значення дисперсії похибок оцінок прогнозів:

$$\lim_{S \rightarrow \infty} \text{Var}[f_k(s)] = \frac{\sigma^2}{1 - a_1^2}, \tag{5.17}$$

де a_1^2 – знаменник геометричної прогресії. Очевидно, що вираз (5.17) справедливий для стаціонарного процесу: $|a_1| < 1$.

За наявності ковзного середнього (тобто для процесу АРКС(p, q)) функція прогнозування будується аналогічно. Так, процес АРКС(2,1) описується рівнянням

$$y(k) = a_0 + a_1y(k-1) + a_2y(k-2) + \varepsilon(k) + \beta_1\varepsilon(k-1). \tag{5.18}$$

Для наступного моменту часу запишемо:

$$y(k+1) = a_0 + a_1 y(k) + a_2 y(k-1) + \varepsilon(k+1) + \beta_1 \varepsilon(k). \quad (5.19)$$

Тепер умовне МС для $y(k+1)$ має вигляд:

$$\hat{y}(k+1) = E_k[y(k+1)] = a_0 + a_1 y(k) + a_2 y(k-1) + \beta_1 \varepsilon(k), \quad (5.20)$$

де $\varepsilon(k)$ – відома величина на момент k , включно; $E_k[\varepsilon(k+j)] = 0, \quad \forall j > 0$.

Для наступного моменту $k+2$ маємо:

$$y(k+2) = a_0 + a_1 y(k+1) + a_2 y(k) + \varepsilon(k+2) + \beta_1 \varepsilon(k+1); \quad (5.21)$$

а умовне МС має вигляд:

$$\begin{aligned} E_k[y(k+2)] &= a_0 + a_1 E_k[y(k+1)] + a_2 E_k[y(k)] = \\ &= a_0 + a_1 [a_0 + a_1 y(k) + a_2 y(k-1) + \beta_1 \varepsilon(k)] + a_2 y(k) = \\ &= a_0 + a_0 a_1 + a_1^2 y(k) + a_1 a_2 y(k-1) + a_1 \beta_1 \varepsilon(k) + a_2 y(k) = \\ &= a_0(1 + a_1) + (a_1^2 + a_2) y(k) + a_1 a_2 y(k-1) + a_1 \beta_1 \varepsilon(k). \end{aligned} \quad (5.22)$$

Аналогічно можна знайти умовне МС для оцінки прогнозу на три кроки:

$$\begin{aligned} E_k[y(k+3)] &= a_0 + a_1 E_k[y(k+2)] + a_2 E_k[y(k+1)] = \\ &= a_0(1 + a_1 + a_1^2 + a_2) + (a_1^3 + 2a_1 a_2) y(k) + (a_1^2 a_2 + a_2^2) y(k-1) + \\ &\quad + \beta_1 (a_1^2 + a_2) \varepsilon(k). \end{aligned} \quad (5.23)$$

На основі виразів для умовного МС можна стверджувати, що рекурсивний вираз для оцінок прогнозів на довільну кількість кроків s може бути записаний так:

$$E_k[y(k+s)] = a_0 + a_1 E_k[y(k+s-1)] + a_2 E_k[y(k+s-2)]. \quad (5.24)$$

Для характеристичного рівняння, записаного для (5.24), можна знайти його корені. Якщо їх значення знаходяться всередині одиничного кола, то оцінки прогнозів збігаються до безумовного середнього:

$$\lim_{s \rightarrow \infty} E[y(k+s)] = \frac{a_0}{1 - a_1 - a_2}. \quad (5.25)$$

Для процесу АРКС(p, q) довільного порядку вираз для оцінок прогнозів можна записати у вигляді:

$$E_k[y(k+s)] = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i E_k[y(k+s-i)]. \quad (5.26)$$

5.3.2 Побудова функцій прогнозування на основі розв'язків різницевих рівнянь

Розглянемо спочатку побудову функції прогнозування на основі розв'язку 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 $\varepsilon(k)$ – центрований білий шум; $y(0) = y_0$ – початкова умова для основної змінної. Відомо, що для однорідного рівняння $y(k) - a_1 y(k-1) = 0$ розв'язком є $A a_1^k$, де A – довільна константа, що визначається за допомогою початкових умов.

Для знаходження часткового розв'язку можна скористатись лаговим оператором L :

$$y(k) = \frac{a_0}{1 - a_1} + \frac{\varepsilon(k)}{1 - a_1 L} + \frac{\beta_1 \varepsilon(k-1)}{1 - a_1 L}. \quad (5.27)$$

За властивістю лагового оператора, запишемо загальний розв'язок у формі:

$$y(k) = \frac{a_0}{1-a_1} + \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(k-i) + \beta_1 \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(k-i-1) + A a_1^k. \quad (5.28)$$

Щоб знайти довільну константу, скористаємось відомою початковою умовою:

$$k=0: \quad y_0 = \frac{a_0}{1-a_1} + \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(-i) + \beta_1 \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(-i-1) + A. \quad (5.29)$$

Тепер розв'язок із врахуванням значення довільної константи має вигляд:

$$y(k) = \frac{a_0}{1-a_1} + \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(k-i) + \beta_1 \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(k-i-1) + \left[y_0 - \frac{a_0}{1-a_1} - \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(-i) + \beta_1 \sum_{i=0}^{\infty} a_1^i \varepsilon(-i-1) \right] a_1^k \quad (5.30)$$

Легко показати, що

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

а тому

$$y(k) = \frac{a_0}{1-a_1} + \sum_{i=0}^{k-1} a_1^i \varepsilon(k-i) + \beta_1 \sum_{i=0}^{k-1} a_1^i \varepsilon(k-i-1) + \left[y_0 - \frac{a_0}{1-a_1} \right] a_1^k. \quad (5.31)$$

Отримаємо рівняння для обчислення оцінок прогнозів із врахуванням відомого початкового значення збурення $E_0[\varepsilon(0)] = \varepsilon_0$, тобто необхідно знайти $E_0[y(k)]$. Шукана функція прогнозування має вигляд:

$$E_0[y(0+k) | y(0), \varepsilon(0)] = \frac{a_0}{1-a_1} + E_0 \left[\sum_{i=0}^{k-1} a_1^i \varepsilon(k-i) + \beta_1 \sum_{i=0}^{k-1} a_1^i \varepsilon(k-1-i) \right] +$$

$$+ E_0 \left(\left[y_0 - \frac{a_0}{1-a_1} \right] a_1^k \right).$$

Оскільки

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

а також

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

знайдемо вираз для обчислення оцінок прогнозів відносно нульового моменту часу:

$$y(0+k) = E_0[y(k)] = \frac{a_0}{1-a_1} + \beta_1 a_1^{k-1} \varepsilon_0 + \left[y_0 - \frac{a_0}{1-a_1} \right] a_1^k. \quad (5.32)$$

Вираз (5.32) – це функція прогнозування на k кроків на основі інформації про процес на момент $k=0$.

Тепер визначимо функцію прогнозування на s кроків на основі інформації на момент k . Замінімо індекси у рівнянні (5.32):

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

Оновимо часові аргументи для змінних y і ε на k кроків:

$$y(k+s) = E_k[y(k+s)] = \left(\frac{a_0}{1-a_1} \right) (1-a_1^s) + \beta_1 a_1^{s-1} \varepsilon(k) + y(k) a_1^s. \quad (5.33)$$

Рівняння (5.33) – це функція прогнозування на основі відомої інформації на момент k . Наведені вище викладки надають можливість записати функції прогнозування на довільну кількість кроків:

$$s = 1: \quad E_k[y(k+1)] = a_0 + \beta_1 \varepsilon(k) + a_1 y(k);$$

$$s = 2: \quad E_k[y(k+2)] = \left(\frac{a_0}{1-a_1} \right) (1-a_1^2) + \beta_1 a_1 \varepsilon(k) + a_1^2 y(k);$$

$$s = 3: \quad E_k[y(k+3)] = \left(\frac{a_0}{1-a_1} \right) (1-a_1^3) + \beta_1 a_1^2 \varepsilon(k) + a_1^3 y(k); \quad (5.34)$$

...

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

Перехід від АРКС(1,1) до АР(1) дуже простий: необхідно покласти $\beta_1 = 0$. Таким чином, отримаємо функцію прогнозування для АР(1) у формі:

$$E_k[y(k+s)] = \left(\frac{a_0}{1-a_1} \right) (1-a_1^s) + a_1^s y(k). \quad (5.35)$$

За аналогією будуються функції прогнозування на основі моделей іншої структури. Отримані функції прогнозування можливо табулювати і використовувати для обчислення оцінок прогнозів при дослідженні процесів довільної природи.

5.4 Прогнозування на основі мереж Байєса

Байєсів метод використовують у різних формах постановки задачі та використовують різні підходи до їх розв'язання. Однією з популярних модифікацій даного методу є представлення проблеми прогнозування і прийняття рішення у вигляді Байєсової мережі, яка є спрямованим ациклічним графом. Байєсові мережі (БМ) [21,22,27] знаходять широке застосування в інформаційних системах обробки статистичних, даних, представлених часовими рядами і часовими перерізами, а також якісними даними, представленими експертними оцінками, лінгвістичними змінними, інтервальними значеннями. Байєсові мережі знаходять застосування в системах обробки і класифікації інформації різної природи, у багатьох інших

сферах діяльності. Загалом БМ дає можливість встановити причинно-наслідкові зв'язки між подіями та визначити ймовірності настання тієї чи іншої ситуації при отриманні нової інформації стосовно зміни стану будь-якого вузла мережі. Ступінь успішності застосування даного методу моделювання та формування статистичного висновку залежить від вміння коректно сформулювати постановку задачі, вибрати змінні процесу, який досліджується, які в достатній мірі характеризують його динаміку або статистику, зібрати статистичні дані та використати їх для навчання мережі, а також коректно сформулювати результат – висновок за допомогою побудованої мережі [21].

Побудова БМ пов'язана з необхідністю послідовного розв'язання декількох задач, зокрема це задачі обчислювального характеру, що зустрічаються при навчанні мережі. В загальному випадку навчання мережі відноситься до NP -повних задач, тобто об'єм обчислень зростає поліноміально із збільшенням кількості вузлів (змінних) мережі [27].

БМ можна розглядати як модель представлення ймовірнісних залежностей (взаємозв'язків) між вершинами ациклічного графу. Зв'язок $A \rightarrow B$ називають причинним, якщо подія A є причиною виникнення B , тобто якщо існує механізм впливу значень змінної A на значення, які приймає змінна B . БМ називають причинною (каузальною) тоді, коли всі її зв'язки є причинними.

Формально, БМ – це трійка $\mathbf{N} = \langle \mathbf{V}, \mathbf{G}, \mathbf{J} \rangle$, першою множиною є множина змінних \mathbf{V} ; другою множиною – спрямований ациклічний граф \mathbf{G} , вузли якого відповідають випадковим змінним модельованого процесу; \mathbf{J} -спільний розподіл ймовірностей змінних $\mathbf{V} = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$. При цьому стосовно множини змінних виконується марковська умова, тобто кожна змінна мережі не залежить від усіх інших змінних, за винятком батьківських попередників цієї змінної.

Спочатку ставиться задача обчислення значень взаємної інформації між усіма вершинами (змінними) мережі. Потім необхідно знайти оптимальну структуру мережі з використанням за критерій якості оцінку опису мережі

мінімальної довжини (ОМД), значення якої аналізується і оновлюється на кожній ітерації алгоритму навчання.

На сьогодні існує широкий спектр методів побудови структури мережі. Всі алгоритми оцінювання структури БМ можна поділити на дві групи: (1) алгоритми евристичного пошуку структури ймовірнісної моделі з використанням скорингового методу для її оцінювання; (2) алгоритми другої групи ґрунтуються на пошуку структури моделі шляхом аналізу взаємних залежностей між змінними (вузлами) моделі. При застосуванні алгоритмів першої групи процес пошуку структури продовжується до тих пір, поки значення функції скорингу не перестане змінюватись або буде змінюватись несуттєво від однієї ітерації до іншої. У першому випадку для оцінювання якості структури БМ використовується, зокрема, такі критерії: байєсівська скорингова функція, ентропійний критерій, функціонал на основі опису мінімальної довжини [22]. Алгоритми цієї групи вимагають менше обчислювальних витрат, але в результаті їх застосування може бути знайдена не найкраща структура моделі внаслідок евристичної природи процедур пошуку. У другому випадку взаємна залежність вузлів оцінюється за допомогою тестів на умовну незалежність [23]. Перевагою алгоритмів пошуку цієї групи є можливість досягнення асимптотично коректного результату, але тести на умовну незалежність іноді виявляються ненадійними, особливо у випадках невеликих об'ємів даних. Процедура побудови БМ представлена у Додатку А.

Для досягнення можливості розв'язання задач прогнозування за допомогою БМ структуру статичної графічної ймовірнісної моделі необхідно модифікувати. Однією з таких можливостей є побудова так званої адитивної БМ, яка дає можливість зменшити об'єми таблиць умовних ймовірностей у випадку моделювання динамічних систем [23]. Адитивні БМ утворюють базис для побудови динамічних мережних моделей (ДММ), які дають можливість обчислювати та оновлювати значення прогнозів з надходженням нових свідчень (вимірів). Ймовірнісний висновок на основі ДММ представляє

собою розподіл ймовірностей прогнозних значень, що ґрунтуються на часових рядах поточних спостережень.

БМ у цілому визначається повним спільним розподілом ймовірностей:

$$p(X_1, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n p(X_i | \pi(X_i)), \quad (5.35)$$

де X_1, \dots, X_n – вузлові змінні; $\pi(X_i)$ – множина батьківських вузлів змінної X_i . Імовірнісний висновок у мережі стосується умовної ймовірності прийняття вибраними змінними конкретного значення за умови наявності деякого свідчення (інформації) стосовно стану мережі: $p(\mathbf{X}=\mathbf{x} | \mathbf{E}=\mathbf{e})$. Тобто тут \mathbf{X} – будь-яка множина вузлів, яка приймає значення \mathbf{x} за умови, що спостережувані вузли приймають значення \mathbf{e} . Ступінь складності імовірнісної мережі (кількість вузлів і зв'язків між ними) може впливати на якість імовірнісного висновку. В залежності від складності задачі використовують алгоритми формування точного або наближеного висновків, і хоча проблеми можуть виникати у обох випадках, для багатьох практичних задач висновок можна отримати з належною точністю і за прийнятний час.

Адитивні ймовірнісні мережні моделі можна віднести до загального класу моделей сепарабельного типу. Ідея сепарабельності полягає у тому, що загальний вплив множини змінних X_1, \dots, X_m на основну (залежну) змінну Y можна виразити через впливи окремих змінних. При цьому припускається, що кожна незалежна змінна X_i може перебувати у деякому стані (станах) s_i^* такому, що вона не буде створювати вплив на Y . Таким чином, умовні ймовірності $p(Y | X_i, X_{j \neq i} = x_j^*)$, $i=1, \dots, m$ характеризують окремі впливи кожної змінної X_i на Y . Загалом у сепарабельних моделях вся множина змінних $\{X_1, \dots, X_m\}$ розділяється на підмножини \mathbf{X}_i , $i=1, \dots, l$, для кожної з яких i визначається окремо вплив на залежну змінну через умовну ймовірність $p(Y | \mathbf{X}_i, \mathbf{X}_{j \neq i} = \mathbf{x}_j^*)$. Тепер адитивну мережну модель можна представити у вигляді:

$$p(Y=y | X_1, \dots, X_m) = \begin{cases} \sum_{i=1}^l \alpha_i p(Y=y | X_i, X_{j \neq i} = x_j^*), & \text{якщо } y \neq y^*; \\ 1 - \sum_{y' \neq y^*} p(Y=y' | X_1, \dots, X_l), & \text{якщо } y = y^*, \end{cases}$$

(5.36)

де y^* – стани залежної змінної, які відповідають окремим впливам змінних $X_i, i=1, \dots, l$; $\alpha_i \geq 0, i=1, \dots, l$ – параметри моделі, які повинні задовольняти умові:

$$\sum_{i=1}^k \alpha_i p(Y | X_i, X_{j \neq i} = x_j^*) \leq 1.$$

Інші обмеження на ці параметри можуть визначатись конкретним застосуванням таких моделей. За аналогією з іншими сепарабельними моделями, для визначення умовних ймовірностей $p(Y | X_1, \dots, X_m)$ адитивної моделі необхідно визначити тільки умовні ймовірності, зумовлені l окремими впливами. Таким чином, для БМ з бінарними змінними розмір таблиць умовних ймовірностей можна скоротити від 2^{m+1} до $\sum_{i=1}^m 2^{|X_i|+1}$.

Властивості адитивних моделей дають можливість використати для прогнозування БМ разом з регресійними моделями.

Розроблено метод прогнозування на основі адаптивного підходу з комбінованим використанням регресійних та ймовірнісно-статистичних моделей у формі мереж Байєса, це дає можливість зменшити об'єми таблиць умовних ймовірностей у випадку моделювання динамічних систем. Адитивні БМ утворюють базис для побудови динамічних мережних моделей (ДММ), які дають можливість обчислювати та оновлювати значення прогнозів з надходженням нових свідчень (вимірів). Ймовірнісний висновок на основі ДММ представляє собою розподіл ймовірностей прогнозних значень, що ґрунтуються на часових рядах поточних спостережень.

Метод прогнозування складається з таких етапів:

Етап 1. Представлення адитивної мережної моделі у вигляді 5.36

Етап 2. Представлення вимірів незалежних змінних у вигляді вектора $\mathbf{X}(k-i) = \{x_1(k-i), \dots, x_m(k-i)\}$.

Етап 2. Представлення вимірів незалежних змінних у вигляді вектора $\mathbf{X}(k-i) = \{x_1(k-i), \dots, x_m(k-i)\}$.

Етап 3. Представлення адитивної моделі у вигляді 5.37.

Якщо виміри незалежних змінних представити вектором $\mathbf{X}(k-i) = \{x_1(k-i), \dots, x_m(k-i)\}$, то адитивну модель можна представити у вигляді:

$$E(y(k) | \mathbf{X}(k), \dots, \mathbf{X}(k-l)) = \sum_{i=0}^l f_i(\mathbf{X}(k-i)), \quad (5.37)$$

де $f_i(\cdot)$ – довільні функції. Таким чином, рівняння (5.37), яке відображає структуру адитивної моделі, безпосередньо пов'язане з рівнянням (5.36):

$$E(Y | X_1, \dots, X_m) = \sum_{i=1}^l f_i(\mathbf{X}_i),$$

де $f_i(\mathbf{X}_i) = \phi_i E(Y | \mathbf{X}_i, \mathbf{X}_{j \neq i} = x_j^*)$.

Етап 4. Формування динамічної мережевої моделі, за якою буде обчислюватись прогноз. Представлення БМ у вигляді адитивної моделі дає можливість перейти до динамічної мережної моделі, за якою буде обчислюватись прогноз. Для обчислення умовних ймовірностей у цій моделі використовується адитивна декомпозиція такого типу, як описана вище. Основною відмінністю ДММ є те, що параметри декомпозиції обчислюються повторно після отримання нових вимірів. У ДММ змінна $Y(k)$ залежить від множини змінних $\mathbf{X}(k-i) = \{\mathbf{X}_1(k-i), \dots, \mathbf{X}_m(k-i)\}$, тобто векторів вимірів незалежних змінних у часі.

Етап 5. Обчислення умовної ймовірності змінної $Y(k)$ з використанням адитивної декомпозиції імовірнісної моделі. Умовна ймовірність змінної $Y(k)$ визначається з використанням адитивної декомпозиції імовірнісної моделі:

$$\begin{aligned}
p(Y(k)=y | \mathbf{X}(k), \dots, \mathbf{X}(k-l)) = \\
= \begin{cases} \sum_{i=1}^l \alpha_i(k) p(Y(k)=y | \mathbf{X}(k-i), \mathbf{X}_{j \neq i}(k-j) = x^*(k-j)), & \text{якщо } y \neq y^*; \\ 1 - \sum_{y' \neq y^*} p(Y(k)=y' | \mathbf{X}(k), \dots, \mathbf{X}(k-l)), & \text{якщо } y = y^*. \end{cases}
\end{aligned}
\tag{5.38}$$

Рівняння (5.38) аналогічне за структурою рівнянню (5.36); окрім можливості врахування в обчисленнях нових вимірів, воно дає можливість оновлювати умовні ймовірності шляхом рекурсивного оновлення значень параметрів (вагових коефіцієнтів) $\alpha_1(k), \dots, \alpha_l(k)$.

Етап 6. Отримання остаточного результату. Отримання остаточного результату на основі моделі розглянутого типу виконується за узагальненим методом формування імовірнісного висновку, наведеним у [23]. Згідно з цим алгоритмом спочатку виконується адитивна декомпозиція БМ на окремі складові загальної мережі. Висновок для окремих підмножин вузлів основної моделі виконується за L–S алгоритмом [23]. Для кожної підмножини (кліки) вузлів C обчислюється спільний розподіл ймовірностей. З цією метою обчислюються ймовірності $\prod_{X_i \in C} |X_i|$, де $|X_i|$ – кількість значень категорійної змінної X_i . Загалом задача формування висновку зводиться до генерування множини підмереж із ваговими коефіцієнтами α_i . При цьому i -а підмережа формується шляхом покладання значень вузлів $X_{j \neq i}$ рівними $x_{j \neq i}^*$, які розглядались вище. Алгоритм функціонує рекурсивне до тих пір, поки розмірність найбільшої підмножини кожної підмережі не стане меншим вибраного порогового значення. Отримане таким чином дерево підмереж містить листові підмережі, на яких і формується імовірнісний висновок з використанням вагових коефіцієнтів α_i .

Розглянутий метод застосовується до різних завдань прогнозування, а отримані результати порівнюються з логістичною регресією. Задачі такого типу часто виникають при виконанні операцій з активами. Характеристики

якості оцінок прогнозів, отриманих за використаними методами, наведено у табл. 5.3 (три нижніх рядки характеризують результати застосування динамічних мережних моделей).

Таблиця 5.3 Характеристики якості оцінок прогнозів.

Значення порогу c	Краща модель	Порогові значення ймовірності	Кількість збіжностей на пряму прогнозу (ймовірність, p)
0,0075	ЛР (BS) + МР	0,47	0,869
0,0065	ЛР (FS) + МР	0,5	0,861
0,0060	ЛР (BS) + МР	0,5	0,846
0,0055	ДР (CHAID)	0,45	0,832
0,0050	ЛР (FS) + МР	0,52	0,831
0,0045	ЛР (BS) + МР	0,52	0,828
0,0040	ЛР (BS) + МР	0,43	0,826
0,0035	ЛР (BS) + МР	0,49	0,822
0,0010	ЛР (FS) + МР	0,34	0,732
0,0005	ЛР (FS) + МР	0,4	0,710
-0,0020	ЛР (BS) + МР	0,43	0,677
-0,0025	ЛР (BS) + МР	0,47	0,699
0,0075	ДММ-3	0,52	0,729
0,0075	ДММ-3 + ФК	0,52	0,837
0,0075	ДММ-5 + ФК	0,52	0,871

Скорочення в таблиці: ЛР – логістична регресія; МР – множинна регресія; ДР – дерево рішень; ДММ – динамічна мережна модель; ФК – фільтр Калмана; FS – forward selection; BS – backward selection; CHAID – CHi-squared Automatic Interaction Detector.

Результати прогнозування, отримані за допомогою динамічної мережної моделі, порівняно з результатами, отриманими за допомогою логістичної регресії у комбінації з множинною регресією:

$$g_{\min}(x_1) = \frac{e^{x_1(k)}}{1 + e^{x_1(k)}},$$

$$x_1(k) = -0,626 - 0,424 \cdot \hat{S}2(k) - 0,616 \cdot \hat{P}(k) - 0,81 \cdot \hat{R}2(k) + \\ + 0,773 \cdot \hat{R}3(k) + 1,739 \cdot yf(k),$$

де $\hat{S}2(k)$, $\hat{P}(k)$, $\hat{R}2(k)$, $\hat{R}3(k)$ – індикатори технічного аналізу; $yf(k)$ – вихідна змінна моделі множинної регресії, що приймає значення 1 у випадку прогнозу зростання ціни та 0 – у випадку прогнозу спадання ціни. Таким чином, для прогнозування ціни найкращою регресійною моделлю виявилася логістична регресія з методом вибору незалежних змінних Backward Selection із змінною у правій частині, окрім значень індикатора, у вигляді прогнозу за множинною регресією ($p=0,869$). Кращі результати прогнозування за допомогою динамічної мережної моделі отримано при значенні глибини пам'яті 5 з використанням лінійного фільтра Калмана для згладжування даних ($p=0,871$). Необхідно зазначити, що обчислювальні витрати у останньому випадку були значно вищими ніж у випадку використання логістичної регресії. Якість оцінок прогнозів залежить від порогового рівня c , відносно якого виконується прогнозування.

Приклад. Оцінити платоспроможність підприємства на основі мережі Байеса. Оцінювання провести на основі статистичних даних з річних фінансових звітностей підприємств, частина з яких банкрути. На основі певних фінансових показників платоспроможності x_i^j необхідно розробити формальну модель і оцінити ймовірності дефолту позичальника PD_i :

$$PD_i = F(w^j, x_i^j),$$

де w^j – ваги параметрів x_i^j , i – кількість підприємств, j – кількість параметрів платоспроможності.

Модель оцінки платоспроможності на основі мереж Байеса описується наступним чином:

$$PD_i = F(v_i^k, G, J) = 1 - PR_i,$$

де v_i^k – змінні, що описують характеристики підприємства; J – імовірнісний розподіл змінних v_i^k ; G – спрямований ациклічний граф, вузли якого відповідають випадковим змінним v_i^k модельованого процесу; PR_i – ймовірність банкрутства.

МБ побудовано на основі фінансової звітності одинадцяти промислових підприємств. Вибірка налічує по 105 значень шести показників. Значення по всім показникам відносимо до однієї з двох груп: значення більше критичного (*more*), значення менше критичного (*less*).

В таблиці 5.4 приведено опис показників за їх значеннями.

Таблиця 5.4 - Значення показників фінансової звітності

№	Показник	значення (<i>more</i>)	значення (<i>less</i>).
1	коефіцієнт маневреності	0,2	0,2
2	коефіцієнт абсолютної ліквідності	0,2	0,2
3	коефіцієнт покриття	1	1
4	коефіцієнт швидкої ліквідності	0,6	0,6
5	коефіцієнт забезпечення власними оборотними засобами	0,1	0,1
6	коефіцієнт автономії	0,5	0,5

Прогнозується рівень банкрутства, що може приймати значення : *{very_high; high; average; low; very_low}*. Для побудови мережі Байєса використовується програму GeNIe 2.0. Для аналізу використовуємо алгоритм Greedy Thick Thinning. У результаті роботи алгоритму отримуємо тільки одну структуру, яка є логічною і оптимальною.

Побудована за цими даними структура мережі Байєса представлена на рисунку 5.6. Вона наочно демонструє зв'язки між даними.

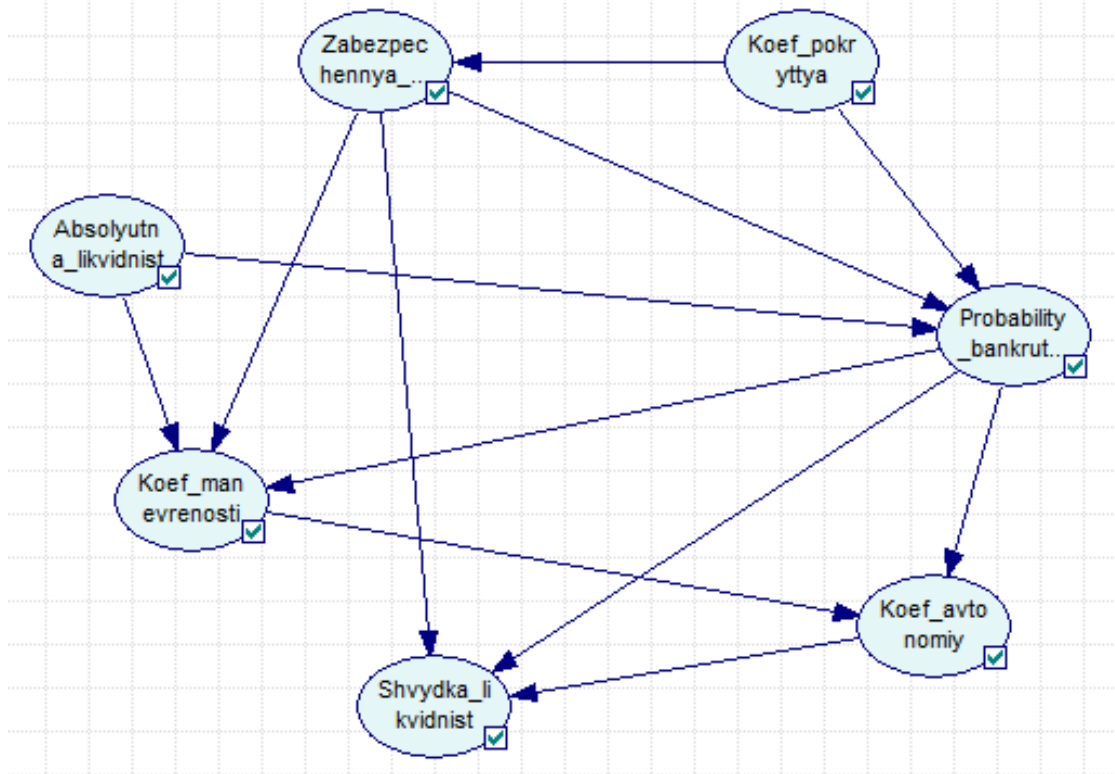


Рис. 5.6 – Структура побудованої за допомогою GeNIe мережі

Для більш наочного відображення ймовірностей можливих станів всіх вузлів використовуємо функцію BarChart, яка відображає вузли у вигляді гістограм. На рисунку 5.7 наведена структура мережі з вузлів у вигляді гістограм.

Аналіз якості побудованої МБ проводився на основі фінансових показників 22 підприємств, 11 з яких – банкрути. Результати прогнозування наведені у таблиці 5.5:

Таблиця 5.5 – Аналіз результатів прогнозування з використанням МБ

Тип прогнозу	Прогноз, %	
	Банкрути(11)	Не банкрути(12)
Вірний	81,8%	75%
Помилковий	18,2%	25%
Загальний процент вірного прогнозу	78,3%	

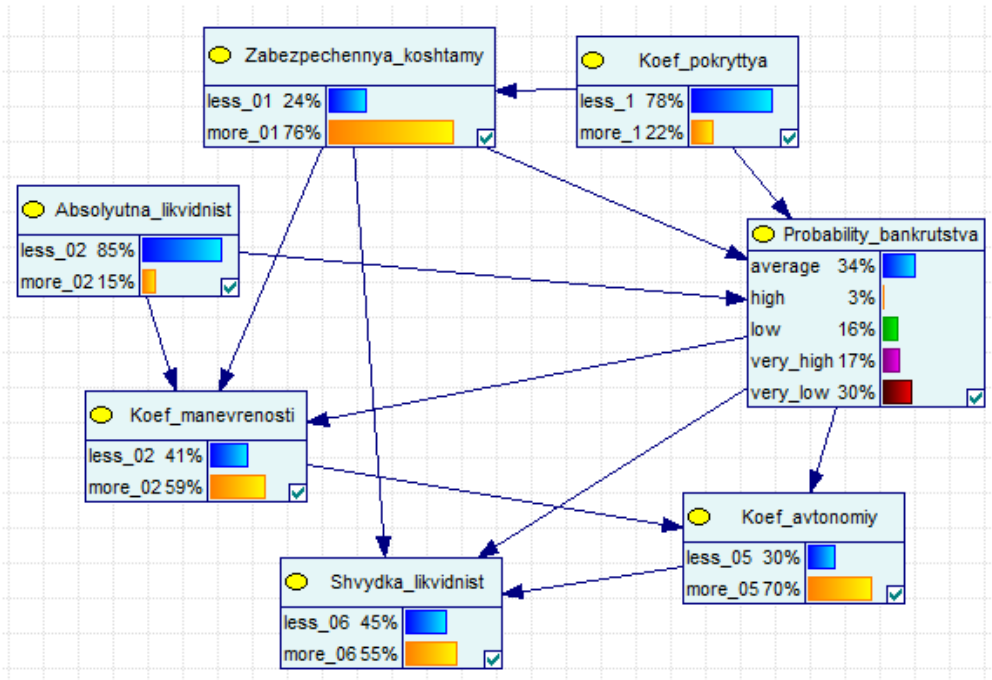


Рис. 5.7 – Структура побудованої за допомогою GeNIe мережі у вигляді гістограм

5.5 Оцінювання якості моделей і прогнозу

Важливим етапом в процесі прогнозування є оцінювання якості моделей прогнозу та якості прогнозу в цілому. Якість моделі оцінюють за допомогою декількох статистичних критеріїв якості, зокрема таких: коефіцієнт множинної детермінації (R^2), який характеризує інформативність моделі по відношенню до інформативності даних; статистика Дарбіна-Уотсона (DW), яка визначає ступінь автокорельованості похибок моделі; інформаційний критерій Акайке (AIC) і статистика Байєса-Шварца (BSC); сума квадратів похибок моделі ($\sum e^2(k)$); F – статистика Фішера. [23,25] . Детально методика оцінювання якості моделей і прогнозів представлено у Додатку Б.

5.6 Оцінювання і прогнозування стану системи

Для вирішення задачі оцінювання і прогнозування станів системи, в якості приклада розглянемо задачу аналізу і оцінювання фінансового стану підприємств. Для побудови прогнозних моделей будемо використовувати

річну фінансову звітність одинадцяти українських промислових підприємств, п'ять з яких визнанні збанкрутілими. Об'єм вибірки для моделювання становить сто п'ять значень.

У якості ендогенної змінної (y) було взято коефіцієнт платоспроможності (автономії), який є найбільш вагомим при оцінюванні фінансового стану підприємства, а також повністю узгоджується з рентабельністю, оборотністю і вартістю капіталу.

У якості екзогенних змінних були взяті коефіцієнти, що найбільш використовуються для аналізу платоспроможності підприємства, вони наведені в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 - Коефіцієнти для моделей оцінювання.

№	Тип	Опис	Формула
1	y - коефіцієнт платоспроможності (автономії)	Він показує, в якій мірі використовуються організацією активи сформовані за рахунок власного капіталу, а також характеризує незалежність підприємства від позикових джерел. Його ріст у динаміці свідчить про збільшення фінансової незалежності, зниженні ризику фінансових труднощів, що підвищує гарантії погашення підприємством своїх зобов'язань. Нормальне значення коефіцієнта автономії оцінюється на рівні 0.5. Воно означає, що всі зобов'язання підприємства можуть бути покриті його власними коштами.	$K_{\text{автономії}} = \frac{\text{Власний капітал}}{\text{Валюта баланса}}$
2	x_1 - коефіцієнт маневреності	характеризує ступінь мобільності використання власного капіталу	$K_{\text{маневреності}} = \frac{\text{Власні оборотні кошти}}{\text{Власний капітал}}$
3	x_2 - коефіцієнт абсолютної ліквідності	дозволяє визначити частку короткострокових зобо-	$K_{\text{абсолютної ліквідності}} = \frac{\text{Грошові активи}}{\text{Поточні зобов'язання}}$

		в'язань, що підприємство може погасити найближчим часом, не чекаючи оплати дебіторської заборго-ваності й реалізації інших активів.	
4	x_3 - коефіцієнт покриття	характеризує здатність підприємства забезпечити свої короткострокові зобов'язання з найбільше легко реалізованої частини активів – оборотних коштів. Цей коефіцієнт дає найбільш загальну оцінку ліквідності активів. Оскільки поточні зобов'язання підприємства погашаються в основному за рахунок поточних активів, для забезпечення нормального рівня ліквідності необхідно, щоб вартість поточних активів перевищувала суму поточних зобов'язань. Нормальним значенням даного коефіцієнта вважається 1,5...2,5, але не менше 1. Однак на його рівень впливає галузева належність підприємства, структура запасів, стан дебіторської заборго-ваності, тривалість виробничого циклу й інші фактори. Значення коефіцієнта, рівне 1, припускає рівність поточних активів і пасивів.	$K_{\text{покриття}} = \frac{\text{Оборотні активи}}{\text{Поточні зобов'язання}}$
5	x_4 - коефіцієнт швидкої ліквідності	показує, яку частину поточних зобов'язань підприємство спроможне погасити за рахунок найбільш ліквідних оборотних коштів – грошових коштів та їх	$K_{\text{швидкої ліквідності}} = \frac{\text{Оборотні активи} - \text{Запаси}}{\text{Поточні зобов'язання}}$

		еквівалентів, фінансових інвестицій та дебіторської заборгованості. Цей показник показує платіжні можливості підприємства щодо погашення поточних зобов'язань за умови своєчасного здійснення розрахунків з дебіторами. Теоретично значення коефіцієнта вважається достатнім, якщо воно перевищує 0,6.	
б	x_5 - коефіцієнт забезпечення власними оборотними засобами	Нормальним вважається значення більше 0,1. Це означає, що наявні оборотні активи, підприємства покриваються власними і порівняними до них джерелами. Збільшення коефіцієнта забезпеченості означатиме, що у підприємства є надлишкові джерела формування оборотних активів, а його зниження свідчить про нестачу цих джерел. В обох випадках фінансовий стан підприємства буде нестійким	$K_{\text{забезпечення власн. коштами}} = \frac{\text{Власні оборотні кошти}}{\text{Оборотні кошти}}$

Моделі бінарного вибору використовуються, коли суб'єкт робить вибір між двома можливими альтернативами. У нашому випадку це можна інтерпретувати наступним чином:

- якщо залежна змінна $y(k)=1$ – підприємству не загрожує банкрутство;
- якщо $y(k)=0$ – підприємство під загрозою банкрутства. Для побудови логістичної моделі перетворимо значення показника платоспроможності наступним чином:
 - якщо коефіцієнт платоспроможності більший або рівний 0,5 тоді $y(k)=1$;
 - якщо коефіцієнт платоспроможності менший ніж 0,5 тоді

$y(k)=0$.

Для побудови моделей спочатку було проведено статистичний аналіз даних – рис. 5.8, а також побудована кореляційна матриця – рис. 5.9.

	Y	X1	X2	X3	X4	X5
Mean	0.662946	0.125725	0.065121	2.465705	0.881747	0.183165
Median	0.673099	0.241052	0.013901	1.700713	0.647424	0.322200
Maximum	0.982786	0.665568	0.970635	11.26471	4.576923	0.911227
Minimum	0.107268	-4.508614	0.000000	0.270801	0.110842	-2.692743
Std. Dev.	0.202131	0.567972	0.138851	2.120493	0.851097	0.664467
Skewness	-0.299185	-5.436259	3.909551	1.925829	2.371534	-2.091920
Kurtosis	2.292689	43.50208	21.18656	6.554874	8.772281	8.397881
Jarque-Bera	3.755222	7694.007	1714.516	120.1918	244.1947	204.0572
Probability	0.152955	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Sum	69.60936	13.20108	6.837675	258.8990	92.58347	19.23233
Sum Sq. Dev.	4.249140	33.54953	2.005066	467.6350	75.33405	45.91773
Observations	105	105	105	105	105	105

Рис. 5.8 – Статистичний аналіз даних

	Y	X1	X2	X3	X4	X5
Y	1.000000	0.413543	0.099945	0.666082	0.433587	0.515116
X1	0.413543	1.000000	0.096553	0.300518	0.236613	0.606036
X2	0.099945	0.096553	1.000000	0.166440	0.209163	0.122455
X3	0.666082	0.300518	0.166440	1.000000	0.765753	0.581590
X4	0.433587	0.236613	0.209163	0.765753	1.000000	0.404316
X5	0.515116	0.606036	0.122455	0.581590	0.404316	1.000000

Рис. 5.9 – Кореляційна матриця

Як видно всі екзогенні змінні мають достатню високу кореляцію з ендогенною змінною, окрім x_2 . Отже всі змінні можна включити у модель для прогнозування, а також необхідно проаналізувати чи потрібно включити у модель x_2 та як це вплине на результати.

Побудуємо графік залежної змінної – рис. 5.10:

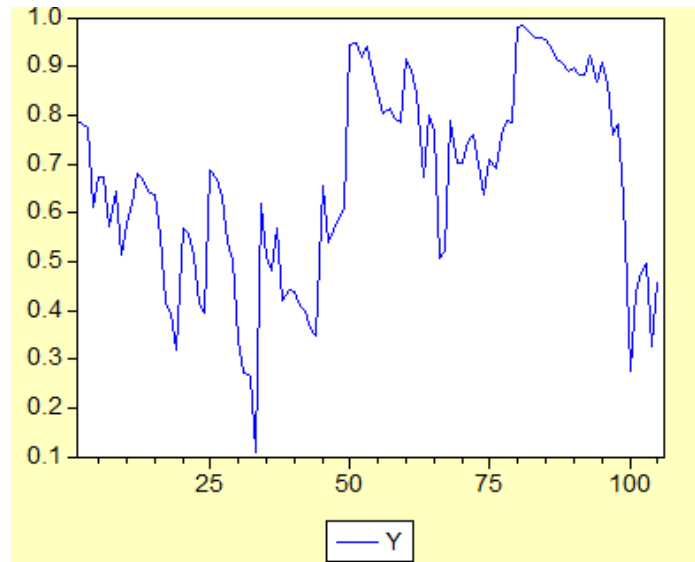


Рисунок 5.10 – Графік залежної змінної

Проаналізувавши графік ендогенної змінної можна припустити, що модель не буде мати тренду, але остаточно це можна бути стверджувати після аналізу та побудови моделі.

Спочатку було проведено аналіз моделей множинної регресії, але отриманий результат мав погані властивості моделі. Для подальшого удосконалення показників якості моделей до них була додана авторегресійна складова, а також лаги першого порядку. Для визначення попередньої оцінки порядку авторегресійної частини моделі було досліджено автокореляційну функцію (АКФ) та часткову АКФ (ЧАКФ) рис. 5.11.

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.830	0.830	74.418	0.000	
2	0.715	0.084	130.17	0.000	
3	0.643	0.097	175.76	0.000	
4	0.553	-0.061	209.78	0.000	
5	0.490	0.041	236.78	0.000	

Рис.5.11 – Визначення АКФ та ЧАКФ

Як бачимо з рисунку, авторегресійна частина першого порядку повинна значно покращити модель. Найкраща модель за показниками якості моделі та прогнозу наведена у таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Порівняння кращих регресійних моделей.

Вид моделі	Якість моделі			Якість прогнозу		
	R^2	$\sum e^2$	DW	СКП	САПП	Theil
$y(k) = a_0 + a_1x_1(k) + a_2x_2(k) + a_3x_3(k) + a_4x_4(k)$	0,7825	10,9251	1,735	0,150	23,728	0,109
$y(k) = a_0 + a_1x_1(k) + a_2x_2(k) + a_3x_3(k) + a_4x_4(k)$	0,8525	10,6241	1,862	0,151	23,473	0,111
$y(k) = a_0 + a_1x_1(k) + a_2x_2(k) + a_3x_3(k) + a_4x_4(k) + b_2y(k-3)$	0,8755	10,5271	2,126	0,145	22,840	0,108
$y(k) = a_0 + a_1x_1(k) + a_2x_2(k) + a_3x_3(k) + a_4x_4(k) + b_1y(k-1)$	0,8815	10,5021	2,282	0,136	21,009	0,100

Отже, як видно з попередньої таблиці найкращою моделлю є модель, що включає всі екзогенні змінні, лаги першого порядку, та авторегресійну частину першого порядку.

Представимо кращу змішану регресійну модель з лагами разом із отриманими коефіцієнтами:

$$y(k) = 0,0631 + 0,0463x_1(k) + 0,0858x_2(k) + 0,0375x_3(k) - 0,0234x_4(k) + 0,0783x_5(k) - 0,0762x_1(k-1) - 0,0247x_3(k-1) - 0,0551x_5(k-1) + 0,8753y(k-1)$$

Також була побудована модель, що включає тільки лаги першого та другого порядку, а також авторегресійну частину першого та третього порядку, наведена у таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Регресійна модель, що включає тільки лаги та авторегресійну складову.

Вид моделі	Якість моделі			Якість прогнозу		
	R^2	$\sum e^2$	DW	СКП	САПП	Theil
$y(k) = a_0 + a_1x_1(k-1) + a_2x_2(k-2) + a_3x_3(k-1) + a_4x_4(k-2) + a_5x_5(k-1) + b_2y(k-3)$	0,765	0,987	1,923	0,193	31,896	0,143

Перепишемо модель з обрахованими коефіцієнтами:

$$y(k) = 0,0617 - 0,0848x_1(k-1) + 0,1843x_2(k-2) + 0,0119x_3(k-1) - 0,0238x_4(k-2) + 0,0164x_5(k-1) + 0,7636y(k-1) + 0,1181y(k-3)$$

Ця модель за якістю поступається іншим побудованим моделям, але в неї є перевага в тому, що для прогнозування потрібні значення коефіцієнтів лише за попередні періоди роботи підприємства.

Також були побудовані логістичні моделі $y(k) = e^{U(x)} / (1 + e^{U(x)})$ з

різними степенями $U(x)$. Найкращі моделі цього типу представлені у таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Порівняння кращих логістичних моделей.

Вид моделі	Якість моделі			Якість прогнозу			
	R_{MF}^2	$\sum e^2$	AIC	LR	СКП	СА ПП	Theil
$U(x) = a_0 + a_1x_1(k) + a_2x_2(k) + a_3x_3(k) + a_4x_4(k)$	0,6412	5,974	0,514	70,470	0,240	5,852	0,138
$U(x) = a_0 + a_1x_1(k) + a_2x_2(k) + a_3x_3(k) + a_4x_4(k) + a_5x_5(k)$	0,8002	3,280	0,389	87,164	-0,179	3,2233	0,103
$U(x) = a_0 + a_1x_1(k) + a_2x_2(k) + a_3x_3(k) + a_4x_4(k) + b_1y(k-1) + b_2y(k-3)$	0,818	3,055	0,410	89,043	0,173	2,983	0,099
$U(x) = a_0 + a_1x_1(k) + a_2x_2(k) + a_3x_3(k) + a_4x_4(k) + b_1y(k-1) + b_2y(k-3)$	0,842	2,284	0,384	91,668	0,166	2,725	0,095

Як бачимо, найкращі показники має логістична модель, що включає змішану авторегресію з лагами.

Представимо найкращу логістичну модель разом із отриманими коефіцієнтами:

$$y(k) = e^{U(x)} / (1 + e^{U(x)}),$$

де

$$U(x) = -46,798 + 33,517x_1(k) + 21,583x_2(k) + 16,806x_3(k) - 13,985x_4(k) - 35,439x_5(k) - 18,282x_1(k-1) + 51,491x_2(k-1) + 7,497x_5(k-1) + 50,565y(k-1) + 8,659y(k-3)$$

Побудуємо логістичну модель, що включає тільки лаги та авторегресійну частину. Краща модель наведена у таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Логістична модель, що включає тільки лаги та авторегресійну складову.

Вид моделі	Якість моделі				Якість прогнозу		
	R_{MF}^2	$\sum e^2$	AIC	LR	СКП	САПП	Theil
$U(x) = a_0 + a_1x_1(k-1) + a_2x_2(k-1) + a_3x_3(k-1) + a_4x_4(k-2) + a_5x_5(k-1) + b_1y(k-1)$	0,643	5,624	0,515	70,399	0,234	5,529	0,135

Перепишемо модель з обрахованими коефіцієнтами:

$$y(k) = e^{U(x)} / (1 + e^{U(x)}),$$

де

$$U(x) = -9,0832 - 1,9503x_1(k-1) + 15,8324x_2(k-1) + 0,4987x_3(k-1) - 1,3425x_4(k-2) - 0,6523x_5(k-1) + 18,236y(k-1)$$

Ця модель особлива тим, що для прогнозування потрібні значення показників фінансової звітності лише за попередні періоди роботи підприємства.

Побудуємо прогноз на п'ять кроків вперед для кращої логістичної (у таблиці 5.11) та регресійної моделі (у таблиці 5.12).

Таблиця 5.11 – Результати прогнозування за регресійною моделлю.

Вимір	Реальне значення	$y(k) = a_0 + a_1x_1(k) + a_2x_2(k) + a_3x_3(k) + a_4x_4(k) + a_5x_5(k) + a_6x_1(k-1) + a_7x_2(k-1) + a_8x_5(k-1) + b_1y(k-1)$	
		Прогноз	Похибка
101	0,4387	0,4228	0,0159
102	0,4776	0,4505	0,0271
103	0,4965	0,4929	0,0036
104	0,3256	0,4864	0,1608
105	0,4590	0,3579	0,1011
Сер. похибка			0,0617

Таблиця 5.12 – Результати прогнозування за логістичною моделлю.

Вимір	Реальне значення	$y(k) = e^{U(x)} / (1 + e^{U(x)}),$ $U(x) = a_0 + a_1x_1(k) + a_2x_2(k) + a_3x_3(k) + a_4x_4(k) + a_5x_5(k) + a_6x_1(k-1) + b_1y(k-1) + b_2y(k-3)$	
		Прогноз	Похибка
101	0	0,316	0,316
102	0	0,005	0,005

103	0	0,031	0,031
104	0	0,664	0,664
105	0	0,215	0,215
Сер. похибка			0,246

Порівняємо результати прогнозу на один крок, отриманні для двадцяти трьох різних за фінансовим статусом підприємств, що були пораховані різними методами (у таблиці 5.13):

Таблиця 5.13 – Результати прогнозу

Назва моделі	Процент вірного прогнозу
Побудована змішана регресія з лагами	82,6%
Побудована логістична модель	78,3%

5.7 Комбіновані прогнози та оцінювання якості їх використання

В різних методах прогнозування використовуються різні підходи до проблеми прогнозування часових рядів. Кожен часовий ряд має певний характер, який можна достатньо адекватно описати за допомогою тієї чи іншої моделі, які використовуються в різних методах. Тому об'єднання і комбінування різних методів для вирішення задачі в одній системі дозволяє досліджувати різні процеси і системи і прогнозувати часові ряди довільної природи з різними статистичними характеристиками (лінійні та нелінійні, стаціонарні та нестаціонарні).

Важливим моментом процесу прогнозування є також об'єктивне визначення якості отриманого прогнозу. Оскільки прогнозовані значення – випадкові величини, то для оцінювання їх якості необхідно використовувати декілька статистичних критеріїв. При використанні комбінованих прогнозів можна використати наступні методи комбінування оцінок прогнозів:

1. Усереднення прогнозів;
2. Зважене усереднення прогнозів;
3. Методи оптимізаційного типу.

Усереднення прогнозів. Для n методів прогнозування середнє визначається за виразом:

$$\hat{y}_c(k) = \frac{\hat{y}_1(k) + \hat{y}_2(k) + \dots + \hat{y}_n(k)}{n}$$

де $\hat{y}_c(k)$ – комбінований прогноз;

$\hat{y}_1(k), \hat{y}_2(k) \dots \hat{y}_n(k)$ – прогнози, отримані за різними методами.

Зважене усереднення прогнозів. Якщо інформація щодо характеристик індивідуальних прогнозів відсутня, то можна присвоїти різні вагові коефіцієнти окремим прогнозам на основі суб'єктивних або експертних суджень:

$$\hat{y}_c(k) = w_1 \hat{y}_1(k) + w_2 \hat{y}_2(k) + \dots + w_n \hat{y}_n(k)$$

де w_1, w_2, \dots, w_n – вагові коефіцієнти. Очевидно, що більші значення вагових коефіцієнтів необхідно присвоювати тим індивідуальним прогнозам, які мають меншу дисперсію похибок. При цьому для коректності обчислень необхідно, щоб виконувалась умова: $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$

Методи оптимізаційного типу. Як правило, похибки прогнозів для конкретних моделей і процесів відомі, або їх можна визначити. Це дає можливість об'єктивно підійти до розв'язку задачі вибору вагових коефіцієнтів. Наприклад, для n методів прогнозування виконується пошук вагових коефіцієнтів w_1, w_2, \dots, w_n методом перебору з кроком $h = 0,1$ за умови $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$ і попереднього прогнозу.

Приклад. Розглянемо прогнозування показників вітчизняних підприємств КиївЕнерго (KIEN), Азовсталь (AZST), Укртелеком (UTEL). Прогнозування поведилось за допомогою методів експоненційного згладжування та АРКС.

На рис.5.12 приведені графік ціноутворення на біржі на акцій КиївЕнерго (KIEN).

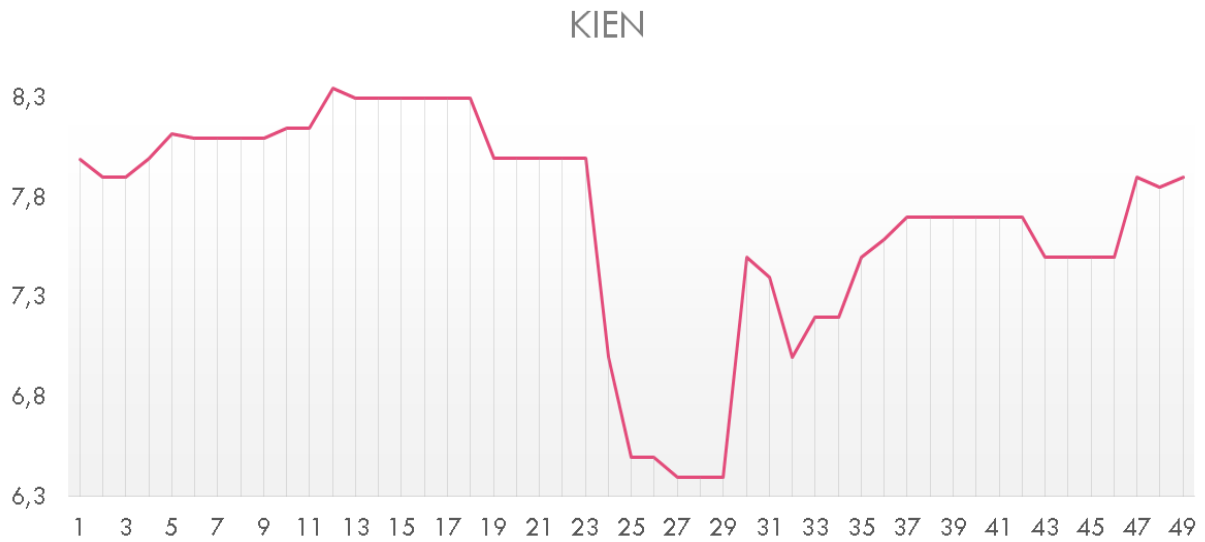


Рис. 5.12 Графік тестового ряду ціноутворення KIEN на біржі

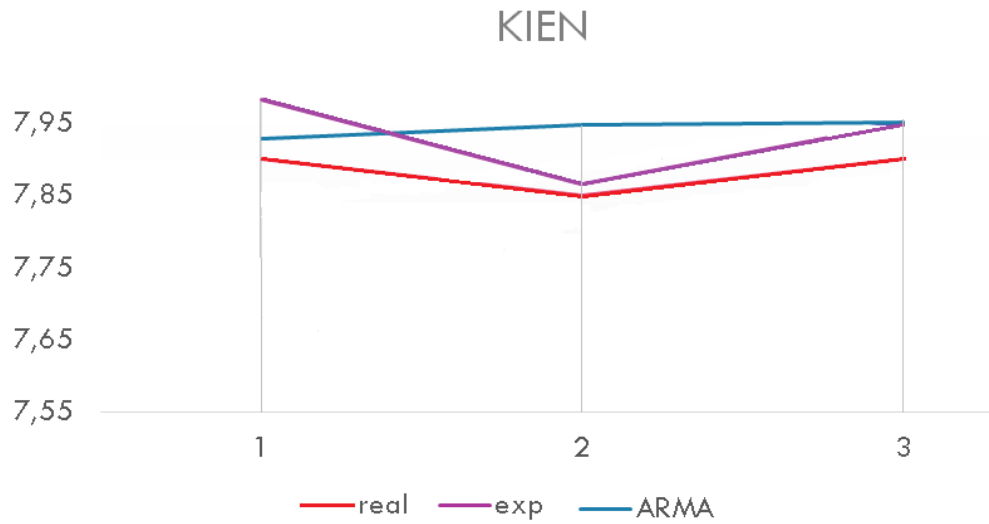


Рис.5.13 Результати прогнозування KIEN на три кроки

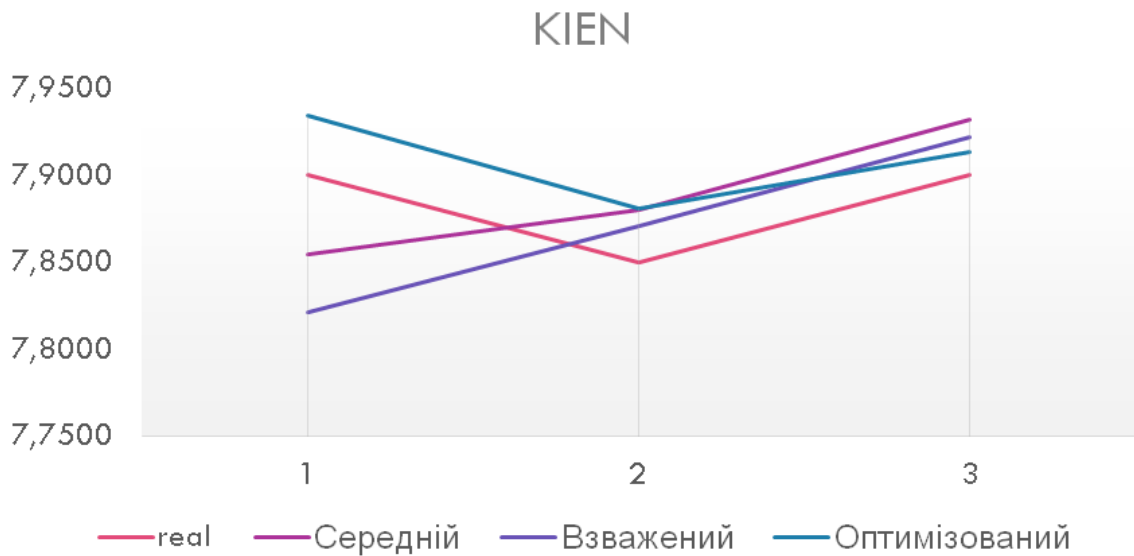


Рис. 5.14 Комбіновані прогнози

Таблиця 5.14 Результати оцінювання прогнозів

KIEN	Exp	ARMA
СКП	0,323	0,376
САПП%	6,2	7,4

Таблиця 5. 15 Результати оцінювання комбінованих прогнозів

KIEN	Середній	Зважений	Оптимізований
СКП	0,211	0,281	0,376
САПП%	4,5	5,1	3,3

Найкращий прогноз серед моделей отримано за моделлю експонент-ційного згладжування: САПП= 6,2%. Серед комбінованих оцінок прогнозів найкращий результат отримано оптимізованим методом: САПП=3,3%.

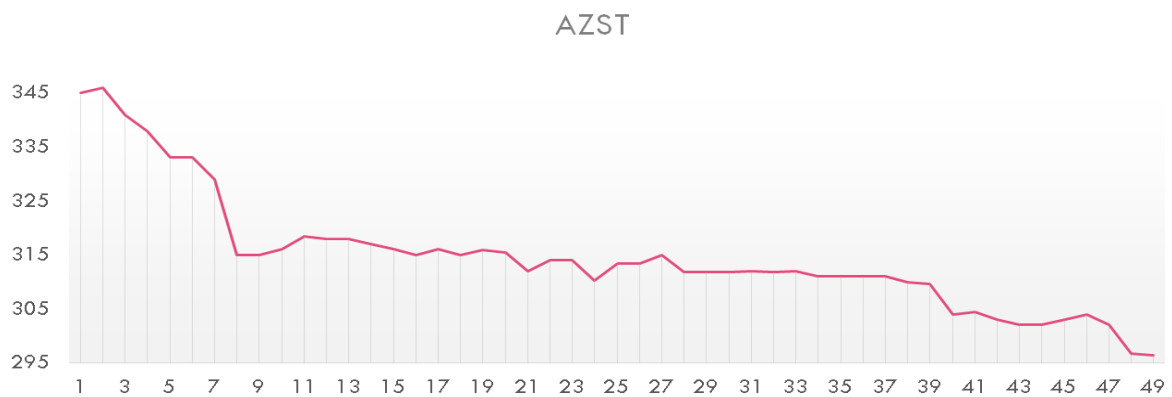


Рис. 5.15 Графік ціноутворення на біржі

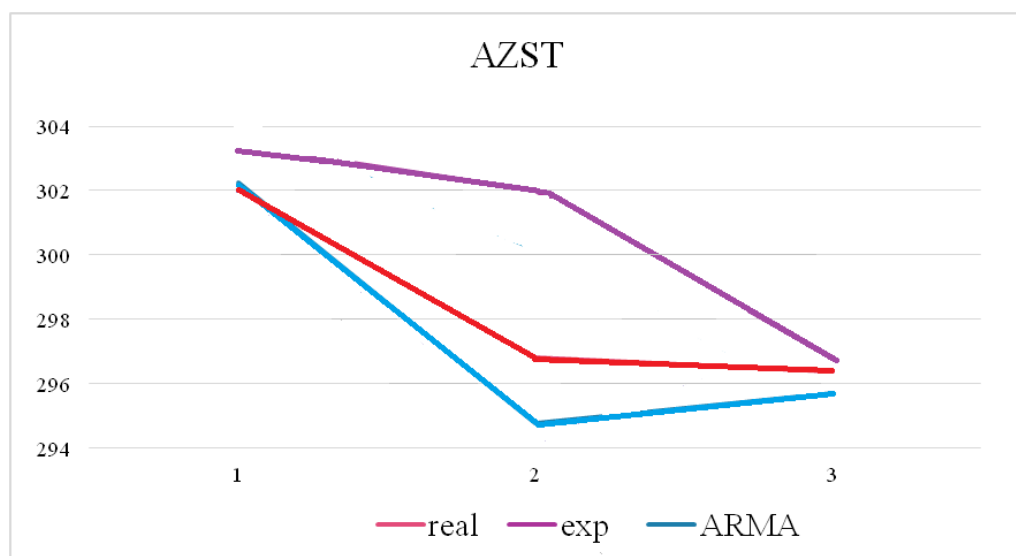


Рис.5. 16 Прогноз даних AZST на три кроки

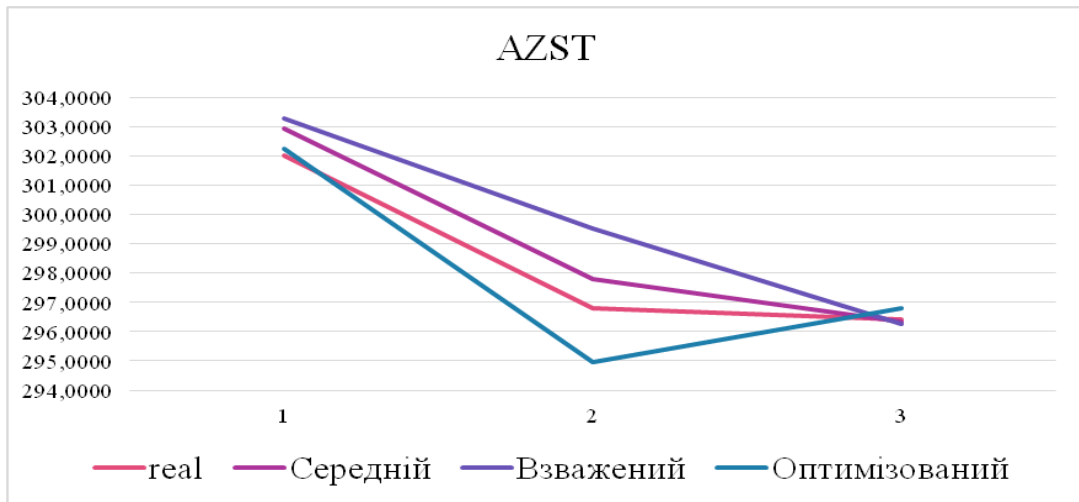


Рис. 5.17 Комбіновані прогнози

Таблиця 5.16 Результати оцінювання прогнозів

AZST	Exp	ARMA
СКП	17,999	7,143
САПП%	7,7	3,3

Таблиця 5.17 Результати оцінювання комбінованих прогнозів

AZST	Середній	Зважений	Оптимізований
СКП			
САПП%	2,0	4,3	1,3

Найкращий прогноз серед моделей отримано за моделлю ARMA САПП=3,3%. Серед комбінованих оцінок прогнозів найкращий результат було отримано оптимізованим методом: САПП=1,4%

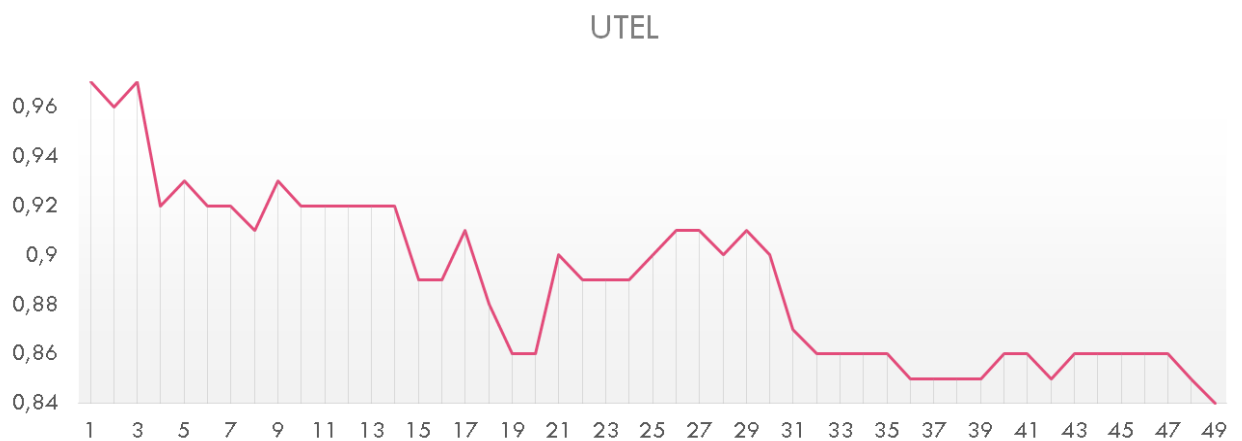


Рис. 5.18 Графік ціноутворення на біржі

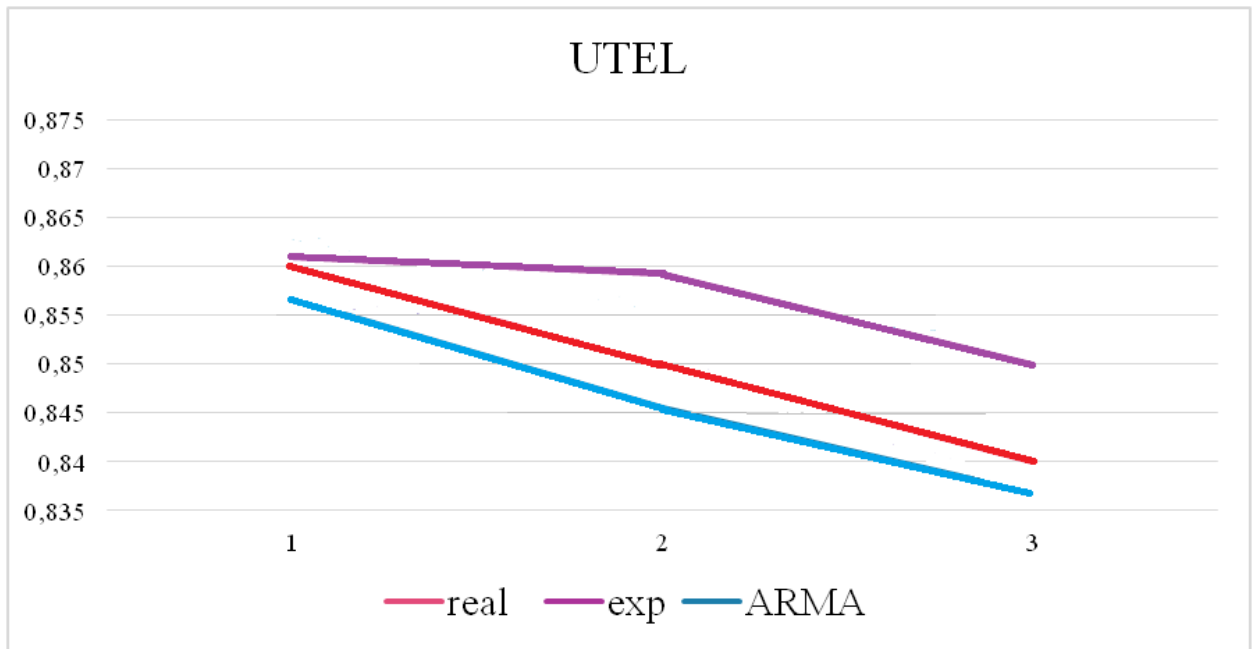


Рис.5.19 Прогноз даних UTEL на три кроки

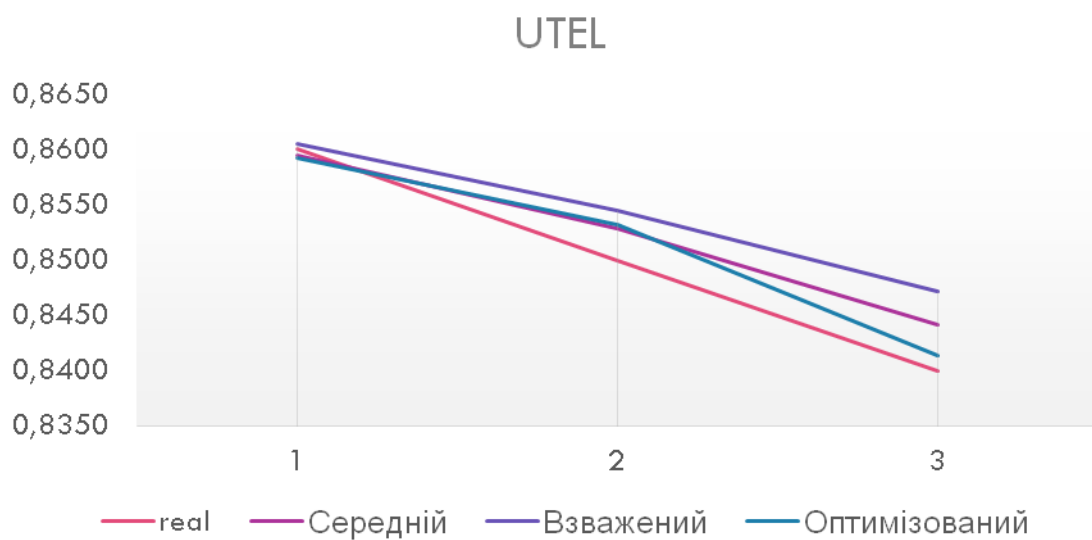


Рис. 5.20 Комбіновані прогнози

Таблиця 5.18 Результати оцінювання прогнозів

UTEL	Exp	ARMA
СКП	0,045	0,021
САПП%	7,9	4,3

Таблиця 5.19 Результати оцінювання комбінованих прогнозів

UTEL	Середній	Зважений	Оптимізований
СКП			
САПП%	3,0	3,8	2,1

Найкращий прогноз серед моделей отримано за моделлю нечіткого МГУА САПП= 3,7%. Серед комбінованих оцінок прогнозів найкращий результат було отримано оптимізаційним методом: САПП= 2,1%

Наведені методи використовують різні підходи до проблеми прогнозування і оцінювання часових рядів. Використання комбінованих прогнозів є ефективним методом підвищення якості прогнозування.

5.8 Висновки до розділу 5

1. Сформульована концепція постановки та вирішення задач адаптивного прогнозування на основі методології системного аналізу. Вона базується на системному використанні методів обробки і аналізу даних, математичного і статистичного моделювання, прогнозування та оптимального оцінювання станів процесів різного типу. Представлена схема процедури адаптивного оцінювання прогнозу і формування рішення на його основі.
2. Розглянуто методи прогнозування на основі часових рядів для вирішення завдань динамічного планування. Представлено блок-схему узагальненого алгоритму прогнозування на основі часових рядів.
3. Досліджено особливості прогнозування динаміки процесів різної природи. Розглянуто складові прогнозування динаміки.
4. Розглянуто прогнозування на основі різницевого рівняння без знаходження розв'язку рівнянь та побудова функцій прогнозування на основі розв'язку різницевого рівняння.
5. Розглянуто використання в задачах прогнозування Байєсівських мереж. Детально розглянуто процедуру побудови мереж Байєса. Розроблено метод прогнозування на основі сумісного використання адитивних мереж Байєса та регресійних моделей, що дає змогу використати їх для вирішення задач прогнозування. Наведено результати застосування метода.

6. Досліджено оцінювання якості моделей прогнозування та якості прогнозу в цілому. Для автоматизованого вибору кращої моделі представлено інтегральний критерій якості прогнозу.
7. Розглянуто використання комбінованих прогнозів і їх оцінювання. Це дає змогу ефективно використовувати комбіновані прогнози і оцінювати результати прогнозування.

РОЗДІЛ 6

СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ДИНАМІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ

Основним інструментом прийняття рішень при вирішенні завдань динамічного планування, є система моделей і методів, яка створює основу для розробки структури динамічного плану, для оптимізації плану і для пошуку найкращого рішення. З точки зору необхідного для прийняття рішення опису зовнішнього середовища, природи процесів, що протікають в системі, динаміки, критеріїв можна розрізняти, принаймні, два істотно різних класи моделей: динамічні і статичні.[160,187,202,205,210,212,213,311]

Динамічні моделі – описують множину причинно-наслідкових зв'язків. змін стану системи і процесів, що впливають на цю зміну.

Статичні моделі – описують зв'язок між станом системи та іншими характеристиками в певний фіксований момент часу. У статичних моделях рішення описується деяким вектором (елементом лінійного або векторного простору), і для пошуку найкращого рішення використовуються методи вибору альтернатив в скінченно-вимірному просторі векторів. У динамічних моделях рішення описується функцією часу, і вибір найкращих рішень ґрунтується на методах, що розвиваються в рамках нечітких моделей, динамічних байєсівських мереж і в рамках теорії оптимального управління. Істотним в динамічних моделях, порівняно зі статичними моделями, є також, те, що тут необхідно вводити поняття стану системи, тобто сукупність параметрів, що відображають найбільш суттєві властивості системи і визначають її поведінку. У даному розділі вирішуються завдання побудови інформаційних технологій прийняття рішень на основі мультимодельного підходу для вирішення завдань динамічного планування.

6.1 Рішення завдань динамічного планування на основі групових методів прийняття рішень

При колективній розробці планових рішень, які потребують прийняття узгоджених рішень декількома спеціалістами, застосовується методи групового прийняття рішень. Під груповим прийняттям рішень визначають процедуру прийняття колективного рішення на основі узгодження індивідуальних переваг членів групи [98,105,121,127,161].

Основні принципи и процедури групового вибору сформульовані та розроблені в роботах О.И. Ларічева [106,137,138,139], Э.Мулена [161] Х. Райфи [123], В.В. Подиновського [178].

Центральним завданням є організація процедур генерації колективної думки і визначення засобів поєднання “кращих”, узгоджених індивідуальних переваг в загальну групову перевагу. Рациональна організація процедур отримання рішення, потребує обліку рішень членів групи і впливу різноманітних факторів на ці рішення. [84,135]

В таблиці 6.1. наведені головні особливості основних методів групового прийняття рішень.

Таблиця 6.1 Головні особливості основних методів групового прийняття рішень

Назва метода	Використання	Переваги	Недоліки
Метод Кондорсе	На практиці, метод Кондорсе рідко використовується як прийом групової оцінки. Замість цього прийоми оцінки на зразок простої більшості й Борда аналізуються математично, щоб побачити, чи задовольняють вони принципу Кондорсе.	Простота	1. Не враховує на скільки сильніше підтримка того чи іншого кандидата – важливим є лише перевага кандидата А в порівнянні з В. 2.Парадокс Кондорсе

Правило простої більшості		Дуже простий у реалізації	Думки, що не одержали більшості, нічого не вносять у підсумковий результат.
Метод Борда	Використовується в багатьох задачах.	Інтуїтивне розуміння прийому та прийняття до уваги думок всіх оцінюючих.	1. Проблема попарного порівняння. При використанні метода Борда можливо мати ситуацію, коли переможець по цьому прийомі програє будь-якому іншому варіанту при прямому порівнянні з ним. 2. Видалення одного з результатів суттєво впливає на інші 3. Уразливість до маніпуляцій оцінюючими. На результат оцінки методом Борда теоретично можливо вплинути додаванням мнимої альтернативи, що дуже близька до існуючої.
Метод Коупленда і Сімсона	Використовується у багатьох задачах	Простота	Проблема попарного порівняння

При груповому прийнятті рішень самою важливою є проблема узгодження індивідуальних переваг, та їх інтеграція в групову перевагу, що призводить до постановки задачі багатокритеріального вибору. Рішення задачі прийняття рішення у випадку дії груп ОПР включає обробку результатів експертних оцінок і емпіричних даних, їх групування, класифікації і виділення найбільш значущих факторів.

С формальної точки зору її можна представити у вигляді кортежу:

$$\langle S_0, T, Q, S, F, A, B, Y, F(f), L, K, Y_0 \rangle$$

де S_0 – проблемна ситуація; T – час для прийняття рішення; Q – потрібні для прийняття рішення ресурси; $S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ – множина альтернативних ситуацій, які додатково визначають проблемну ситуацію S_0 ; $A = (A_1, A_2, \dots, A_k)$ – множина цілей, які переслідуються при прийнятті рішення; $B = (B_1, B_2, \dots, B_l)$ – множина обмежень; $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$ – множина альтернативних варіантів

рішення; $F(f)$ – функція групової переваги, яка залежить від сукупності групових переваг членів групи $f = (f_1, f_2, \dots, f_d)$, де d – кількість членів в групі; L – принцип узгодження індивідуальних переваг членів групи для формування групової переваги (при цьому вибір того чи іншого принципу визначає поняття найкращого узгодження), K – критерії (або критерій) вибору найкращого рішення.

Задача групового вибору у формальній постановці для задач планування може бути сформульована наступним чином. В умовах проблемної ситуації S_0 , доступного часу T і ресурсів Q , а також групової ОПР, яка складається з d членів, необхідно дозначити ситуацію S_0 множиною альтернативних ситуацій S , сформулювати множину цілей A , обмежень B , альтернативних варіантів рішень Y , обрати критерії вибору найкращого рішення, провести індивідуальну оцінку переваг рішень, побудувати групову функцію переваги $F(f)$ на основі вибраного принципу узгодження L і знайти оптимальне рішення Y_0 , яке задовольняє групову перевагу.

Для утворення єдиної групової переваги групи $F = F(f_1, f_2, \dots, f_d)$ необхідно узгодити індивідуальні переваги. Це узгодження виконується на основі принципу групового вибору, який визначає правило узгодження і вибору оптимального рішення, який є, критерієм вибору.

Структурна схема СППР та співвідношення етапів и методів процесу вирішення задачі на основі методів групового прийняття рішень представлена на рис.6.1

6.2 Прийняття рішень в задачах динамічного планування на основі багатоцільових методів прийняття рішень

Одним з напрямів теорії багатокритеріального прийняття рішень є багатоцільові методи прийняття рішень [24,67,72,73,87,108,160,265].



Рис. 6.1 Структура СППР та процесу вирішення задачі за методами групового прийняття рішень

Вважається, що багатоцільове прийняття рішень (Multiple objective decision making – MODM) є однією з галузей, що динамічно розвиваються в теорії прийняття рішень та дослідженні операцій. Головною причиною для такого розвитку є те, що багато проблем прийняття рішень можуть бути сформульовані як багатоцільова задача. Мета MODM – оптимізація k різних цільових функцій, із врахуванням ряду обмежень системи, а в багатоцільовому прийнятті рішень вибір самого ефективного варіанта, за умовою врахування всіх критеріїв конфліктуючих цілей. Математичне формулювання проблеми MODM також відоме як проблема векторної максимізації (або мінімізації). Складність багатоцільового вибору полягає, в першу чергу, у протиріччі цілей. Звідси виникає необхідність використання деякої схеми розумного компромісу, який дозволяє покращити якість рішень, що приймаються, за всіма локальними критеріями, та показниками ефективності. Окрім того, виникає необхідність

досліджувати проблему за допомогою багатьох методів і порівнюючи результати досліджень обирати раціональне рішення. Тому для проведення таких досліджень необхідно мати інструментальні засоби (СППР), які б дозволили якісно дослідити і вирішити проблему багатоцільового вибору.

Вивченню особливостей та методів вирішення багатоцільових присвячено багато робіт [24,160,265]. Проблема багатоцільового вибору має виключно важливе значення особливо в задачах динамічного планування. Це обумовлено тим, що постійно зростає складність практичних проблем, які вирішуються. Методами дослідження операцій і традиційними скалярними (однокритеріальними) методами неможливо вирішити цю проблему. Тому останнім часом все більше уваги присвячується новим напрямкам в області вирішення складних задач оптимізації, які б дозволили уникнути основних недоліків класичних методів[24,62,82,183,200,232,265,298,299,302].

Для розв'язання багатоцільових задач повинні виконуватись деякі умови. По перше, повинно бути можливим змінювати незалежні змінні, які впливають на критерії якості. Сукупність всіх змінних розглядається як вектор управління. По друге, простір цілей – це простір, координатами якого є значення всіх розглянутих критеріїв якості. Множина точок, де лежать всі можливі значення векторів цілі – це область цілей. Залежність критеріїв якості від керуючих змінних являє собою деяке відображення простору управління на простір цілей. При цьому кожній точці з області цілей відповідає одна або декілька точок з простору управління. Це означає, що один і той же результат може бути досягнутим при різних значеннях керуючих величин.

Якщо при порівнянні, як це потрібно для багатоцільової оптимізації, потрібно порівняти окремі компоненти векторів, то зробити однозначний висновок можливо лише тоді, коли всі без винятку компоненти одного вектора відрізняються від відповідних компонент іншого вектора.

Проаналізувавши сучасні підходи до вирішення багатоцільових задач, можна зазначити, що проблеми MODM можуть ділитися на чотири різні групи.

У *першій групі* проблем MODM не потрібно отримувати будь-яку інформацію від ОПР протягом процесу пошуку ефективного рішення. Ці види методів і алгоритмів залежать виключно від попередніх припущень про переваги ОПР. Методи лінійного програмування є серед найпопулярніших методів, для вирішення цієї групи проблем, чий завдання – мінімізація відхилень цільових функцій від ідеального рішення. Так як різні цілі відмінні в природі, вони мають бути нормалізовані перед тим, як почнеться процес мінімізації відхилень [41,42,48,50].

Друга група проблем MODM включає збір інформації, впорядкованої за кількістю або якістю перед тим як ініціюється процес прийняття рішення. У методі функції корисності, що є найбільш популярним, ми повинні визначити корисність ОПР в залежності від цілі функцій і тоді ми максимізуємо загальну функцію згідно з початковими обмеженнями. Інші методи, включаючи цільове програмування та цільовизначення, є сумішшю інформації, упорядкованої як за кількістю, так і за порядком. У методі цільового програмування, який широко використовується багатьма дослідниками, ОПР визначає найменш (найбільш) бажаний рівень максимуму (мінімуму) функції. Здобуття цих значень може призвести до того, що обмеження можуть перевищуватися, але ми намагаємося звести до мінімуму зважені відхилення.

Третя група MODM проблеми пропонує набір ефективних рішень, в яких ОПР має можливість обирати краще рішення серед ефективних рішень. Багатоцільове лінійне програмування (MOLP) і багатокритеріальний симплекс-метод, в цій групі, відносяться до таких, що широко використовуються.

Четверта група пропонує рішення, що базуються на інтерактивній безперервній взаємодії з ОПР і дозволяють поступово досягти кращого рішення наприкінці цього алгоритму. До цієї групи відноситься багато розроблених методів, таких як: спрощене інтерактивне багатоцільове програмування (SIMOLP); покроковий метод (STEM); послідовне багатоцільове прийняття рішень (SEMOPS); методи теорії ігор; еволюційні методи; генетичні алгоритми.[24,205, 206]

Стандартним підходом є такий підхід при якому, багатоцільова задача зводиться до одноцільової. Такий підхід не є раціональним, так як у більшості випадків формулювання задачі змінюється і, можлива заміна однієї задачі іншою.

При багатовимірних цілях, цілі можуть знаходитися між собою у наступних відносинах: цілі незалежні, цілі об'єднуються, цілі конкурують. У цьому випадку ціль можливо досягти лише за рахунок іншої.

В математичній постановці багатоцільова постановка задача може бути представлена так:

$$\min_x [\mu_1(x), \mu_2(x), \dots, \mu_n(x)] \quad (6.1)$$

де μ_i є n -ю цільовою функцією; x – вектор оптимізації або змінних рішення. Рішенням зазначеної задачі може бути як набір точок з множини Парето, для яких поліпшення однієї цілі може відбуватися тільки з погіршенням принаймні однієї іншої цілі, так і рішення, яку буде знайдено за допомогою інших методів. Таким чином, замість того щоб знайти єдине рішення проблеми (яке зазвичай має місце у традиційному математичному програмуванні), рішенням багатоцільової проблеми може бути (можливо, нескінченна) множина точок Парето, або декілька рішень. Підхід побудований на аналізі множини Парето є основою багатьох багатоцільових методів. На рис.6.1 представлені головні методи вирішення багатоцільових задач.

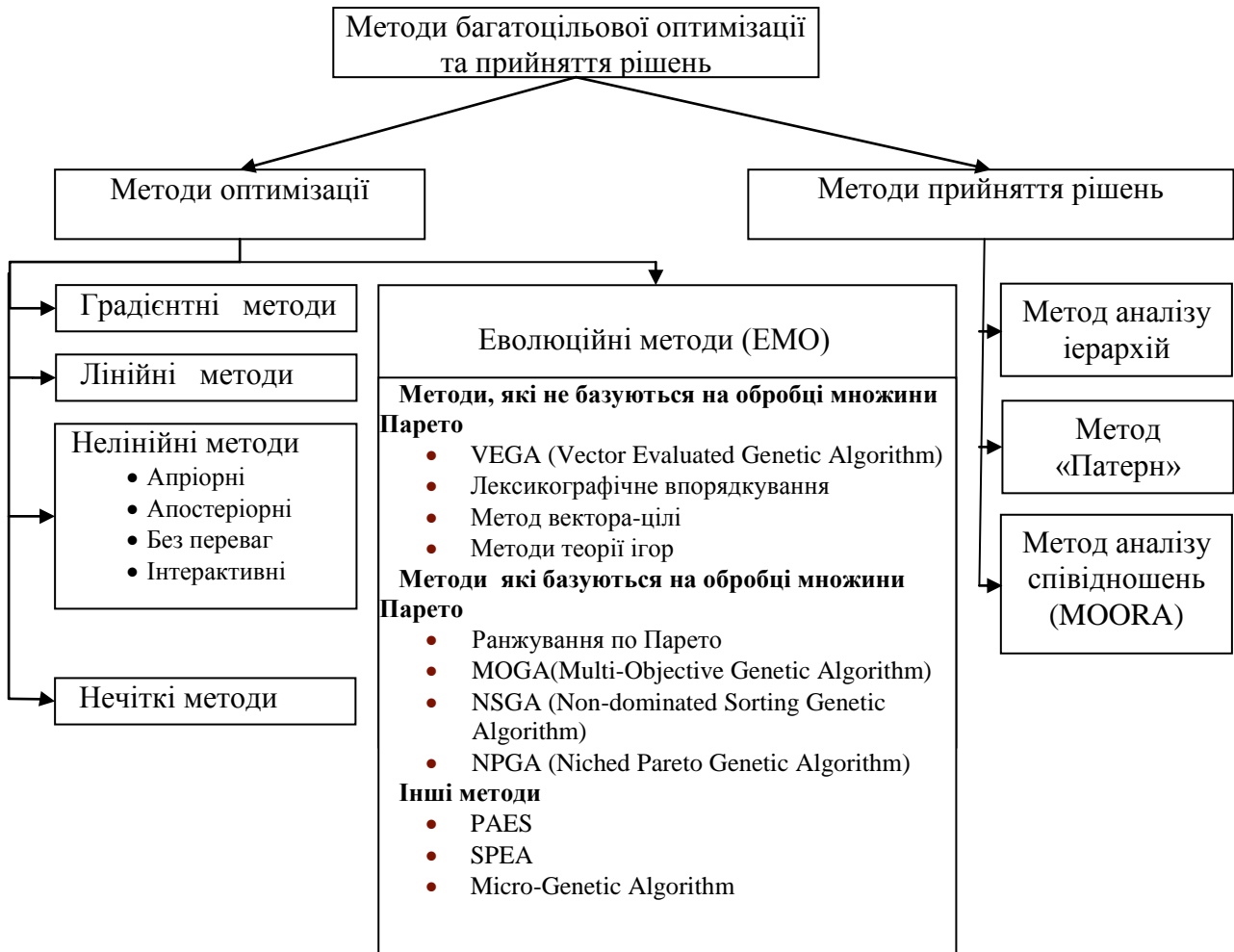


Рис.6.1 Методи багатоцільової оптимізації та прийняття рішень

Методи вирішення багатоцільових задач умовно поділяються на дві великі групи : методи багатоцільової оптимізації та методи багатоцільового прийняття рішень.

У процесі прийняття рішень важливу роль відіграє інформація від осіб, що приймають рішення, її тип та час застосування в певному методі. В таблиці 6.2 представлені головні класи методів багатоцільової оптимізації та прийняття рішень залежно від типу взаємодії з ОПР.

Таблиця 6.2 Головні класи методів багатоцільової оптимізації та прийняття рішень залежно від типу взаємодії з ОПР.

Класи методів	Суть, переваги та недоліки	Приклади методів
Апріорні методи	Ці методи потребують від ОПР визначення переваг заздалегідь, що може бути проблематично,	• Метод цільового програмування (GP) Лексикографіч

	спираючись на переваги необмежених знань основаних на значенні оптимальної цілі. Буде отримано одне Парето-оптимальне рішення, яке і буде розглядатися як результуюче.	ний метод (LM)
Методи без переваг	Як впливає з назви, методи не вимагають яких-небудь коректив зі сторони ОПР до, під час або після вирішення проблеми. Метод головного критерію може знайти Парето-оптимальне рішення, близьке до ідеального вектора.	<ul style="list-style-type: none"> • Метод головного критерію
Апостеріорні методи	Ці класичні методи потребують вирішення проблем БЦО багато разів, щоб знайти декілька Парето-оптимальних рішень. Метод ϵ -обмеження підходить для вирішення проблем з декількома цілями. Також ці методи дуже часто застосовуються в інженерних науках, адже вони надають багато Парето-оптимальних рішень, які дуже необхідні ОПР для прийняття рішення. Роль ОПР дуже важлива, адже після знаходжень оптимальних рішень він обирає одне. Недоліком виступає те, що пошук багатьох рішень часто є неефективним.	<ul style="list-style-type: none"> • Метод зважених сум (weighted-sum method) • ϵ обмеження • Гібридний метод
Інтерактивні методи	ОПР приймає активну участь під час розв'язання задачі за допомогою інтерактивних методів, що є перспективно для задач з великою кількістю цілей. Адже якщо під час обчислень отримаємо декілька оптимальних рішень, одне з яких задовольнить ОПР, воно може бути вибрано як оптимальне. Участь ОПР в обчислювальному процесі постійно необхідні, що не завжди може бути виправдано.	<ul style="list-style-type: none"> • Метод ефективного рішення у цільовому програмуванні (ESGP). • Інтерактивне багатоцільове лінійне програмування (IMOLP) • Послідовне інтерактивне цільове програмування (ISGP).

		<ul style="list-style-type: none"> • Метод STEM. • Еволюційні алгоритми (ЕА).
--	--	---

Апріорні методи. Апріорні методи є одними з найбільш досліджених та розвинених методів. Головною особливістю цих методів є те, що в результаті їх застосування багатоцільова задача зводиться до цільової і знаходиться тільки одне рішення яке і буде результуючим [290,301].

Метод цільового програмування (GP). В методі ОПР встановлює параметри для кожної мети, яку необхідно досягти. Кращим рішенням буде те, в якого найменше відхилення від цілей. Для рішення застосовується метод лінійного програмування (MOLP). Деякі цілі (параметри) $g = (g_1, g_2, \dots, g_k)^T$ вказуються для цільової функції $f = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x))^T$ і змінна величина рішення $x^* \in X$ в MOLP обчислюється значення цільової функції $f^* = (f_1^*(x), f_2^*(x), \dots, f_k^*(x))^T$, яка є якомога ближчою до мети:

$$g = (g_1, g_2, \dots, g_k)^T. \quad (6.2)$$

Різниця між $f^* = (f_1^*(x), f_2^*(x), \dots, f_k^*(x))^T$ і $g = (g_1, g_2, \dots, g_k)^T$ зазвичай визначається як відхилення функції $D(f(x), g)$. Потім задача цільового програмування може бути визначена, як задача оптимізації:

$$f(x) = \begin{cases} \min D(f(x), g) \\ x \in X = \{x \in R^n \mid Ax \leq b, x \geq 0\} \end{cases} \quad (6.3)$$

Тобто необхідно знайти $x^* \in X$, який мінімізує $D(f(x), g)$ чи $x^* = \arg \min_{x \in X} D(f(x), g)$.

Зазвичай функція відхилення $D(f(x), g)$ – це максимум відхилення від окремих цілей, $D(f(x), g) = \max\{D_1(f_1(x), g_1), \dots, D_k(f_k(x), g_k)\}$.

Мінімакний підхід застосовується до проблем цільового програмування:

$$\begin{cases} \min \max \{D_1(f_1(x), g_1), \dots, D_k(f_k(x), g_k)\} \\ x \in X = \{x \in R^n \mid Ax \leq b, x \geq 0\} \end{cases}. \quad (6.4)$$

Методи без переваг. Для методів, що не використовують переваги, ОПР отримує рішення з оптимізації процесу. Вони можуть зробити вибір – прийняти або відхилити його. Цей метод використовують в тому випадку, коли ОПР не має конкретних припущень про рішення. Метод глобального критерію може бути використаний для демонстрації цього класу методів.

Для цього методу, перетворення багатоцільової задачі в одноцільову оптимізаційну задачу відбувається по зведенню до мінімуму відстані між деякими точками відліку, та можливості цілі. В найпростішій формі (з використанням L_p -метрики) орієнтиром є ідеальне рішення і задача представляється наступним чином:

$$\min \left(\sum_{i=1}^k |f_i(x) - z_i^*|^p \right)^{\frac{1}{p}}, \quad (6.5)$$

де z^* – ідеальний вектор, k – кількість цілей. Ситуація, коли $p = 1$, називається проблемою Чебишева з метрикою Чебишева та представляється наступним чином:

$$\min \max_{i=1, \dots, k} |f_i(x) - z_i^*|. \quad (6.6)$$

З цього рівняння видно, що знайдені рішення залежать від вибору значення p . Крім того, в кінці методу ОПР отримує єдине рішення.

Апостеріорні методи. В апостеріорних методах після отримання набору Парето-оптимальних рішень ОПР обирає найбільш відповідне рішення на його думку. Тут два найбільш популярні підходи, *метод зваженої суми* і *метод ε -обмеження*.

Для *методу зваженої суми*, всі цілі будуть об'єднані в єдину ціль, використовуючи ваговий вектор. Потім рівняння (6.6) перетворюються в рівняння (6.7):

$$\min f(\vec{x}) = w_1 f_1(\vec{x}) + w_2 f_2(\vec{x}) + \dots + w_k f_k(\vec{x}) \Big| \vec{x} \in D, \quad (6.7)$$

де $i = 1, 2, \dots, k$ і $D \in R_n$.

Ваговий вектор нормований таким чином $\sum w_i = 1$. З рівняння (6.7) витікає

$$f_2 = -\frac{w_1}{w_2} f_1 + \frac{f}{w_2}. \quad (6.8)$$

Тому, коли виконується оптимізація процесу, це еквівалентно переміщенню лінії до початку координат цільового простору, поки він досягне точки А оптимального набору. Хоча метод зваженої суми простий та легкий у використанні, він має дві проблеми. По-перше, є складність вибору ваги з метою вирішення проблеми масштабування оскільки цілі зазвичай мають різні величини. Таким чином, при об'єднанні їх разом, легко заподіяти упередження при пошуку компромісів рішень. По-друге, продуктивність методу дуже сильно залежить від форми типу множини Парето. Отже, вона не може знайти всі оптимальні рішення проблеми, що мають невіпуклі форми типу множини Парето.

Інтерактивні методи у процесі рішення потребують більше участі ОПР. Взаємодія здійснюється на кожній ітерації через інтерфейс комп'ютера та ОПР. Компроміс чи інформація вибрана ОПР на кожній ітерації використовується для визначення нового рішення. В свій час були розроблені декілька інтерактивних методів заснованих на цільовому програмуванні, що поєднують кращі риси як цільового програмування так і інтерактивних підходів[263,281].

Метод зважування. Ключова ідея методу зважування (*weighting method*) полягає в перетворенні декількох цілей в задачі MOLP у зважену цільову функцію, яка описується наступним чином :

$$f(x) = \begin{cases} \max wf(x) = \sum_{i=1}^k w_i f_i(x) \\ x \in X \end{cases}, \quad (6.9)$$

де $w = (w_1, w_2, \dots, w_k); \geq 0$ – це вектор вагових коефіцієнтів, покладених на цільову функцію.

Взаємодія – це одна з найголовніших рис MODM. Існує три типи взаємодії: попередня взаємодія, під час та після. П'ять MODM методів вибраних з таблиці 6.2 ESGP, IMOLP, ISGP, LGP, STEM мають очевидну різницю в процесі взаємодії з ОПР. В таблиці 6.3 показано ситуацію в цих п'яти методах, які приймають три типи взаємодії. Наприклад, лінійне цільове програмування використовує взаємодію з користувачами перед тим як почнеться процес рішення через збір ваги, мети, пріоритетних цілей.

Таблиця 6.3. Типи взаємодії з ОПР в MODM методах

Тип взаємодії	ESGP	IMOLP	ISGP	LGP	STEM
<i>Попередня</i>	*	*	*		
<i>Під час</i>	*	*	*		*
<i>Після</i>	*	*	*	*	*

Особи, що приймають рішення мають різні уподобання в типах взаємодії та в деяких проблемах прийняття рішення може знадобитися певний тип взаємодії.

Методи багатокритеріального аналізу (рис.6.1), такі, як метод аналізу ієрархій і метод «Патерн» досить широко висвітлені в літературі [188,60], тому ми приділимо увагу відносно новому методу вирішення багатокритеріальних задач – методу аналізу співвідношень і його застосуванню для вирішення багатоцільових задач. Метод аналізу співвідношень (MOORA) складається з двох частин: побудови системи співвідношень і обчислення наближення до точки відліку [265,67,72,73,83].

Побудова системи співвідношень починається з побудови матриці відношень різних альтернатив до різних цілей:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1i} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{j1} & \dots & x_{ji} & \dots & x_{jn} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mi} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad (6.10)$$

де: x_{ij} – відношення альтернативи j до цілі чи атрибуту i ; $i = 1, 2, \dots, n$ – кількість цілей або атрибутів; $j = 1, 2, \dots, m$ – число альтернатив. Для того, щоб визначити ціль, ми маємо сфокусуватися на понятті атрибут. Ціль і відповідний атрибут завжди відповідають один одному. Тому коли ціль невизначена, атрибут не визначений також.

Система співвідношень в методі MOORA, це система, у якій кожне відношення альтернативи до цілі порівнюється зі знаменником, який представляє собою суму всіх відношень альтернатив до цієї цілі. Для цього знаменника найкращим вибором буде квадратний корінь з суми квадратів відношення кожної альтернативи до цілі:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}}, \quad (6.11)$$

де x_{ij}^2 – відношення альтернативи j до цілі i ; $j = 1, 2, \dots, m$; m – кількість альтернатив; $i = 1, 2, \dots, n$, n – кількість цілей; x_{ij}^* – безрозмірне число, що представляє нормоване відношення альтернативи j до цілі i .

Безрозмірні числа, що не мають конкретної одиниці вимірів, отримуються, наприклад, шляхом віднімання, множення чи ділення. Нормовані відношення альтернатив до цілей лежать в інтервалі $[0;1]$. Однак, іноді інтервал може бути $[-1;1]$. Наприклад, у разі зростання продуктивності праці, деякі сектори, регіони або країни можуть показати зниження, замість збільшення продуктивності, тобто від'ємне безрозмірне число.

Для оптимізації такі реакції будуть додані в разі максимізації та відняті при мінімізації:

$$y_j^* = \sum_{i=1}^{j=g} x_{ij}^* - \sum_{i=g+1}^{j=n} x_{ij}^*, \quad (6.12)$$

де: $i=1,2,\dots,g$ - цілі, що мають бути максимізовані; $i=g+1, g+2,\dots,n$ - цілі, що мають бути зведені до мінімуму; y_j^* - нормована оцінка варіанту j з врахуванням всіх цілей.

Порядкове ранжирування y_j^* показує остаточний вибір. Дійсно, головні ваги можуть бути порівняні з порядковим ранжируванням, відповідно до Ерроу [265].

Обчислення наближення до точки відліку базується на співвідношенні, що було знайдено у формулі (6.11), згідно з яким також було виведено ідеальну точку відліку. Ідеальний вектор є самоочевидним, якщо альтернативи були чітко визначені як для проектів в області аналізу так і для завдань планування проектів.

Визначивши безрозмірне число, що представляє нормоване відношення альтернатив j до цілі i , тобто, обчисливши x_{ij}^* по формулі (6.11), отримаємо чисельні значення наближення до цілі R_{ij} :

$$R_{ij} = (r_i - x_{ij}^*), \quad (6.13)$$

де: $i = 1,2,\dots,n$ - атрибути; $j = 1,2,\dots,m$ - альтернативи; r_i - i -та координата точки відліку; x_{ij}^* - нормований атрибут i альтернативи j ;

Ця метрика є частиною мінімаксної метрики Чебишева:

$$\min_{(j)} \{ \max_{(i)} (r_i - x_{ij}^*) \} \quad (6.14)$$

Частіше за все при рішенні прикладних задач використовують будь-яку метрику з наступного параметричного сімейства:

$$\rho_a^{(s)}(y, z) = \left(\sum_{i=1}^m a_i |y_i - z_i|^s \right)^{\frac{1}{s}}, \quad (6.15)$$

де $s \geq 1$ і $a = (a_1, \dots, a_m)$; $a_i > 0$ для всіх $i = 1,2,\dots,m$.

Тут може бути $s = +\infty$; в цьому випадку отримуємо так звану чебишевську (рівномірну метрику):

$$\rho_a^{(+\infty)}(y, z) = \max_{i=1,2,\dots,m} a_i |y_i - z_i|. \quad (6.16)$$

Варіюючи вектор параметрів, прагнучи врахувати «нерівноцінність» критеріїв, надаючи більшого значення тій компоненті вектора параметрів, яка відповідає критерію більшої «цінності».

В даному випадку, коли $s = 2$ і $a_i = 1, 2, \dots, m$, отримуємо звичайну евклідову метрику:

$$\rho^{(2)}(y, z) = \sqrt{(y_1 - z_1)^2 + (y_2 - z_2)^2 + \dots + (y_m - z_m)^2}. \quad (6.17)$$

Мінімаксна метрика є найкращим вибором поміж усіх можливих метрик теорії точки відліку [265].

Важливим питанням в методі аналізу співвідношень є питання важливості цілі в методі MOORA. Ні одна з цілей в x_{ij}^* не може бути більш важливою, ніж інші (див. формулу 6.12). Тим не менш, може виявитися необхідним підкреслити, що деякі цілі є більш важливими, ніж інші. Для того щоб надати цілі більше значення, її помножають на *коефіцієнт важливості*.

На рис. 6. 2 приведено алгоритм метода MOORA .

Приклад використання метода MOORA для вибору проекту реінжинірингу інформаційної системи підприємства теплопостачання [71,73]. Системи теплопостачання відіграють особливу роль в інфраструктурі міста та житлових районах, тому що ці системи є складними інженерно-комунікаційними спорудами, та їх будівництво і експлуатація та реконструкція вимагають велику кількість спеціальних інженерних знань і різноманітної інформації. Інформаційні системи управління ресурсами системи теплопостачання складні розподілені програмно-апаратні комплекси які повинні оперативно управляти ресурсами та системами підприємств теплопостачання і обслуговують ці системи. Підготовка та реалізація проекту реінжинірингу інформаційної системи це інноваційна процедура вимагає серйозних капіталовкладень і часу

для реалізації проекту. Крім того, кожен проект має ряд особливостей, таких як, особливості застосовуваного апаратного та програмного забезпечення, застосування готових програмних продуктів і розробка окремих компонентів програмного забезпечення, впровадження та доопрацювання компонентів інформаційної системи.

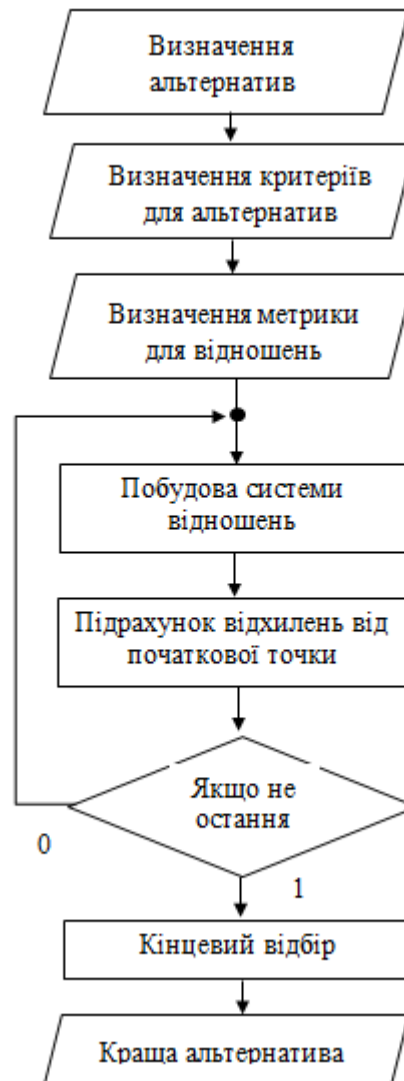


Рис. 6.2 Блок-схема алгоритму метода MOORA

Проблема вибору серед різних альтернатив проектів постійна і важлива в проектах реінжинірингу. У даному випадку розробники проекту повинні використовувати глобальну мету і методи з метою запропонувати оптимальний варіант для рішення, яке приймається. Лише кілька прийнятих рішень є

доцільними для застосування ЛПР, тим більше, що можна також розглянути питання про складність проблеми. Крім того, використання таких методів дозволяє підкреслити суб'єктивні елементи вибору, зокрема на основі технічної оцінки показників діяльності.:

Варіант №1. (A1) Використання готового проектного вирішення інформаційної системи. Закупівля програмного і апаратного забезпечення і конфігурація його і адаптація його під потреби підприємства.

Варіант №2. (A2) Розробка і реалізація нового проекту реінжинірингу інформаційної системи із залученням для розробки програмного забезпечення фахівців підприємства.

Варіант №3. (A3) Розробка і реалізація нового проекту реінжиніринга інформаційної системи підприємства з частковим залученням для розробки окремих компонентів системи інших фірм розробників.

Варіант №4. (A4) Залучення для розробки проекту реінжиніринга консалтингової компанії, що має досвід проектування. А також реалізації своїх проектів, що має досвід, і готові для реалізації проектні рішення.

Кожен з варіантів представлений в таблиці 6.4, має п'ять цілей: ціна, терміни реалізації проекту, термін окупності, можливість розширення проекту, ефективність проекту (здатність вирішувати всілякі завдання).

Ціна проекту – x_1 . Одним з основних показників для проектів реінжинірингу інформаційних систем є вартість проекту. В даному випадку в ціну проекту включені всі витрати на здійснення проекту. Строк реалізації проекту – x_2 . (кількість місяців). Строк окупності проекту – x_3 . (кількість місяців). Дані, представлені в таблиці 6.4, показують, що немає альтернативи домінуючою у всіх цілях. Можливість розширення проекту – x_4 . Під можливістю розширення проекту розуміється властивості реалізованого проекту інформаційної системи комплектуватися додатковими модулями і підсистемами. Вимір у відносній шкалі від 0 до 10. Ефективність проекту – x_5 . Це здатність інформаційної системи вирішувати поставлені завдання. Вимір у відносній шкалі від 0 до 10.

В таблицях 6.4-6.8 приведено розрахунок і вибір альтернатив по методу аналізу співвідношень.

Таблиця 6.4. Матриця відношень альтернатив до цілі

	1 Min	2 min	3 min	4 Max	5 Max
<i>A1</i>	3,0	18	36	5	3
<i>A2</i>	1,1	48	48	9	5
<i>A3</i>	2,1	30	48	8	6
<i>A4</i>	2,3	24	36	9	7

Таблиця 6.5. Сума квадратів та їх квадратні корені

<i>A1</i>	9	324	1296	25	9
<i>A2</i>	1,21	2304	2304	81	25
<i>A3</i>	4,41	900	2304	64	36
<i>A4</i>	5,29	576	1296	81	49
Сума квадратів	19,91	4104	7200	251	119
Квадратні корені	4,462	64,062	84,863	15,843	10,909

Таблиця 6.6 Ділення цілей на їх квадратний корінь та ранжування

<i>A1</i>	0,672	0,281	0,424	0,316	0,275
<i>A2</i>	0,247	0,749	0,566	0,568	0,458
<i>A3</i>	0,471	0,468	0,566	0,505	0,550
<i>A4</i>	0,292	0,375	0,424	0,568	0,642

Таблиця 6.7. Знаходження точок відліку для кожної з цілей

<i>Ri</i>	0,247	0,281	0,424	0,568	0,642
-----------	-------	-------	-------	-------	-------

Таблиця 6.8. Знаходження відхилень, по модулю від точки відліку и ранжирування альтернатив по мінімальному відхиленню від цілей.

						Сума відхилень	Ранг
A1	0.425	0	0	0.252	0.367	10.044	4
A2	0	0.468	0.142	0	0.184	0.794	3
A3	0.224	0.187	0.142	0.063	0.092	0.708	2
A4	0.045	0.094	0	0	0	0.139	1

Виходячи з результатів використання методу співвідношень кращий варіант проекту реінжинірінгу з запропонованих альтернатив це проект № 4. Це залучення для розробки проекту реінжинірінгу консалтингової компанії, що має досвід проектування подібних інформаційних систем, а також досвід реалізації своїх проектів, та має готові для реалізації проектні рішення.

На рис 6.3 представлена схема СППР для вирішення багатокритеріальних і багатоцільових завдань.



Рис.6.3 СППР для вирішення багатокритеріальних і багатоцільових задач

6.3 Використання еволюційних методів прийняття рішень в для побудови СППР

Еволюційні алгоритми досить активно використовуються при розв'язанні задач багатоцільової оптимізації та прийнятті рішень[46,68,69,70,88,93,232,254,255,323,324]. Сьогодні більшість еволюційних методів оптимізації застосовують схеми ранжирування, які базуються на обробці множини Парето. Багатоцільові еволюційні алгоритми (МОЕА) – це стохастичні методи оптимізації. Як і інші алгоритми оптимізації МОЕА використовуються для знаходження Парето-оптимальних рішень для конкретної проблеми, але вони відрізняються підходами. Більшість еволюційних алгоритмів використовують у своїх діях концепцію планування.

Оптимізаційний механізм багатоцільового еволюційного алгоритму (МОЕА) дуже схожий на еволюційний алгоритм (ЕА) за винятком використання відносин домінування. На кожній ітерації значення цілі розраховується індивідуально, а потім використовується для визначення домінування відносин всередині сукупності, щоб обрати потенційно ефективні рішення. Як правило, при використанні багатоцільових алгоритмів (МОЕА) виникають дві основні проблеми[232]. Перша проблема полягає у тому, щоб наблизитись до Парето множини. Друга проблема полягає у тому, як зберегти різноманітність серед рішень в отриманому наборі. Ці дві проблеми стали загальним критерієм для більшості алгоритмів порівняння ефективності наближення до цілі. Різноманітність набору рішень дає більше можливостей для ОПР.

На рис. 6.4 в наведена загальна класифікація еволюційних методів вирішення задач багатоцільової оптимізації та прийняття рішень. В таблиці 6.9 наведено головні особливості еволюційних методів

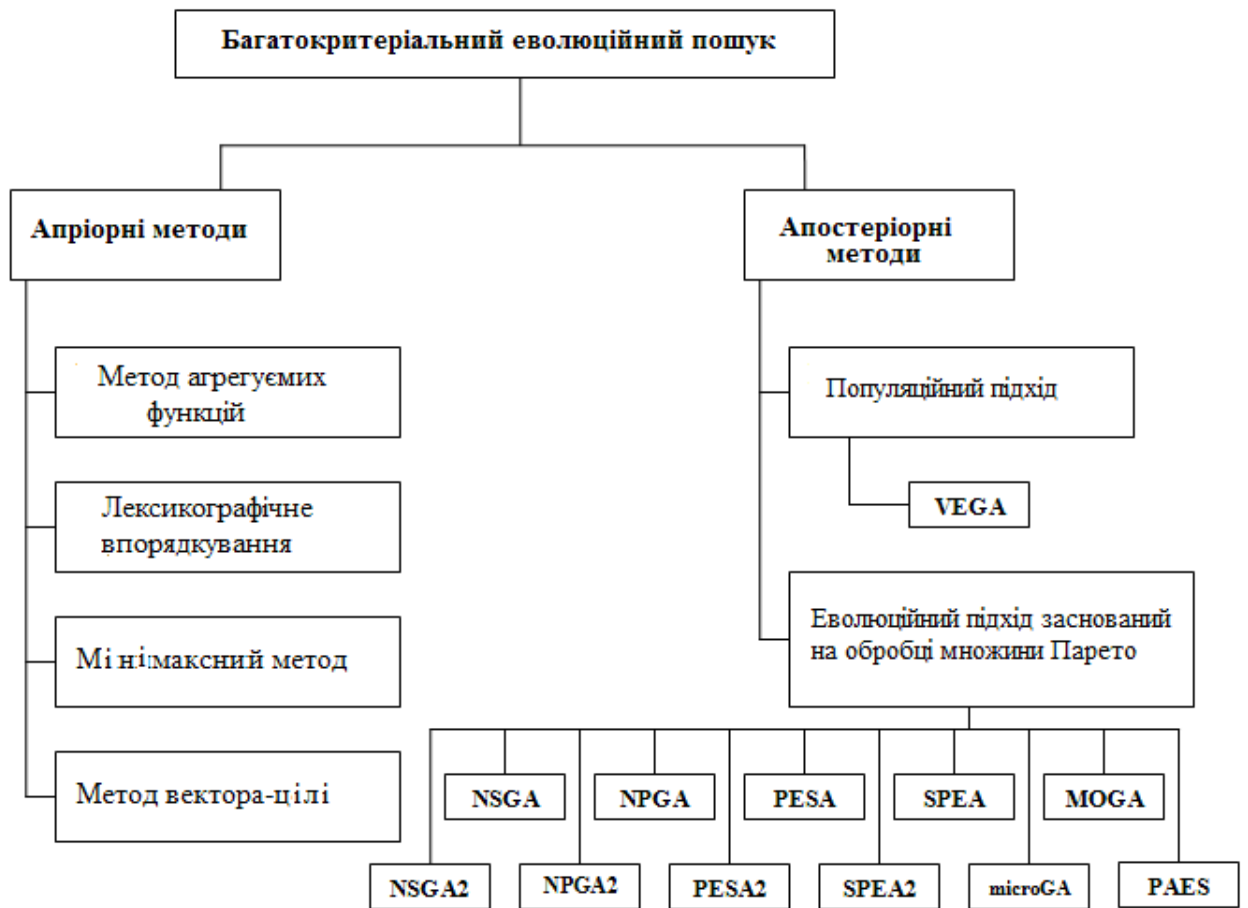


Рис 6.4 Класифікація еволюційних методів розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації та прийняття рішень

Таблиця 6.9 Особливості еволюційних методів

Класи методів	Суть, переваги та недоліки	Приклади методів
Методи, які не базуються на обробці множини Парето	Методи цієї категорії, не використовують безпосередньо поняття оптимальності за Парето. Методи обчислювально ефективні, але у більшості випадків вони можуть ефективно працювати з невеликою кількістю цілей.	<ul style="list-style-type: none"> • VEGA (Vector Evaluated Genetic Algorithm) • Лексикографічне впорядкування • Метод вектора-цілі • Методи теорії ігор
Методи які базуються на обробці множини	Ця група методів базується на операціях з множиною Парето. Головна ідея методів полягає в	<ul style="list-style-type: none"> • Ранжування по Парето • MOGA(Multi-

Парето	постійному поліпшенні результатів вирішення багатоцільової задачі на базі генетичних алгоритмів, не порушуючи при цьому правило не домінування.	Objective Genetic Algorithm) <ul style="list-style-type: none"> • NSGA (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm) • NPGA (Niche Pareto Genetic Algorithm)
Інші методи	Ці методи потребують вирішення задачі багато разів, щоб знайти декілька Парето-оптимальних рішень. після знаходжень оптимальних рішень він обирає одне. Недоліком є те, що пошук багатьох рішень часто є неефективним.	<ul style="list-style-type: none"> • PAES • SPEA • Micro-Genetic Algorithm

Генетичні алгоритми, такі як MOGA (*Multi-Objective Genetic Algorithm*), NSGA (*Non-dominated Sorting Genetic Algorithm*), NPGA (*Niche Pareto Genetic Algorithm*), SPEA-2 [24], стали стандартними підходами, хоча деякі з схем, засновані на оптимізації групи рішень та імітації нормалізації є багатозначними і не дають точних рішень. Головна перевага генетичних алгоритмів, це те що вони можуть бути використаними для пошуку рішень в дуже великих і складних просторах пошуку із значною кількістю різних цілей [323].

Існує велика кількість різноманітних багатокритеріальних генетичних алгоритмів, їх модифікацій та варіацій. Головним завданням було обрати такі алгоритми, які б характеризувались значною ефективністю та оптимальними результатами роботи. Необхідно обрати та порівняти різноманітні техніки та підходи, оцінити ефективність обраних алгоритмів при пошуку ефективних розв'язків, для різних наборів вихідних даних, розробці СППР на основі обраних еволюційних алгоритмів, застосуванні розробленої СППР для розв'язування реальної задачі планування.

Розроблено метод розв'язування багатокритеріальних задач на основі використання еволюційних процедур і генетичних алгоритмів. Для використання було обрано наступні алгоритми: NSGA-II, AMGA-2 та

EPSILON-MOEA[68,70,255]. Цей вибір обумовлено певними об'єктивними характеристиками і властивостями даних алгоритмів, які наведені у таблиці 6.10. Метод складається з послідовного використання алгоритмів: NSGA-II, AMGA-2, та E-MOEA, для вирішення прикладної задачі та вибору з множини рішень найкращих.

Таблиця 6.10 Порівняльна характеристика багатокритеріальних генетичних алгоритмів

Тип алгоритму	Особливості застосування та переваги
NSGA-II	<ol style="list-style-type: none"> 1. Зменшення складності алгоритму до $O(mN^3)$ шляхом використання оптимальних структур даних. 2. Використання зовнішнього архіву з елітарними розв'язками. 3. Реалізація розділення придатності без використання додаткових параметрів. 4. Підтримка різноманіття в популяції.
AMGA-2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Залучення найбільш оптимальних практик. 2. Збереження елітарних розв'язків. 3. Збереження різноманіття. 4. Мінімізація обчислень, робота з популяціями малого розміру. 5. Можливість роботи майже з будь-яким типом кодування. 6. Незначна чутливість алгоритму до зміни параметрів.
EPSILON-MOEA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Підтримка добре розподілених розв'язків. 2. Автоматичне обмеження результуючого архіву. 3. Стійкість алгоритму. 4. Стимуляція пошуку розв'язків, над якими не домінують інші. 5. Підтримка різноманіття. 6. Використання елітизму.

Дані властивості цих алгоритмів сприяють їх ефективному використанню для вирішення прикладних задач. На основі цих алгоритмів була створена СППР. Структура СППР представлено на рис.6.5.

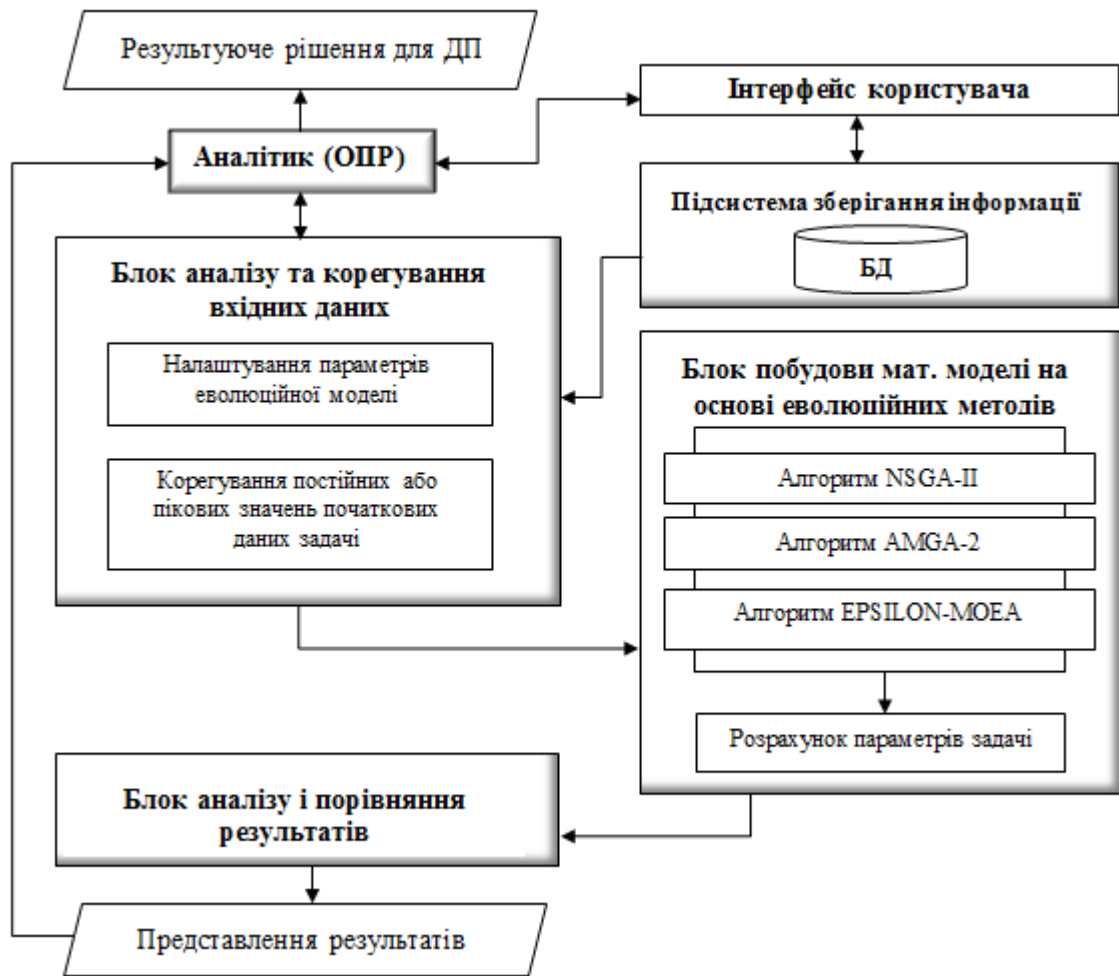


Рис. 6.5 Структура СППР на основі багатокритеріальних генетичних алгоритмів

Ефективність обраних алгоритмів була на тестових прикладах і на прикладі задачі планування розподілу енергетичних ресурсів для виробництва електричного струму, гарячої води, обігріву та охолодження (побутові холодильні машини) в автономній енергосистемі. Аналіз результатів обчислювальних експериментів свідчить про те, що алгоритм NSGA-II вимагає для роботи більше часу порівняно з іншими алгоритмами, але усі результуючі рішення є потенційно оптимальними. AMGA-2 вимагає трохи менше часу, але в результаті певна кількість розв'язків відсікається. ϵ -MOEA виявився найшвидшим, але спостерігається тенденція пропускати розв'язки. Результати роботи СППР на основі багатокритеріальних генетичних алгоритмів представлені у розділі 7.

6.4 Створення СППР для вирішення завдань прогнозування

Якість прогнозування при дослідженні динамічних процесів є головним питанням при використанні наявних інструментальних засобів. Наприклад, відомий пакет SAS включає в себе складні процедури обробки даних, як правило, здатні виробляти високоякісні кінцеві прогнози [23]. Тим не менш, такі інструменти, як правило, дорогі, та вимагають спеціальної підготовки для вирішення конкретних проблем і для цього необхідні серйозні обчислювальні ресурси. Це обмежує їх широке використання. Крім того, нові методи моделювання та прогнозування, які з'являються час від часу в спеціалізованих виданнях необхідно належним чином впроваджувати й апробувати. Необхідно розробити просту і набагато дешеву систему, що моделює побудову прогнозів з урахуванням сучасних принципів системного підходу. Обробка статистичних даних, представлених часовими рядами, як правило, супроводжується невизначеностями різного виду та природи. Зокрема, це невизначеності структурні, статистичні і параметричні [23,66,79]. Структурні фактори невизначеності, як правило, зустрічаються в тих випадках, коли аналіз даних часових рядів не проявляє чітку структуру для відповідної моделі, яка описує його. Нагадаємо, що поняття структури моделі включає в себе такі елементи: розмірність (число рівнянь, що містяться в моделі); порядок моделі (вищий порядок модельного рівняння); час затримки (відставання) для незалежних змінних (регресорів); нелінійність і її тип (нелінійність змінних або в параметрах); випадкові викиди і їх тип (розподіл і його параметри).

Існування процесу обробки даних, обліку даних невизначеностей, і необхідності ієрархічної організації для системи обробки даних, а також необхідність для функціональної повноти всієї обробки вимагають розробки і застосування системного підходу [23,99,101,113,116, 117,125,154,158, 171,172,195,196], що забезпечує можливість вирішення багатьох існуючих проблем, що виникають при статистичному аналізі даних, при побудові моделі, при прогнозуванні та генеруванні альтернативних рішень. СППР має ієрархічну структуру для аналізу даних у вигляді часових рядів (рис. 6.6).



Рис.6.6 СППР для розв'язання завдань прогнозування

Реалізація в СППР принципів системного аналізу сприяє її функціональній гнучкості, обчислювальній надійності, підвищенню якості для остаточних результатів, розширення діапазону життєвого циклу в цілому. Важливою і корисною властивістю системи є те, що вона використовує окремі набори статистичних даних для аналізу якості даних, для адекватності побудованої моделі і якості оцінок прогнозів згенерованих з моделлю.[91,224] Якщо прогнози використовуються для генерації альтернативних рішень, то включається ще один набір критеріїв для перевірки якості прийняття рішень. Подальший статистичний аналіз даних здійснюється для наступних цілей: тестування на наявність гетероскедастичності, для аналізу інтегрованості (наявність тренду), перевірка чи наявна нелінійність, попередня оцінка

структури моделі за допомогою кореляційних методів та визначення типу розподілу даних. Після цієї стадії можна визначити клас досліджуваного процесу і оцінити елементи моделі структури.

Методи прогнозування, що використовуються в системі: регресійний аналіз (лінійний і нелінійний), метод групового урахування аргументів (МГУА)[114], нечіткий МГУА, нечітка логіка, відповідні версії фільтра Калмана, нейронні мережі, підтримка векторної регресії і імовірнісні методи типу (байєсівських мереж, байєсівської регресії). Практично всі технології реалізовані в адаптивних версіях, що робить систему більш гнучкою для вхідних даних і для боротьби з деякими типами невизначеностей.

У СППР були вирішені численні задачі, для яких створювались багато моделей. У конкретному прикладі розглядалась задача планування кредитних ресурсів та використовувалась база даних, що складається з 4700 записів, які були розділені на навчальну вибірку (4300 записів), і вибірку яка досліджується (400 записів). Ймовірності були обчислені за замовчуванням і в порівнянні з фактичними даними, а також помилки першого і другого типу були обчислені з використанням різних значень порогового значення. Було встановлено, що максимальна точність байєсівської моделі була 0,787 зі значенням відсікання 0,3. Байєсівська мережа відкидає частіше клієнтів, які могли б повернути кредит. Точність моделі і помилки типу I і типу II залежить від величини відсікання. Порогове значення визначає нижню межу ймовірності для платоспроможності клієнта, тобто нижче цієї межі клієнт вважається таким, що не поверне кредит. Або порогове значення визначає нижню межу ймовірності для клієнта за замовчуванням, тобто нижче цієї межі клієнт вважається таким, що поверне кредит. Що стосується порогового значення 0,1 або 0,2 вважається не важливо, на практиці це розумно встановити порогове значення на рівні близько 0,25 - 0,30. Статистичні показники, що характеризують якість побудованих моделей, наведені в таблиці 6.11.

Таблиця 6.11 Якість моделей побудованих для СППР прогнозування

Тип моделі	Індекс Джині	Загальна точність	Якість моделі
Байєсівська мережа	0,719	0,787	Дуже висока
Логістична регресія	0,685	0,813	Дуже висока
Дерево рішень	0,597	0,775	Допустима
Лінійна регресія	0,396	0,631	Неприйнятна

З таблиці 6.11, впливає що кращими моделями для оцінювання ймовірності повернення кредиту виявились: логістична регресія і байєсівська мережа. Кращу загальну точність показали логістична регресія (0,813), байєсівської мережі показали індекс Джині (0,719). Дерево рішень характеризується індексом Джині приблизно 0,597, і загальна точність = 0,775. Слід підкреслити, що прийнятні значення індексу Джині для країн, що розвиваються, як Україна знаходяться в діапазоні 0,4 – 0,6. Побудована Байєсівська мережа і нелінійна (логістична) регресія показала досить високі значення індексу Джині, які є прийнятними для української економіки в перехідний період. СППР є дуже корисним інструментом для ОПР, що допомагає виконувати якісну обробку статистичних даних з використанням різних методів, генерувати альтернативні варіанти і вибрати найкращий, спираючись на множину відповідних критеріїв.

6.5 Створення інформаційної системи прийняття рішень для вирішення завдань динамічного планування

При проектуванні інформаційної системи СППР для вирішення завдань динамічного планування та прийняття рішень необхідно об'єднати в єдину систему всі функціональні модулі які забезпечують процес планування і прийняття рішень.[23,63,65]

На рис. 6.7 представлено структуру інформаційної системи СППР для вирішення завдань динамічного планування та прийняття рішень. Вона складається з чотирьох основних підсистем і передбачає модульно-блочну

побудову між користувачами СППР та внутрішніми елементами системи і забезпечує ввід та вивід інформації для ОПР.

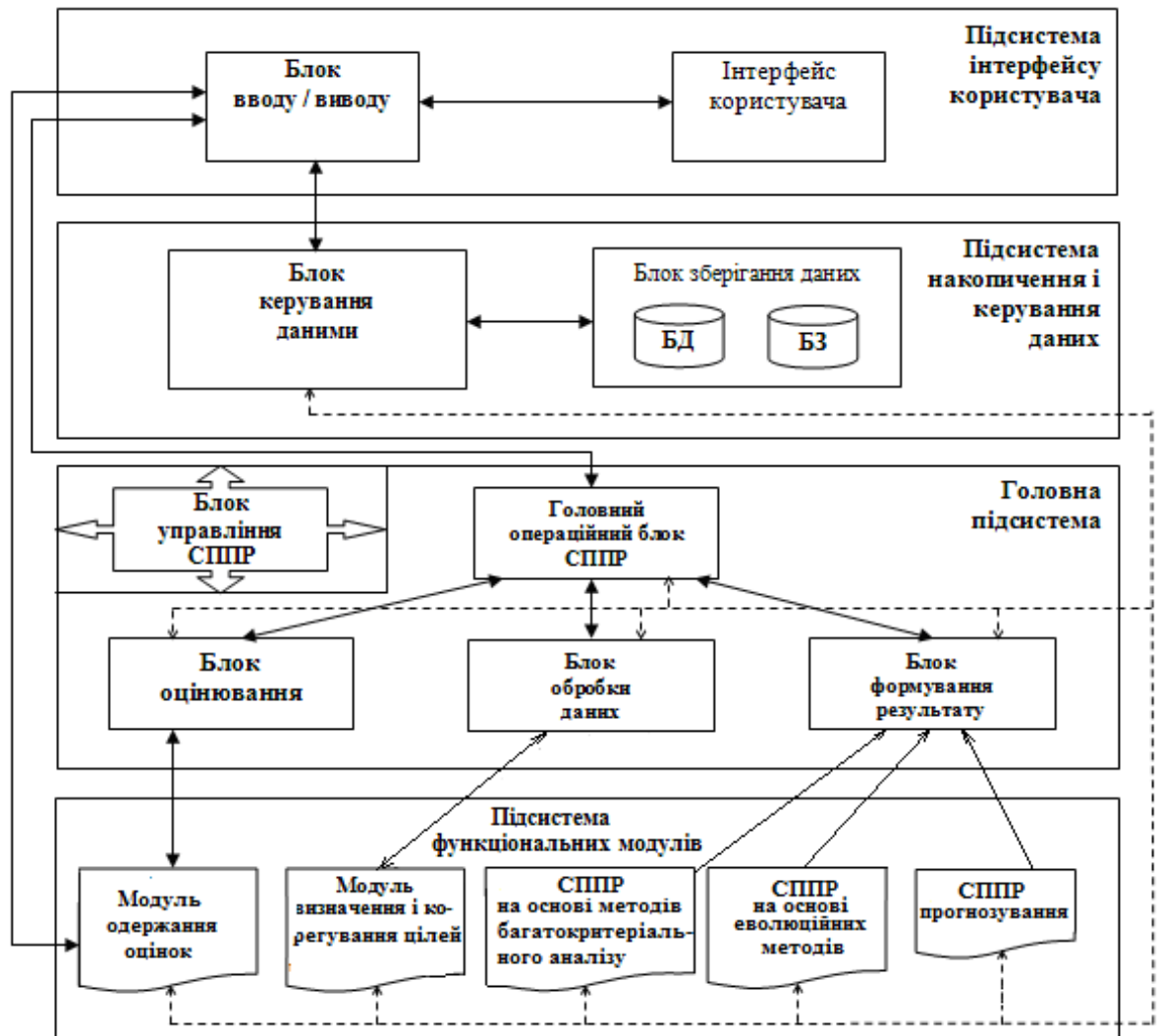


Рис. 6.7 Структура СППР для динамічного планування та прийняття рішень.

Інтерфейс з ОПР здійснюється за допомогою Підсистеми інтерфейсу користувача. Вона безпосередньо пов'язана з підсистемою зберігання даних. Така організація зберігання і одержання даних забезпечує можливість вибрати оптимальну систему управління даними для певної практичної задачі та знімає необхідність майбутнього структурного перетворення СППР при впровадженні нових, більш сучасних СУБД.

Головна підсистема СППР через Головний операційний блок забезпечує реалізацію процесу аналізу і розв'язання задачі у відповідності із загальною структурою вирішення багатоцільових задач. При цьому для здійснення певних

процедур підключаються і застосовуються відповідні модулі, що входять до складу Підсистеми функціональних модулів. Такі модулі призначені для імплементації розроблених методів і підходів, що застосовуються в процесі багатоцільового прийняття рішень, та передбачають можливість подальшого вдосконалення і розвитку без необхідності коригування інших елементів СППР.

Ця архітектура СППР легко модифікується до розв'язання інших задач прийняття рішень, а також можливостей застосування інших методів багатоцільової оптимізації і прийняття рішень.

6.6 Висновки до розділу 6

1. Визначені головні задачі і методи прийняття рішень в задачах динамічного планування. Розглянуто особливості групового прийняття рішень та структура СППР на основі методу групового прийняття рішень.

2. Досліджено багатоцільові методи прийняття рішень. Запропоновано структуру СППР на основі багатоцільових методів прийняття рішень. Удосконалено методологію розв'язання багатоцільових завдань на основі метода аналізу співвідношень. Запропонована СППР на основі методів багатоцільового прийняття рішень.

3. Досліджено багатокритеріальні еволюційні методи. Розроблено метод розв'язування багатокритеріальних задач на основі використання еволюційних процедур і генетичних алгоритмів. Розроблено СППР для розв'язання завдань планування на основі багатокритеріальних генетичних алгоритмів NSGA-II, AMGA-2 та EPSILON-MOEA.

4. Досліджено питання розробки СППР на основі методів прогнозування.

5. Розроблено інформаційну технологію прийняття рішень для комплексного розв'язання задач динамічного планування, яка ґрунтується на запропонованих методах групового прийняття рішень, багатоцільових методах, багатокритеріальних алгоритмах та методах прогнозування.

Перевагою такої системи є можливість використання множини альтернативних методів для розв'язання поставленої задачі з наступним вибором кращого рішення за допомогою відповідних критеріїв якості.

РОЗДІЛ 7

РОЗРОБКА І СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЛАНУВАННЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ

У цьому розділі розглядаються прикладні задачі динамічного планування з використанням розроблених інформаційних технологій. А також висвітлюється розробка інформаційних технологій і програмних систем, для вирішення завдань динамічного планування які, з одного боку, є інструментом наукових досліджень, а з іншого – прикладом завершених практичних застосувань теоретичних методів викладених в попередніх розділах.

З метою реалізації інформаційних технологій для вирішення завдань динамічного планування використовувались: сучасні методи та засоби розробки програмного забезпечення; сучасні ІТ для побудови користувацьких інтерфейсів .

7.1 Планування розподілу енергетичних ресурсів у автономній енергетичній системі

Проблема оптимального розподілу енергоресурсів між споживачами, відповідно до їх потреби завжди актуальна. Використання автономних енергетичних систем мотивується потребою в розширенні ефективного використання відновлюваної або залишкової енергії в районах де немає централізованого енергетичного постачання, а також намаганням підвищити загальну ефективність використання енергії в локальній автономній енергетичній мережі [75,255,269]. На практиці в процесі експлуатації автономних енергетичних систем можуть накопичуватись певні варіанти планів розподілу ресурсів між споживачами які потенційно є оптимальними. При цьому доволі складно прийняти рішення про те, що певний варіант є оптимальним. Виникають питання з мінімізації витрат, споживання енергії, характеристик устаткування тощо. За допомогою підходів до вирішення завдань динамічного планування можливо шукати оптимальні рішення з

розподілу енергії у енергетичній системі з урахуванням цілей різних типів, які можуть враховувати, скажімо, фактори зовнішнього середовища, економічні фактори, структурні фактори та ін.

Для вирішення проблеми оптимального розподілу енергії від різних джерел до різних постачальників, та до різних груп споживачів, необхідно вирішити послідовно декілька задач.[140] Перша задача це визначення з джерелами енергії, з системами постачання енергії та споживачами енергії. Друга задача це побудова моделі процесу для детального визначення та дослідження ключових параметрів системи. Третя задача розробка алгоритмів для вирішення задачі оптимального розподілу. Оскільки в задачі присутні ще часові обмеження, то необхідно вирішити задачу оптимального планування.

Автономна енергетична система представляє собою систему, яка складається з джерел енергії, підсистем які генерують енергію, та системи споживачів енергії. Структура такої системи представлена на рис.7.1.

Розглядаються три типи ресурсів енергії: енергія вітру, електричний струм, та сонячна енергія. Крім цього, існують чотири типи енергетичних потреб: потреба в охолодженні, потреба в обігріві, потреба в прісній воді, та потреба в електричному струмі.[76,88,244] Для обчислення споживання енергії в системі необхідно спочатку створити модель, яка у нашому випадку складатиметься з трьох елементів: ресурс палива, обладнання та устаткування системи та потреба в енергії. На рис.7.2 показано співвідношення між елементами системи та склад споживачів, та потреби в енергії.

Позначення споживачів енергії : ЕН – електричний насос, АХМ – абсорбційна холодильна машина, ЕБ – електричний бойлер, ТЕЦ – теплоелектроцентрально, ФВ – система фотовольтаніки, ОП – система опріснення.

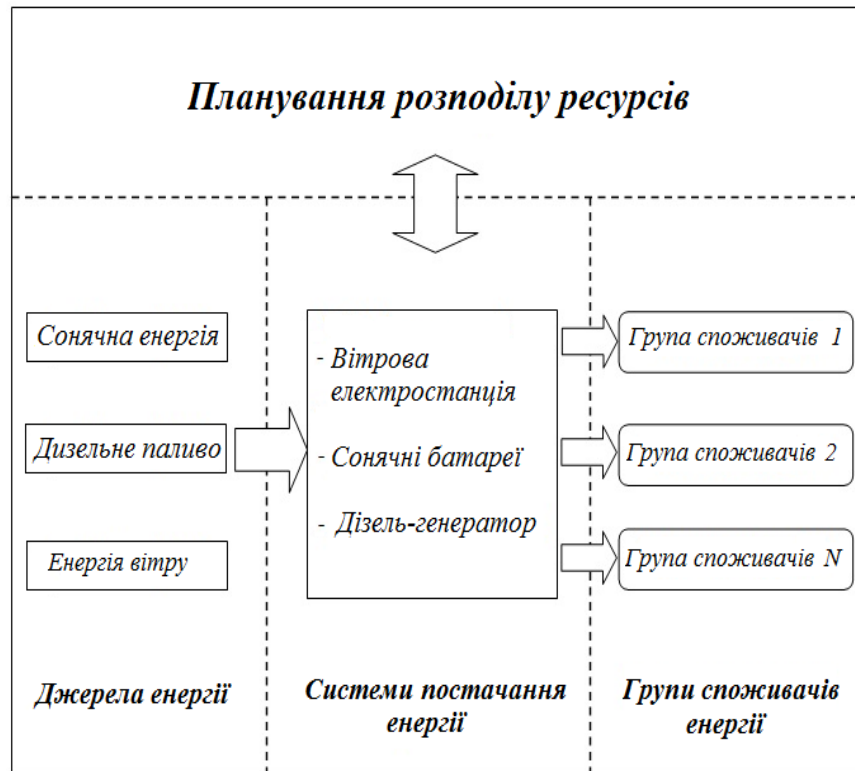


Рис.7.1 Структура автономної енергетичної системи

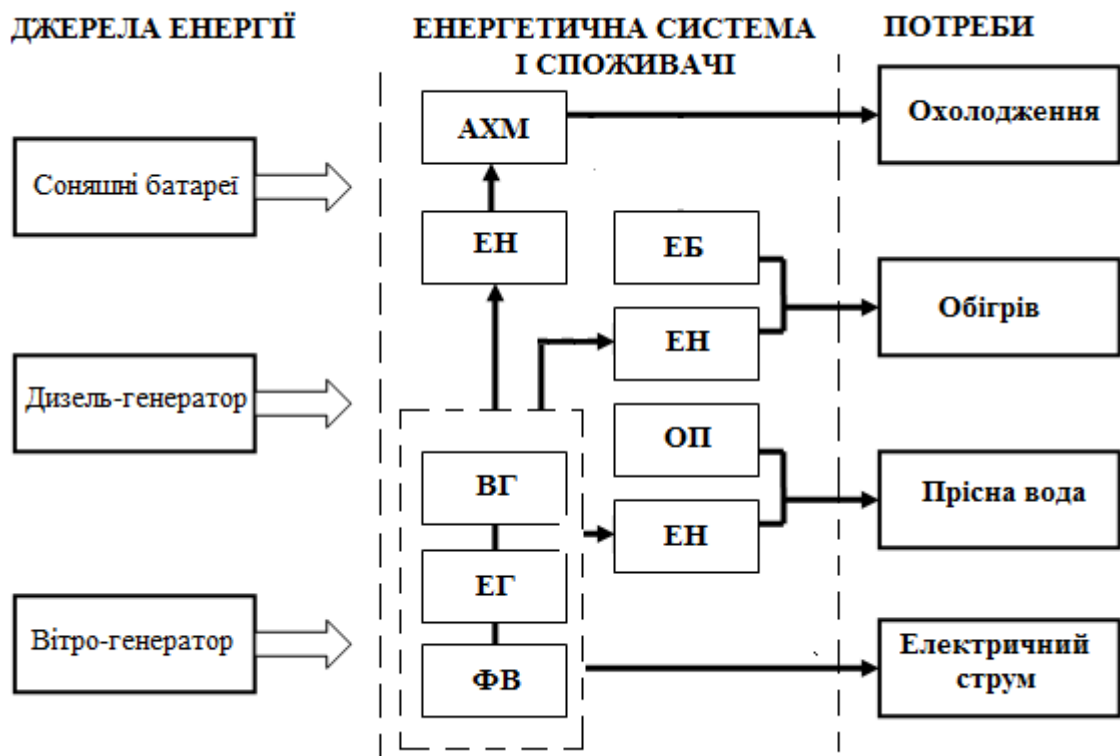


Рис.7.2 Структура системи та склад споживачів енергії в автономній енергетичній системі.

Обладнання та устаткування має свої власні характеристики, ресурс палива та найбільш ймовірне споживання. Головна задача полягає в розробці планів сезонного оптимального розподілу електричної енергії між споживачами, яка виробляється за допомогою вітрогенератора, сонячних батарей та дизельгенератора. Для моделювання цієї системи було запропоновано використання Кольорових мереж Петрі. Кольорові мережі Петрі дають змогу побудувати адекватну динамічну модель процесу або системи з врахуванням часових параметрів системи. Результати моделювання представлені в розділі 4. На рис.7.3 модель автономної енергетичної системи яка побудована в середовищі CPN tools .

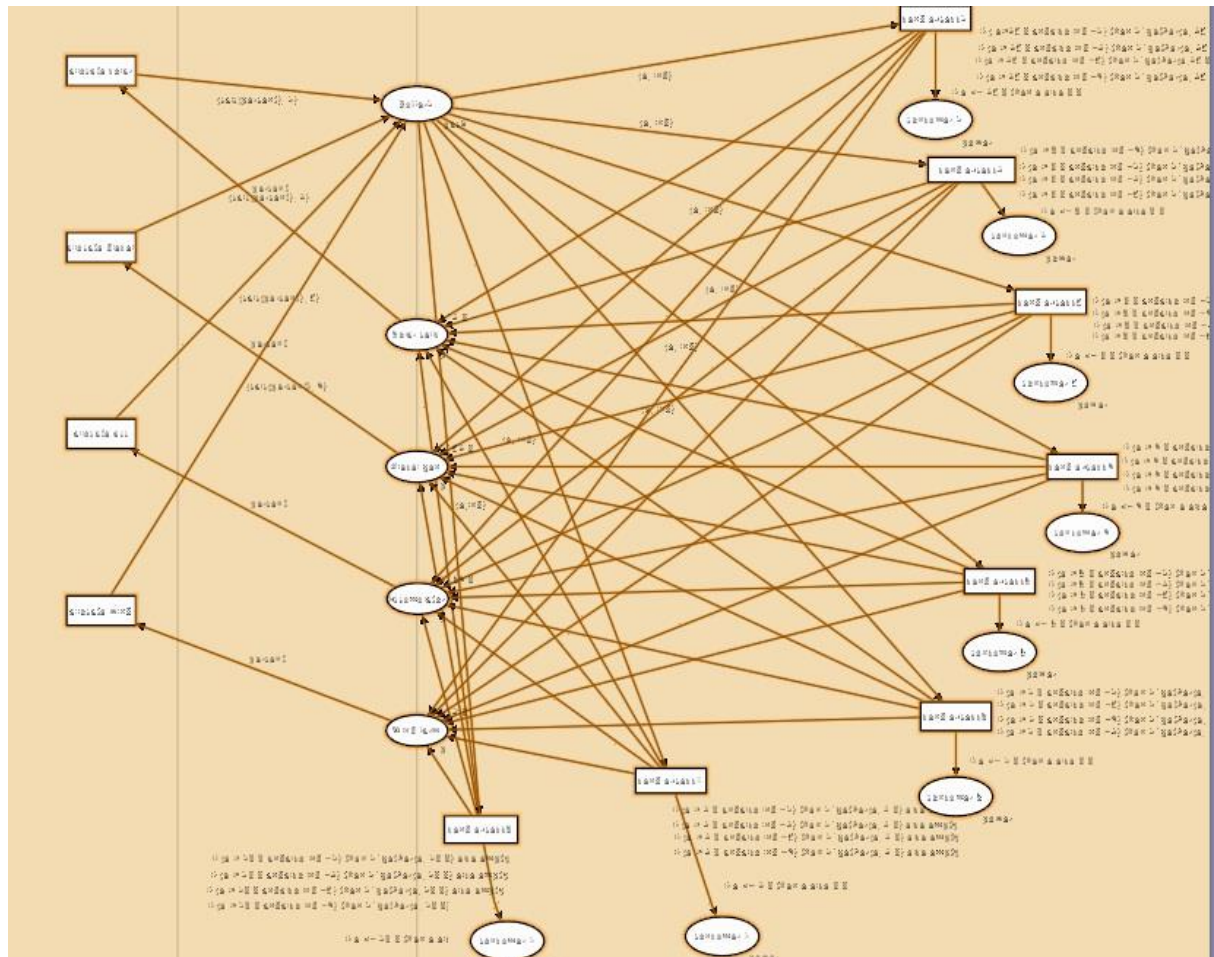


Рис.7.3 Модель автономної енергетичної системи яка представлена за допомогою кольорових мереж Петрі

Таблиця 7.1. Характеристики вузлів енергетичної системи

	Вхід		Вихід			
	Газ	Струм	Холод	Тепло	Гаряча вода	Струм
АХМ	+		+	+		
ЕН		+	+	+	+	
ЕБ	+			+	+	
ФВ						+

Ефективність роботи обладнання визначається рівнем споживання палива. Для обчислення споживання енергії в системі необхідно спочатку створити модель, яка у нашому випадку складатиметься з трьох елементів: ресурс палива, обладнання системи та потреба в енергії. Існують три типи ресурсів палива: вітрова енергія, електричний струм та сонячна енергія. Крім цього, існують чотири типи енергетичних потреб: потреба в охолодженні, потреба в обігріві, потреба в воді, і потреба в електричному струмі.

У якості цілей виступатимуть мінімізація витрат на купівлю обладнання, мінімізація споживання дизельного палива для вироблення електричного струму для задоволення потреб. Кожна ціль знайшла своє відображення в якості функції мети. Крім цього, було введено необхідні обмеження. Кіловат використовується як одиниця виміру в моделі обчислення. Модель, яка побудована дозволяє підрахувати параметри системи за певний період та моделювати розподіл енергії між постачальниками та споживачами.

Для вирішення задач планування розподілу енергії між споживачами використовуються багатокритеріальні генетичні алгоритми.[232,255] Вони базуються на еволюційних принципах, вони знайшли широке застосування, адже більшість інженерних задач характеризуються NP-складністю, тому часто бажаним є швидке обчислення наближених розв'язків. Адаптивна природа генетичних алгоритмів використовувалася для розробки алгоритмів оптимізації шляхом створення відповідних операторів варіації і апроксимованих функцій придатності. З усього різноманіття багатокритеріальних генетичних алгоритмів (додаток Д) було обрано 3 алгоритму: NSGA-II, AMGA-2 та ϵ -MOEA.[68,70,255]

Алгоритми були реалізовані в спеціалізованій інформаційній системі. В якості вхідних даних було запропоновано наступну структуру хромосоми:

Номер	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Назва	ЕН1	АХМ	ЕН2	ЕБ1	ЕН3	ЕБ2	ВГ	ФВ	П1	П2
Одиниці	кВт	кВт	кВт	кВт	кВт	кВт	кВт	кВт	-	-

На рис. 7.4 показані результати роботи алгоритмів вирішення задачі електроенергії серед споживачів за алгоритмами NSGA-II, AMGA-2 та ϵ -MOEA

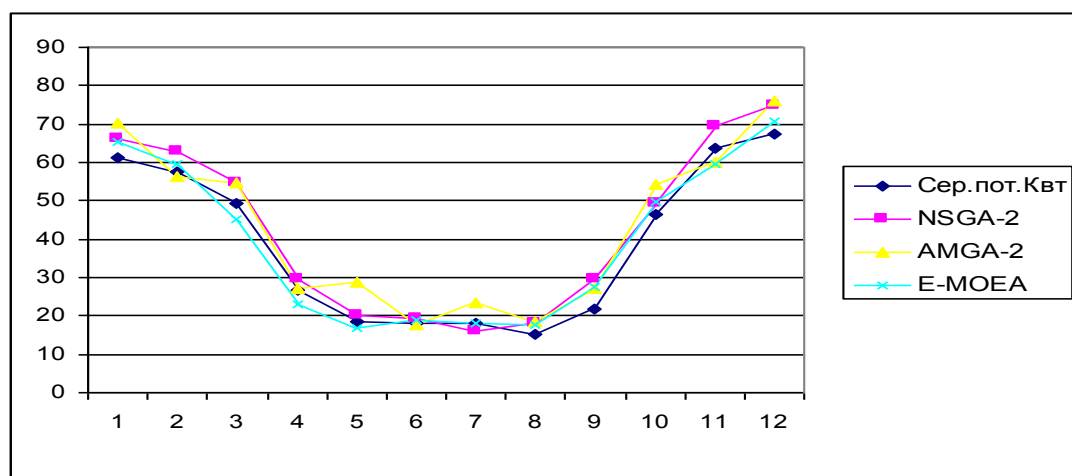


Рис 7.4. а) Результати розрахунків річного навантаження вітроенергетичної установки (ВЕУ)

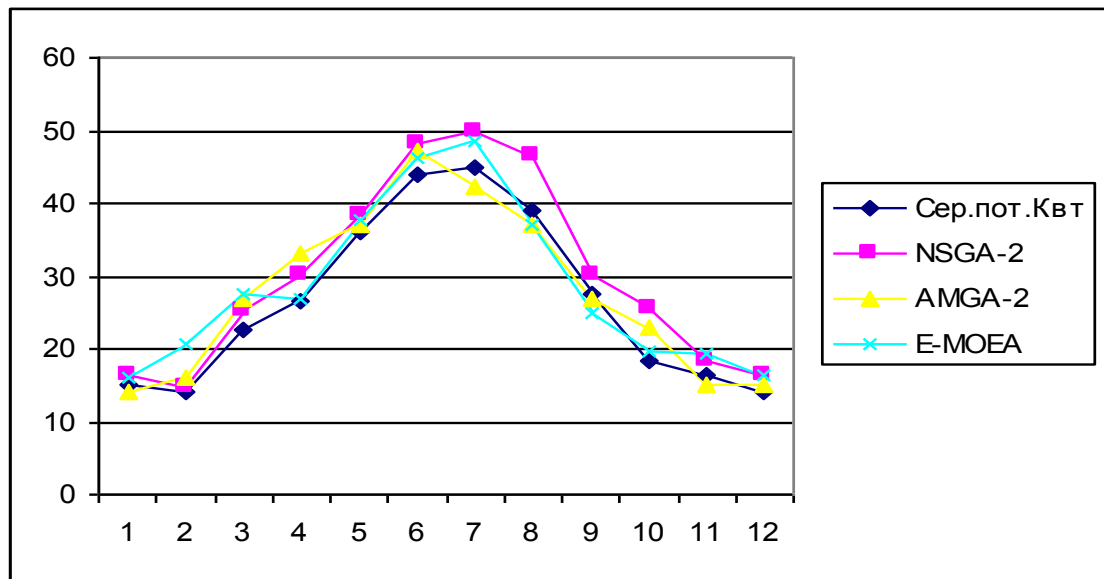


Рис 7.4. б) Результати розрахунків річного навантаження сонячних батарей

В результаті вирішення задачі планування розподілу енергоресурсів отримано оптимальний місячний розподіл енергії між споживачами автономної енергетичної системи. Аналіз результатів роботи багатокритеріальних генетичних алгоритмів свідчить про те, що NSGA-II вимагає для роботи більше часу у порівнянні з іншими алгоритмами, але усі результуючі рішення є потенційно оптимальними. AMGA-2 вимагає трохи менше часу, але в результаті певна кількість розв'язків відсікається. ε-MOEA виявився найшвидшим, але прослідковується тенденція повертати розв'язки, над якими домінують рішення, отримані за допомогою інших алгоритмів.

В результаті вирішення задачі планування розподілу ресурсів, можливо зробити висновок, що використання багатокритеріальних генетичних алгоритмів є ефективним.

7.2 Планування маршрутів при управлінні безпілотними літальними апаратами (БПЛА)

Розвиток даного класу авіатехніки обумовлений рядом специфічних переваг, реалізація яких дозволяє отримати суттєву перевагу над пілотованою авіацією для широкого спектру завдань. Перш за все, це відсутність екіпажу; відносно невелика вартість БЛА; малі витрати на їхнє створення, виробництво та експлуатацію; великі тривалість і дальність польоту; висока маневреність комплексу БЛА; відсутність наявності сучасних аеродромів і т.п.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) використовують для розв'язання завдань, виконання яких пілотованими літальними апаратами є недоцільним. Такими завданнями є:

- моніторинг земної й водної поверхонь та повітряного простору,;
- екологічний контроль;
- керування повітряним рухом;
- вирішення бойових завдань;
- моніторинг надзвичайних ситуацій.

Подальше вдосконалення БПЛА відбувається за рахунок застосування сучасних інформаційних технологій, насамперед нових навігаційних систем, обладнання, ефективних силових установок, різноманітних датчиків, що роблять такі літальні апарати всепогодними, здатними працювати в будь-який час доби і протягом тривалого періоду передавати інформацію в реальному масштабі часу.

Для спостереження та моніторингу використовується БПЛА з обмеженим часом польоту. Обліт маршруту або баражування здійснюються як з попередньо спланованим планом, так і оперативно. Зліт БЛА проводиться з розбігу по доріжці або з пускового пристрою. Після автоматичного набору висоти БЛА виходить на маршрут і здійснює обліт пунктів маршруту в автоматичному режимі. Можлива оперативна корекція

маршруту в процесі польоту, перехід в режим баражування над точкою з заданими координатами, зміна висоти польоту. Відеозображення передається на станцію стеження в реальному часі в межах досяжності радіосигналу.[193]

Бортовий комплекс управління забезпечує синхронізоване за часом і координатами спрацьовування фотоапарата. Після приземлення фотознімки вивантажуються в стаціонарний комп'ютер, де за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення проводиться аналіз польоту, зшивання кадрів, побудова фотографічних планів місцевості.[191]

На рис. 7.5 представлена схема управління та планування для БПЛА

Завданням є знаходження оптимального плану польоту при керуванні БПЛА.

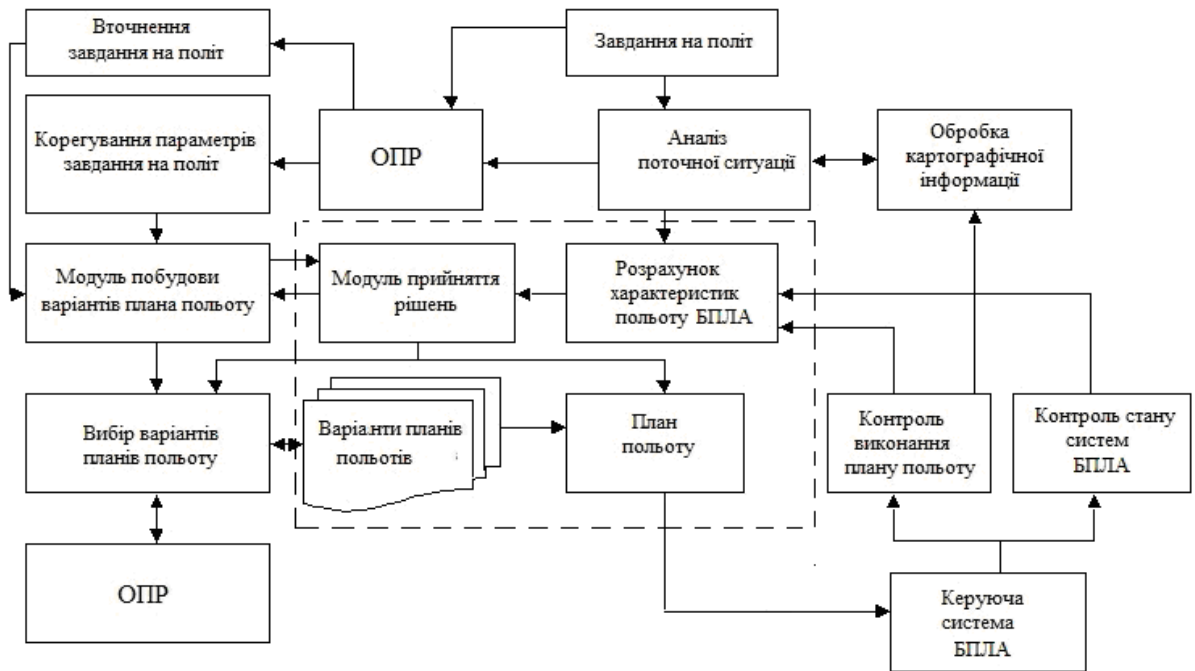
Необхідно спланувати обліт усіх попередньо відомих точок з метою фотографування. Це вимагає знаходитись на певній висоті, яка визначається оптико-електронною системою на борту БПЛА. Це зведе до мінімуму можливі ризики, пов'язані із виконанням політного завдання. В табл. 7.2 представлено можливі ризики, пов'язані із виконанням політного завдання.

Таблиця 7.2 Можливі типи ризиків при виконанні політного завдання

№	Тип ризику	Оцінка ризику
1	Ризик втрати БПЛА	0.05
2	Ризик виходу із ладу обладнання БПЛА	0.1
3	Ризик виходу із ладу фотографічного обладнання	0.08
4	Ситуаційний ризик	0.2

Планування польотного завдання здійснюється по цифровій карті місцевості. В якості географічної підкладки використовується будь-яке

растрове зображення, прив'язане до координат за допомогою простої процедури.



7.5 Схема управління та планування для БПЛА

Як вже зазначалося вище в даній роботі [191], алгоритм A^* спершу відвідує ті вершини, які ймовірно ведуть до найкоротшого шляху до мети. Аби розпізнати такі вершини, кожній відомій вершині x співставляється значення $f(x)$, яке дорівнює довжині найкоротшого шляху від початкової вершини до кінцевої, який пролягає через обрану вершину. Вершини з найменшим значенням f обираються в першу чергу.

Для завдання обходу всіх вершин з поверненням у початкову, функція $g(x)$ буде обчислюватися, як сума шляху в трьохвимірному просторі від початкової вершини до поточної. Враховуватись будуть координати точок та значення висоти. Під висотою передбачається сума висоти над рівнем моря та крейсерської висоти БЛА, яка визначається за допомогою кутового та лінійного дозволу.

Маршрут БПЛА визначається за допомогою растрової карти, яка є географічним представленням поверхні Землі.

В якості евристичної функції для алгоритму A* буде використовуватись алгоритм Крускала, який часто використовується в задачах оптимізації з поверненням у початкову вершину. Алгоритм полягає в знаходженні мінімального остовного дерева графа.

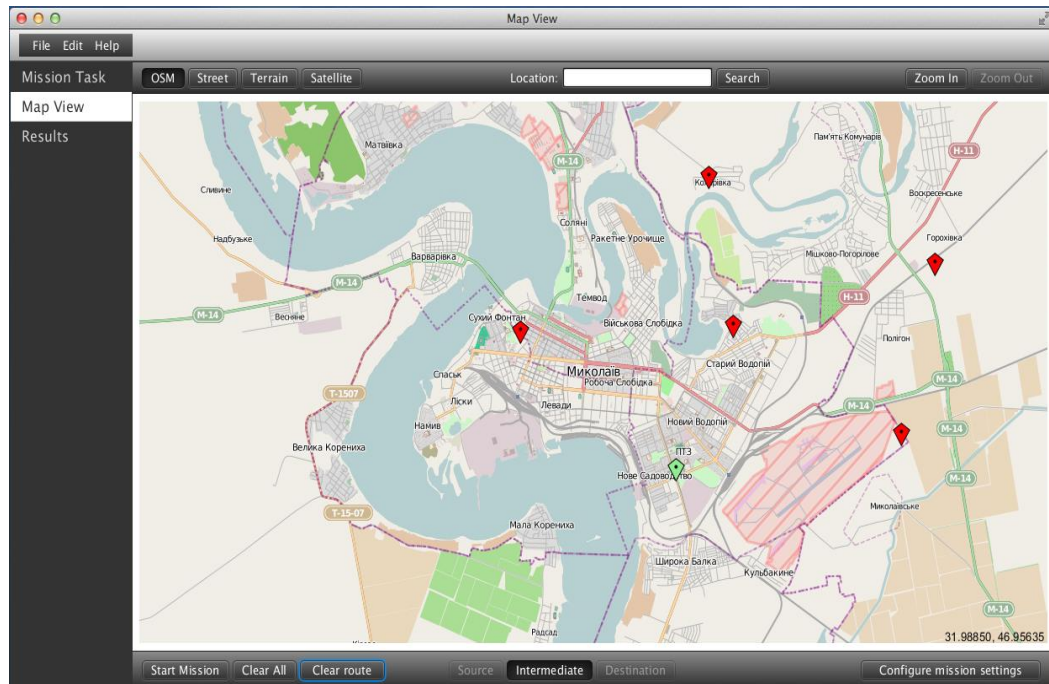


Рис.7.6 Завдання точок обльоту

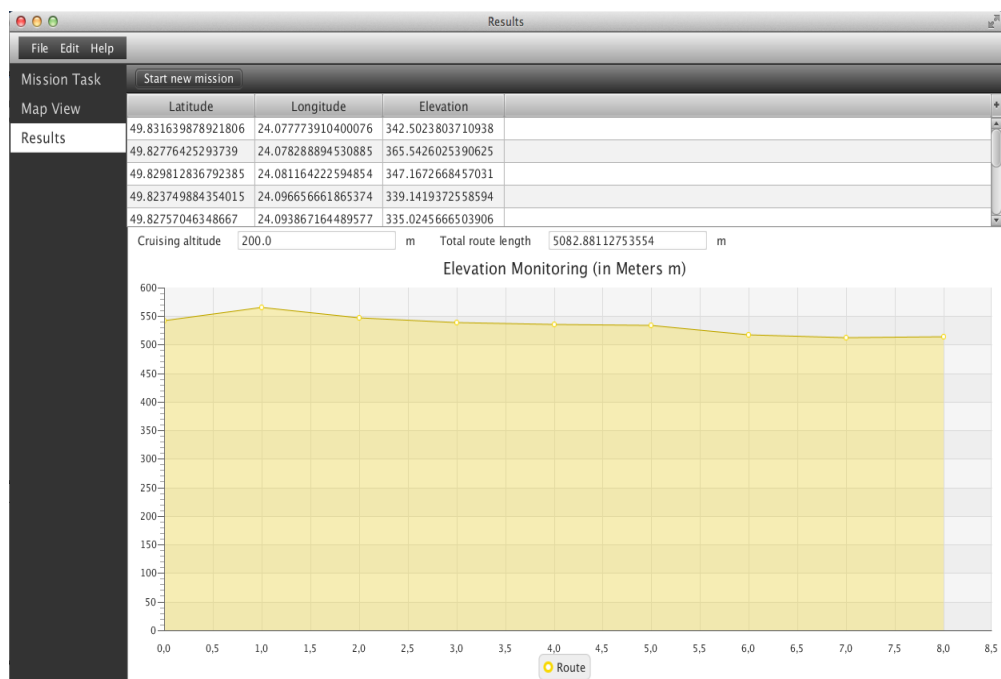


Рис.7.7 Обрахування параметрів польоту

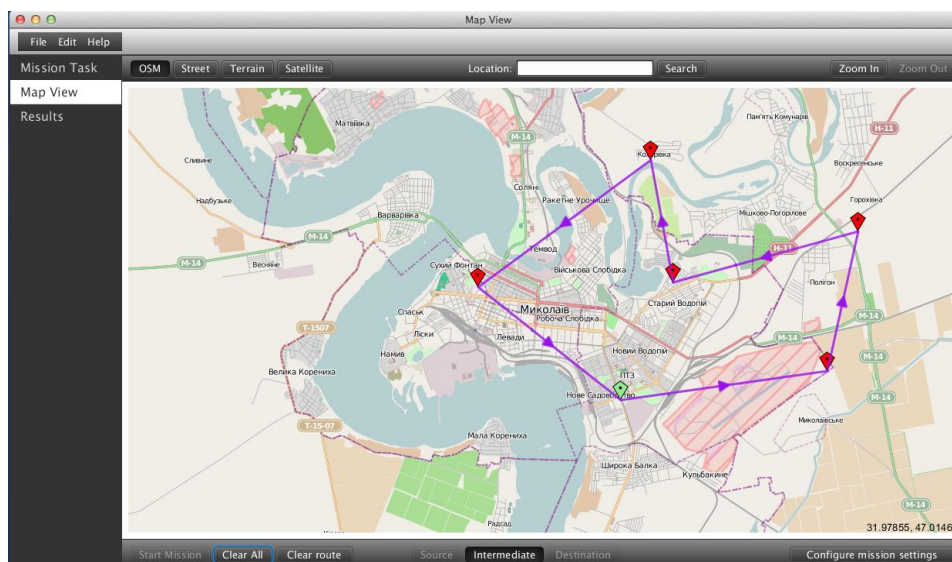


Рис. 7. 8 Політне завдання з поверненням.

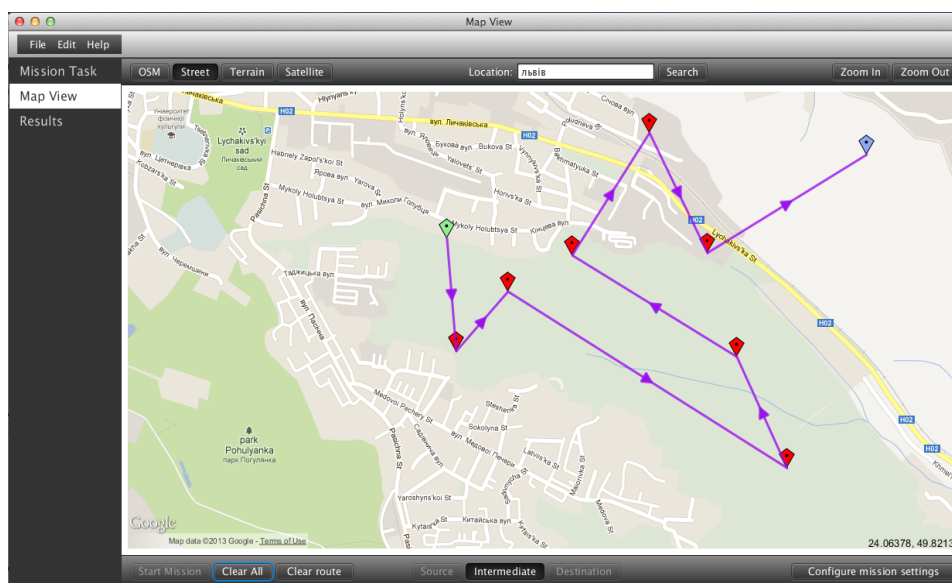


Рис.7.9 Політне завдання приземленням у іншій точці.

На основі розробленої архітектури була створена система підтримки прийняття рішень для побудови оптимальних польотних планів для БПЛА. СППР надає можливість обирати тип місії, алгоритм, шукати необхідну місцевість, встановлювати точки та будувати маршрут. В результаті використання картографічних сервісів необхідною умовою роботи програми є підключення до мережі Internet. Діаграма компонентів і діаграми класів наведено в додатку 3. На рис. 7.6 – 7.9 наведено результати роботи СППР.

В результаті роботи програмного комплексу управління БПЛА розробляються плани польотів, в залежності від політного завдання. План польоту прив'язаний до карти місцевості. Для визначення поточних координат використовується сервіс Google Map. СППР впроваджено у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності для моделювання планів польоту БПЛА.

7.3 Дослідження та прогнозування економічних показників для планування діяльності підприємства теплопостачання

Задача дослідження та прогнозування економічних показників діяльності підприємства є головною інформацією для оцінювання діяльності підприємства і планування подальшої діяльності.[64,71]

Для дослідження було взято реальні дані по комунальному підприємству, що охоплюють часовий період 2009-2011 рр. Основними показниками, що описують діяльність підприємства, відображають інвестиційну є:

- ліквідність;
- рентабельність (дохідність) значення рентабельності побудоване на основі щотижневих даних доходу по відносно розміру витрат, помножено на кількість тижнів в році ($D*52/V$);
- загальне відношення доходів та витрат

Аналіз, моделювання та прогнозування показників проводилося за допомогою розробленої СППР, для роботи з методом МГУА було використано систему «Neuro Shell 2 v4.0».

В результаті обчислення статистичних характеристик, бачимо, що для всіх показників характерною є авторегресія та ARCH-ефекти (Табл. 7.1.). Між собою ряди маже не корельовано, тому немає сенсу застосовувати множинну регресію (Табл. 7.2). На основі значень АКФ та ЧАКФ приймаємо рішення про порядок авто регресії (Табл. 7.3).

Таблиця 7.3 – Статистичні характеристики часових рядів

	Ліквідність	Д*52/КП	Доходи/ Витрати
Мат. Сподівання	1,2165	0,1899	0,1684
Дисперсія	0,2317	0,1045	0,0483
Корф. Асиметрії	-0,2829	2,6008	2,4738
Екссес	2,868	10,9573	10,8827
Стат. Жак-Бера	2,0675	557,3073	534,1229
Тест Льюнга-Бокса (наявність автокореляції)	1	1	1
значення q-статистики	356,11	230,7827	51,4511
Критичне значення	2,71	4,6052	3,2189
Тест Енгла (наявність ARCH-ефектів)	1	1	1
значення ARCH-статистики	7,72	75,0023	25,8919
Критичне значення	6,25	50,6598	25,0375

Таблиця 7.4 – Кореляційна матриця

Ліквідність	Д*52/В	Доходи/Витрати
1,0000	-0,2022	0,1201
-0,2022	1,0000	0,0077
-0,0037	-0,0126	0,0892
0,1201	0,0077	1,0000

Таблиця 7.5 – АКФ, ЧАКФ

АКФ			ЧАКФ		
Ліквідність	Д*52/В	Дохід/ Витрати	Ліквідність	Д*52/В	Дохід/ Витрати

1,0000	1,0000	1,0000	0,9425	1,0000	1,0000
0,9425	0,0533	0,0345	-0,0408	0,0547	0,0352
0,8845	0,0544	-0,0085	-0,0010	0,0537	-0,0092
0,8295	0,0279	0,1646	-0,1545	0,0254	0,1723
0,7621	0,3808	0,2393	0,0585	0,4044	0,2503
0,7042	0,2047	0,0537	-0,0361	0,2244	0,0646
0,6480	0,0490	0,0119	-0,0687	0,0268	-0,0047
0,5871	0,0130	0,1379	-0,0835	-0,0137	0,0773
0,5233	0,1831	0,1427	0,0414	0,0409	0,0906
0,4693	0,4534	0,2036	0,1105	0,4236	0,2333
0,4340	-0,0464	-0,0312	0,1022	-0,1263	-0,0577
0,4131	-0,0271	0,2940	-0,1214	-0,0927	0,2909
0,3832	0,0503	0,0360	0,0562	-0,0464	-0,0766
0,3627	0,4347	0,0641	-0,1072	0,2714	0,0505
0,3347	-0,0243	0,0572	-0,0749	-0,1572	-0,0161
0,2969	-0,0141	0,0941	0,0030	-0,0131	-0,0097
0,2692	-0,0560	0,0424	0,0074	-0,0935	-0,0248
0,2439	0,2041	0,0067	-0,0074	0,0090	-0,0418
0,2172	0,1542	0,0124	-0,0030	-0,0230	-0,1068

Дослідження показників на наявність трендів показало наступне:

для показника ліквідності рівняння тренду має вигляд:

$$y = 0,0074 * t + 0,7005;$$

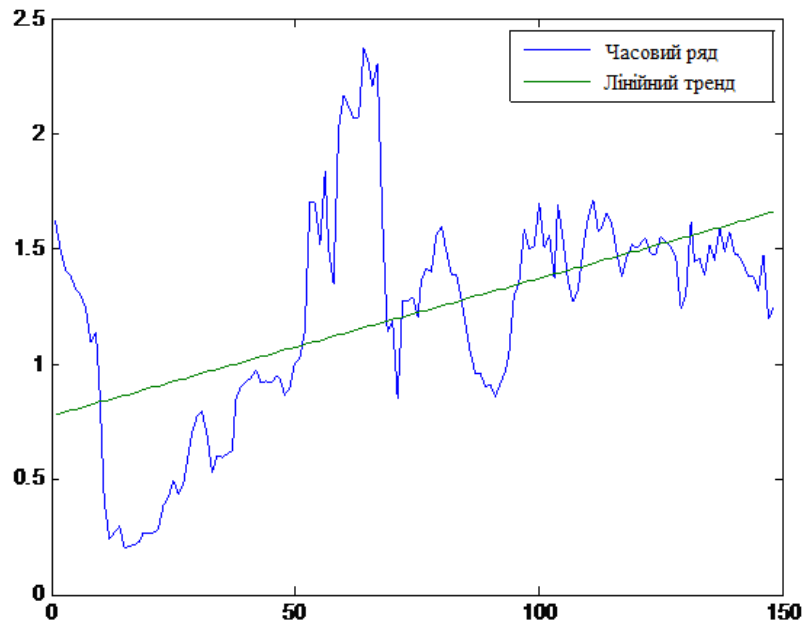


Рисунок 7.10 – Тренд ліквідності

для показника рентабельності (Д*52/В) рівняння тренду має вигляд:

$$y = -0,0019 * t + 0,3316,$$

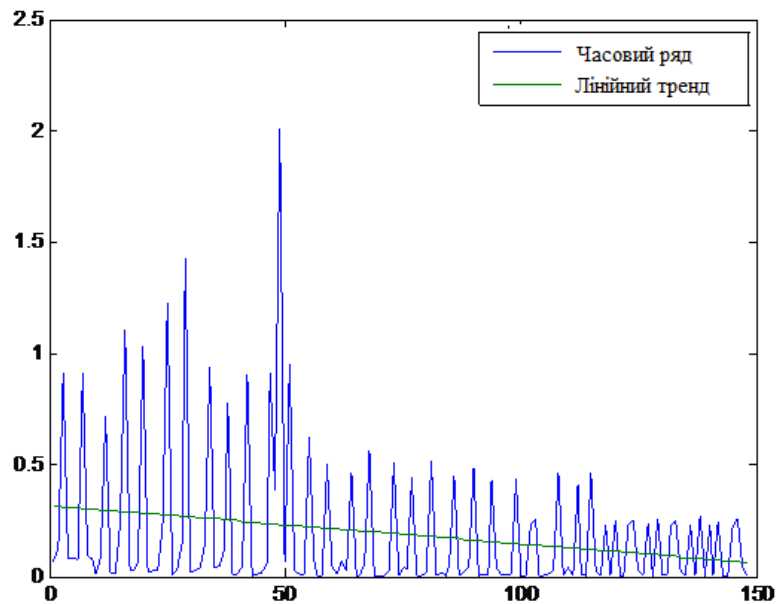


Рисунок 7.11– Тренд показника рентабельності (Д*52/В)

Для показника дохід/витрати рівняння тренду має вигляд:

$$y = 0,0337 * t + 0,0018;$$

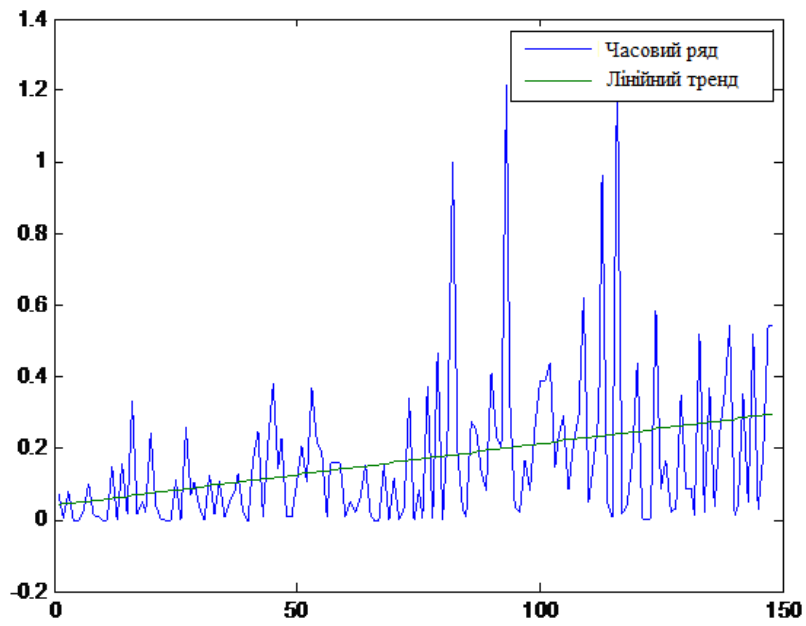


Рисунок 7.12– Тренд показника дохід/витрати

Дослідження показників на наявність сезонних ефектів (Рис. 7.10, 7.11, 7.12) показало наступне (Табл. 7.4):

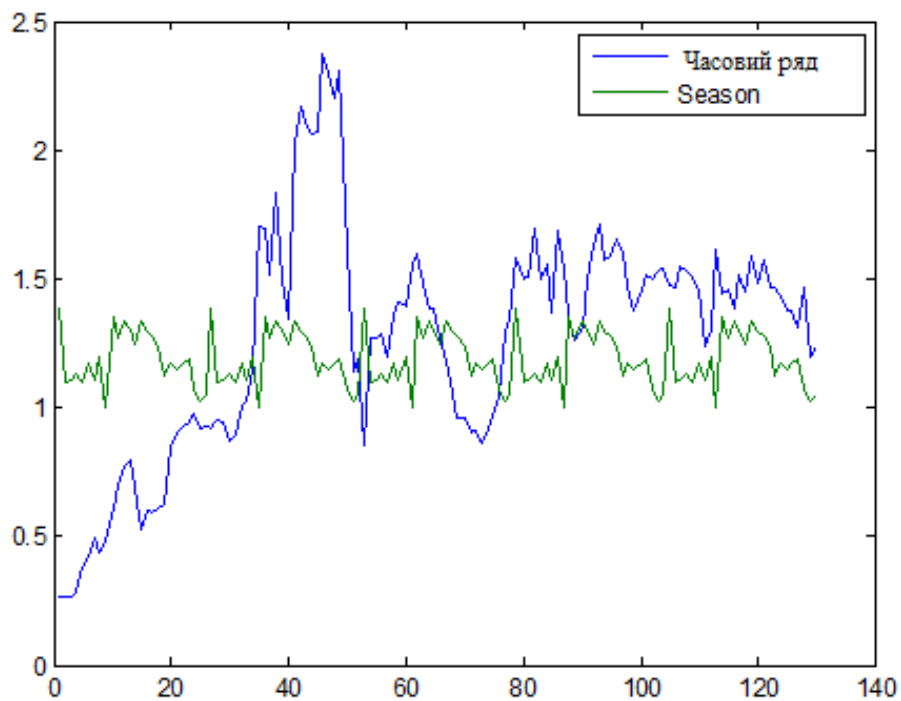


Рисунок 7.13 – Ліквідність (сезонність)

Таблиця 7.6 – коефіцієнти сезонного ефекту (значення в кожен період сезону)

Ліквідність	Д*52/В	Доходи/Витрати
1,3828	0,0237	0,2912
1,3536	0,0623	0,0747
1,2756	0,7009	0,1695
1,3411	0,1269	0,2664
1,3022	0,0275	0,1931
1,2502	0,0336	0,0779
1,3394	0,3214	0,0892
1,2987	0,3885	0,1389
1,2804	0,0278	0,2561
1,2424	0,0299	0,0523
1,1230	0,1475	0,0464
1,1680	0,4974	0,4207
1,1424	0,0065	0,0568
1,1625	0,0534	0,0778
1,1867	0,0709	0,3143
1,0696	0,6546	0,3021
1,0210	0,0162	0,0132
1,0457	0,0118	0,0802
1,0191	0,0652	0,1155
1,0929	0,2757	0,2173
1,1100	0,379	0,1912
1,1327	0,085	0,1124
1,0985	0,4614	0,1002
1,1639	0,1101	0,1152
1,1090	0,6279	0,2378
1,1966	0,4207	0,0857

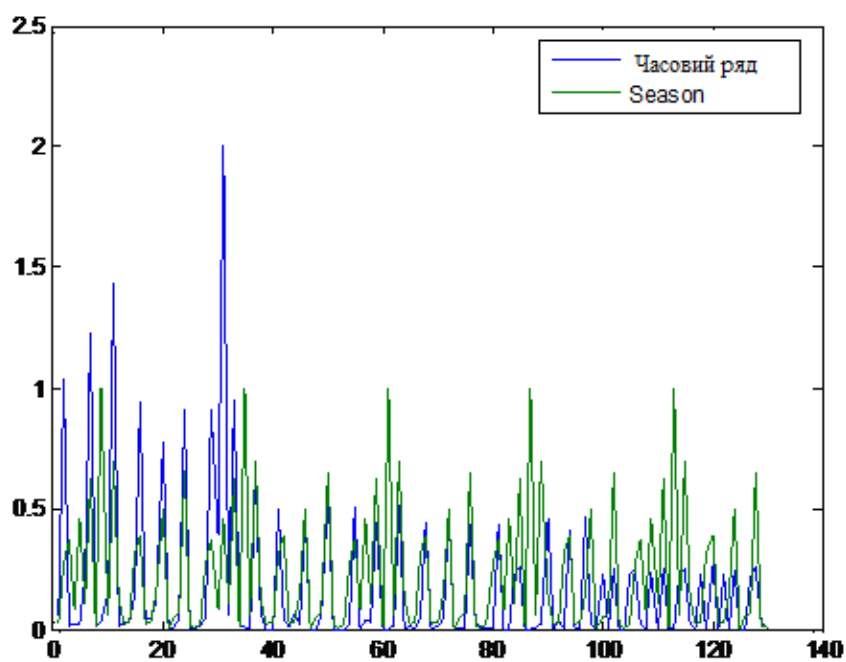


Рисунок 7.14 – Показник рентабельності (сезонність)

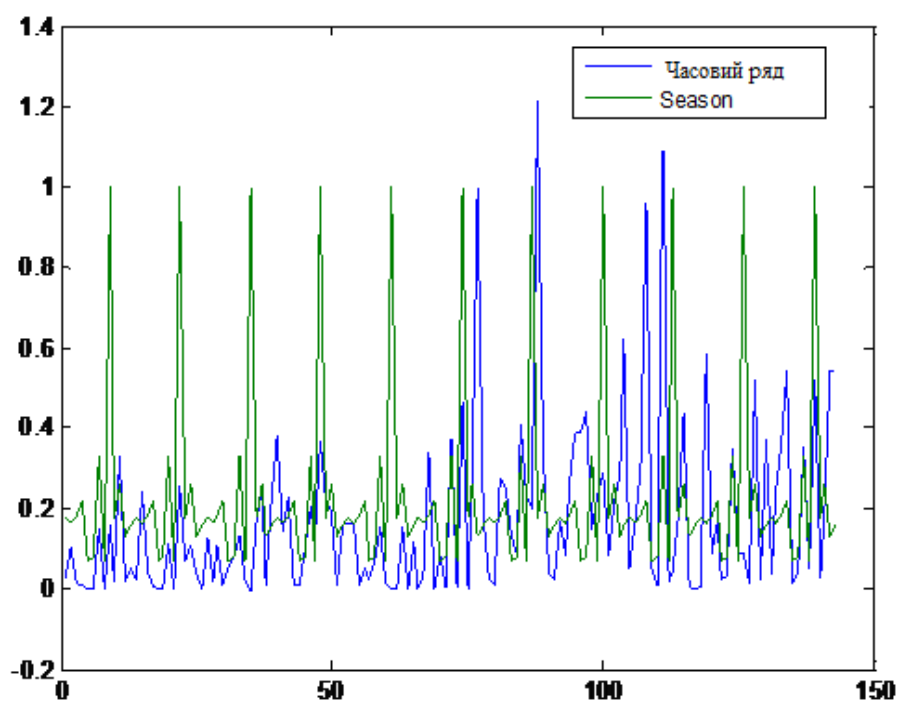


Рисунок 7.15 – Доходи/витрати (сезонність)

Далі прогнозуються фінансові показники підприємства. Для прогнозування фінансових показників підприємства було застосовано ряд методів[23]:

- авто регресія;
- ARMAX (autoregressive moving average with exogenous inputs model);
- ARIMA (autoregressive and integrated moving average);
- ARFIMA (autoregressive and fractal integrated moving average);
- МГУА (Метод групового урахування аргументів з лінійним частковими описами) нейромеревий метод;
- GARCH (General autoregressive conditional heteroskedastic) для моделювання волатильності рядів.

Ці методи було обрано для реалізації в СППР, оскільки в результаті проведених статистичних тестів було виявлено з високим рівнем значущості наявність автокореляції та ARCH – ефектів, тобто наявності гетероскедастичності (дисперсія змінюється в часі). Спрогнозувати фінансові показники підприємства для подальшого вирішення завдань планування. Ці методи було обрано для реалізації, оскільки в результаті проведених статистичних тестів було виявлено з високим рівнем значущості наявність автокореляції та ARCH – ефектів, тобто наявності гетероскедастичності.

Фінансові дані – це дані, які не завжди декларуються одночасно, тому, зрештою, вони приводяться до значення в конкретний період часу (за звітний період), не враховуючи стрибки, падіння і т.д. всередині періоду. Таким чином важливі для аналізу дані можуть знаходитися не в попередніх періодах, а між ними. Таким чином до списку моделей було обрано ARFIMA (з дробовою інтегрованістю)

За критерій якості прогнозу було обрано значення коефіцієнт детермінації:

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

де $\text{var}(\hat{y})$ – дисперсія залежної змінної, оціненої за допомогою побудованої математичної моделі, а $\text{var}(y)$ – дисперсія залежної змінної, оціненої за допомогою її фактичних значень. Для гарної моделі $R^2 \rightarrow 1$.

Для показника ліквідності найкращий прогноз був зроблений з допомогою моделі AR(1) (Див.Табл. 5.3). AR(1) має вигляд:

$$y(k) = 0,0657 + 0,9445y(k-1);$$

GARCH(1;1) для показника ліквідності має вигляд:

$$\sigma^2(t) = 0,00002 + 0,00009\varepsilon^2 + 0,99994\sigma^2(t-1);$$

ε^2 - квадрат залишків найкращої моделі - AR(1).

Таблиця 7.7 – Якість прогнозів показника ліквідності

	AR(1)	ARMAX(1;1)	ARIMA(1;0;1;0)	GARCH(1;1)	МГУА
Коеф. детермінації	0,9891	0,9499	0,7876	0,9999	0,4106
RMSE	0,0503	0,1083	0,2157	0,0001	0,3726
Durbin-Watson st.	0,5879	0,4336	0,7876	0,3353	0,5341
SSE	13,3319	13,5376	16,3458	0,0001	19,9904
MSE	0,0025	0,0117	0,0465	0,0001	0,1388

Для показника (Д*52/В) найкращий прогноз був зроблений з допомогою моделі ARIMA(13;0,1;5) (Табл. 5.4) (Рис. 5.7). ARIMA(13;0,1;5) має вигляд:

$$z(k) = 0,0593 - 0,1407z(k-1) + 0,1242z(k-2) - 0,0758z(k-3) + 0,1039z(k-4) + \\ + 0,0513z(k-5) - 0,0749z(k-6) + 0,0282z(k-7) - 0,0158z(k-8) + 0,2513z(k-9) + \\ + 0,0376z(k-10) - 0,1642z(k-11) - 0,0334z(k-12) + 0,3508z(k-13) + mv_z(k) - \\ - 0,6339mv_z(k-1) - 0,0621mv_z(k-2) + 0,3321mv_z(k-3) - 0,0573mv_z(k-4) + \\ + 0,1258mv_z(k-5),$$

де $z(k)$ - часовий ряд, отриманий з початкового.

GARCH(1;1) для показника (Д*52/В) має вигляд:

$$\sigma^2(t) = 0,00002 + 0,00009\varepsilon^2 + 0,99994\sigma^2(t-1);$$

ε^2 - квадрат залишків найкращої моделі - ARIMA(13;0,1;5).

Таблиця 7.8- Якість прогнозів показника Д*52/В

	AR(13)	ARMAX(13;5;0)	ARIMA(13;0,1;5)	GARCH(1;1)	МГУА
Коеф. детермінації	0,5831	0,9679	1,0085	0,9999	2,0557
RMSE	0,4087	0,4452	0,4485	0,0001	0,4187
Durbin-Watson st.	2,6471	3,0734	3,0367	0,0237	2,3398
SSE	22,0460	25,7602	26,3553	0,0001	25,2462
MSE	0,1670	0,1982	0,2012	0,0001	0,1753

Для показника доходи/витрати найкращий прогноз був зроблений з допомогою моделі ARIMA(10;0,4;3). ARIMA(10;0,4;3) має вигляд:

$$z(k) = 0,0752 - 0,4438z(k-1) - 0,3792z(k-2) - 0,1455z(k-3) - 0,0457* \\ * z(k-4) - 0,1490z(k-5) - 0,2077z(k-6) - 0,0698z(k-7) - 0,0536z(k-8) + \\ + 0,0531z(k-9) - 0,1554z(k-10) + mv_z(k) - 0,4931mv_z(k-1) + 0,0961* \\ * mv_z(k-2) - 0,3217mv_z(k-3);$$

де $z(k)$ - часовий ряд, отриманий з початкового.

$$Z = (1-L)^{0,1} X;$$

GARCH(1;1) для показника доходи/витрати має вигляд:

$$\sigma^2(t) = 0,00002 + 0,00009\varepsilon^2 + 0,99994\sigma^2(t-1);$$

ε^2 - квадрат залишків найкращої моделі - ARIMA(10;0,4;3).

Таблиця 7.9 – Якість прогнозів показника доходи/витрати

	AR(10)	ARMAX(10;3;0)	ARIMA(10;0,4;3)	GARCH(1;1)	МГУА
Коеф. детермінації	0,1172	0,2464	0,8598	0,9999	0,7306
RMSE	0,2383	0,2515	0,3125	0,0001	0,3024
Durbin-Watson st.	2,0443	2,3368	2,0829	0,2604	2,1811
SSE	7,4973	8,3508	12,5985	0,0001	11,9817
MSE	0,0568	0,0633	0,0977	0,0001	0,0915

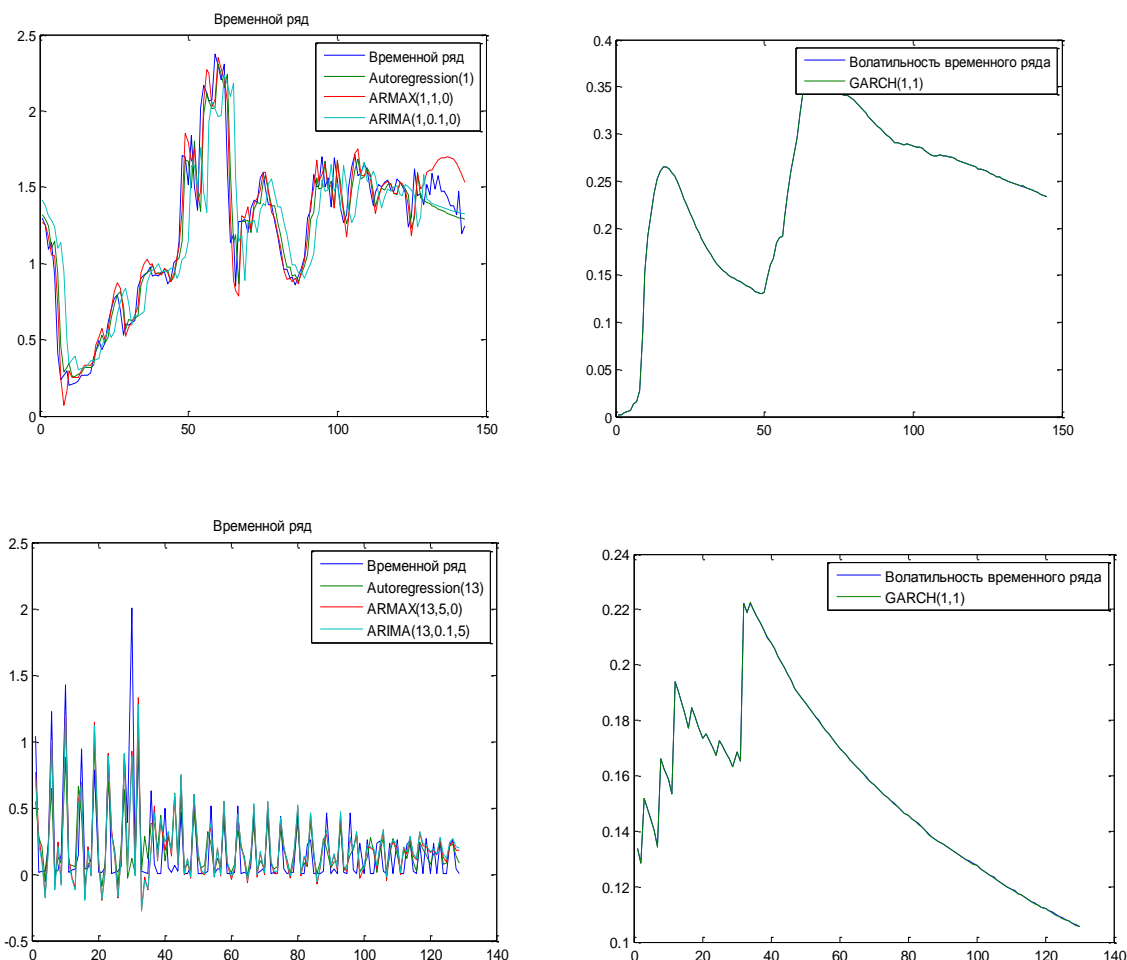


Рис. 7.17 – Прогнозування показника $D*52/V$ (а), прогнозування волатильності показника $D*52/V$ (б)

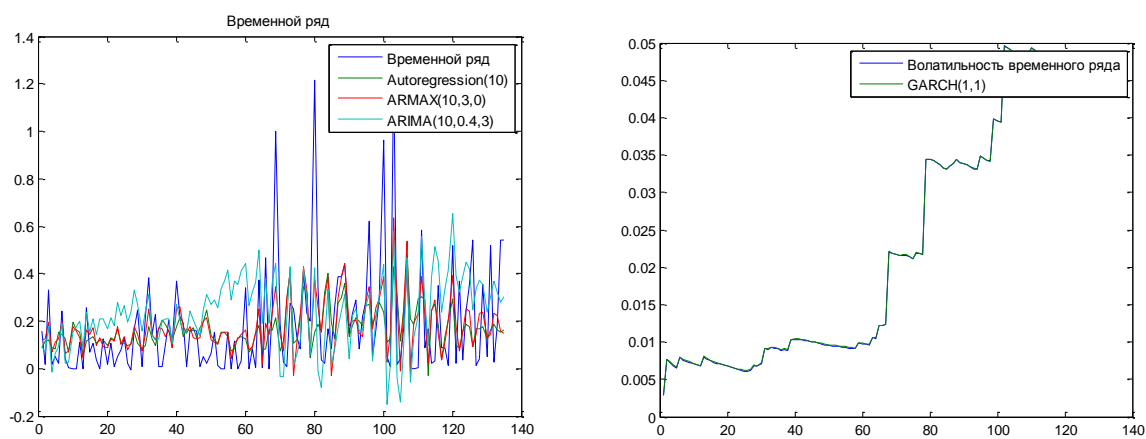


Рис.7.18 – Прогнозування показника доходи/витрати (а), прогнозування волатильності доходи/витрати (б)

Для показників ліквідності, рентабельності та відношення доходів до витрат було обраховано показник Херста .

Таблиця 7.10 – Значення показника Херста

Ліквідність	Д*52/В	Доходи/Витрати
0,6013	0,8864	0,3491

Для показника рентабельності характерна наявність довгострокової пам'яті $H > 0,5$, тобто система не є незалежно розподіленою і проходить відстань більшу, ніж випадкова величина. Показник відношення доходів до витрат – навпаки не має довгострокової пам'яті і проходить відстань меншу, ніж випадкова величина.

Для планування подальшої діяльності підприємства було використано модель у вигляді Байєсівської мережі . Моделювання було здійснено за допомогою Bayesian Network.

Головними критеріями, що визначають поточний рівень розвитку, підприємства теплопостачання, можна назвати: витрати на переобладнання і модернізацію; рівень розвитку підприємства та фінансовий результат діяльності підприємства.

Витрати на переобладнання і модернізацію підприємства визначають рівень розвитку підприємства і можливість працювати в сучасних умовах. Критерій дозволяє оцінити якість матеріальних ресурсів підприємства. Критерій рівня розвитку підприємства визначає ефективність організації підприємства. Фінансовий результат – це найважливіший з інтегральних показників для підприємства. Він формується на основі таких кількісних показників, як доходи і витрати. Інші фактори, це наступні економічні показники: обсяг виробництва; виробничі фонди; невиробничі витрати; собівартість виробництва, чисельність працюючих, продуктивність праці і середня заробітна плата працівників. Ці фактори впливають на всі критерії

розвитку підприємства. При моделюванні враховано такі фактори: продуктивність праці на підприємстві, середня заробітна платня працюючих, чисельність персоналу, виробничі фонди підприємства, невиробничі витрати, обсяг та собівартість надання послуг з виробництва теплової енергії. В термінології вищенаведені показники та інтегральні критерії складають вершини мережі, які позначаються наступним чином:

- продуктивність праці – **ПП**;
- середня заробітна платня працюючих – **СЗП**;
- чисельність працюючого персоналу – **ЧП**;
- виробничі фонди підприємства – **ВФ**;
- невиробничі витрати – **НВ**;
- обсяг виробництва – **ОВ**;
- собівартість виробництва – **С**;
- витрати на переобладнання і модернізацію – **ВПМ**;
- рівень розвитку підприємства – **РРП**;
- фінансовий результат – **ФР**.

Була побудована мережа Байеса, представлена на рис.7.19.

Для кожної вершини визначається множина можливих станів.

Результатом моделювання будуть ймовірності $P(Inc)$ -збільшується та $P(Dec)$ -зменшується, для вершин **ВПМ**, **РРП** та **ФР**.

Визначимо для корневих вершин мережі **ПП**, **СЗП**, **ВФ** і **НВ** значення ймовірностей $P(Inc)=P(Dec)=0,5$. Ініціалізація мережі, тобто розповсюдження по мережі цих ймовірностей, дає такі значення критеріїв

Таблиця 7.11 Поточний стан підприємства

Вершина	ВПМ	РРП	ФР
$P(Inc)$	0,5526	0,5298	0,5105

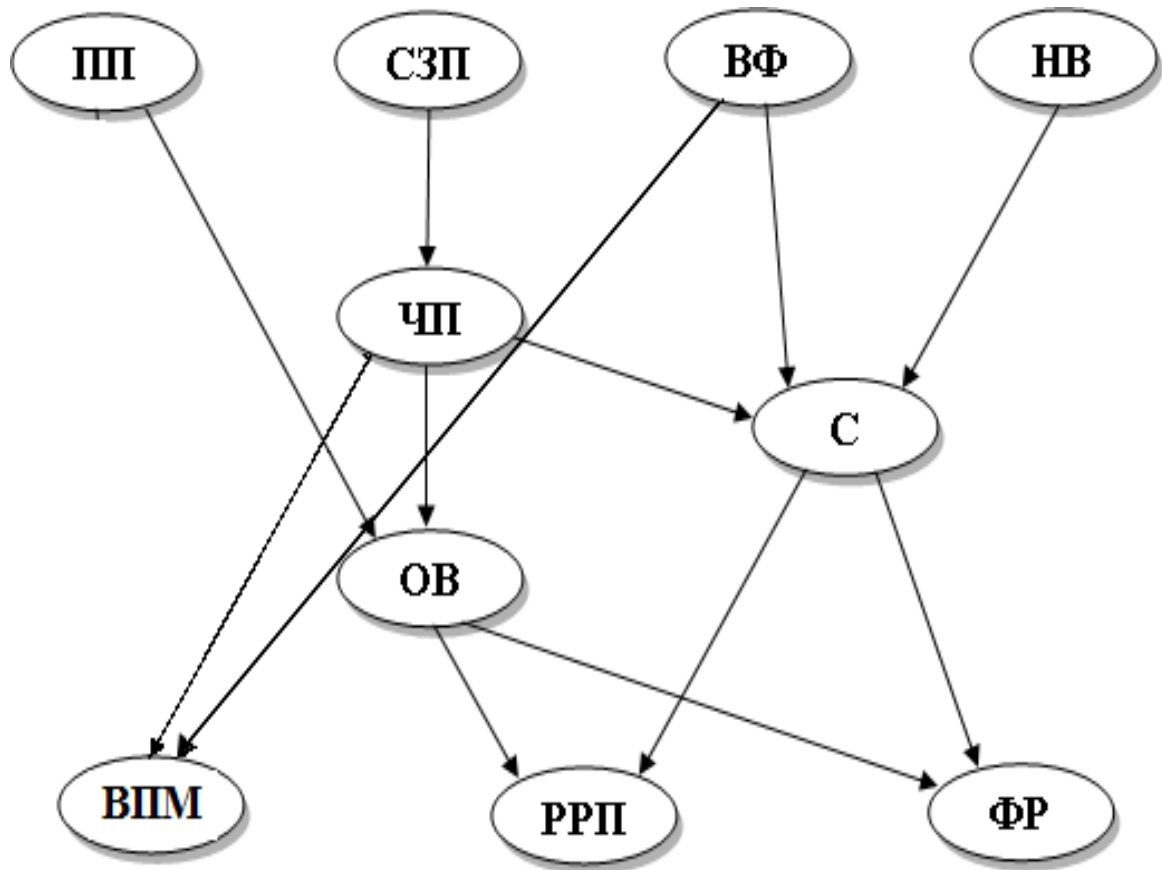


Рис.7.19 Мережа Байеса для моделювання планів розвитку підприємства

Наступним етапом є розробка і моделювання інших планових рішень. У відповідності із розробленою моделлю виділимо три можливих варіанта плану.

План 1: інтенсифікація виробництва.

План 2: впровадження нових технологій.

План 3: модернізація виробництва.

Таблиця 7.12 Результати моделювання на мережі

План	Значення P(Inc) для критерію		
	ВІМ	РРП	ФР
№1	0,5512	0,5622	0,5543
№2	0,5648	0,5401	0,5509
№3	0,5894	0,6045	0,5733

Вибір оптимального плану розвитку підприємства.

Для визначен плану розвитку визначається інтегральний критерій розвитку підприємства для кожного варіанту плану, краще значення якого і визначить оптимальний план.

При моделюванні розглядаються K критеріїв і S стратегій розвитку підприємства. В результаті моделювання кожної стратегії на байєсівській мережі отримані значення ймовірностей збільшення критеріїв p_{ks} , $k=1..K$, $s=1..S$ і відомі початкові значення p_{k0} для поточного стану підприємства. Для кожного плану розраховується зважений показник збільшення критеріїв розвитку підприємства:

$$p_s = \sum_{k=1}^K w_k p_{ks}, \quad s = 0..S,$$

де w_k – коефіцієнт, який визначає важливість збільшення k -го критерію розвитку для підприємства, $\sum_{k=1}^K w_k = 1$. Зважений показник p_s – це величина, яка характеризує ймовірність загального поліпшення рівня розвитку, конкурентоспроможності підприємства при впровадженні s -ого плану. Інтегральний критерій розвитку підприємства може бути знайдений як відношення зваженого показника p_s , $s=1..S$ до показника поточного

стану p_0 : $I_s = \frac{P_s}{P_0}$, $s = 1..S$, і тоді за оптимальний план s^{opt} слід приймати такий, для якого інтегральний критерій розвитку має найбільше значення:

$$s^{opt} = \arg \max_{s=1..S} I_s.$$

В моделі $K = 3, S = 3$, величини $p_{ks}, k = 1..K, s = 1..S$ наведені в табл.7..9, величини p_{k0} – в таблиці. 7.8. Будемо вважати, що на даному етапі розвитку підприємства переобладнання і модернізація, рівень розвитку виробництва і фінансовий результат однаково важливі для керівництва підприємством; тоді $w_1 = w_2 = w_3 = \frac{1}{3}$. Тепер, відповідно до наведених вище формул, отримуємо:

$$P_1=0,5684, P_2=0,5689, P_3=0,5595, P_0=0,5404,$$

$$I_1=1,05, I_2=1,092, I_3=1,073,$$

Отже оптимальною планом розвитку підприємства є план № 2 – впровадження нових технологій.

Таким чином за допомогою апарата ймовірнісного моделювання можливо обирати оптимальний план при плануванні розвитку підприємства.

7.4 Дослідження соціально-економічної ситуації в прикордонному регіоні для планування заходів для розвитку регіону

Дослідження соціально-економічної ситуації в прикордонному регіоні дозволяє планувати розвиток регіону та виявляти проблеми і визначити шляхи їх подолання.

- Задачі : 1. Проаналізувати соціально-економічну ситуацію в регіоні.
2. Визначити головні фактори, які впливають на розвиток ситуації.

3. Видати рекомендації для планування заходів для соціально-економічного розвитку регіону. Роздільнянський район Одеської області на заході межує з Республікою Молдова. Площа 1368 км². Населення 57160 чол. Промисловість - переважно сільське господарство. Задача: Аналіз соціально-економічної ситуації. Для аналізу інформації використовувався метод нечітких когнітивних карт.[89,143] Для моделювання Використано програмний продукт FCN. На рис.7.21 представлена нечітка когнітивна карта для оцінювання соціально-економічної ситуації в прикордонному Роздільнянському районі Одеської області. Список концептів наведено в таблиці 7.12

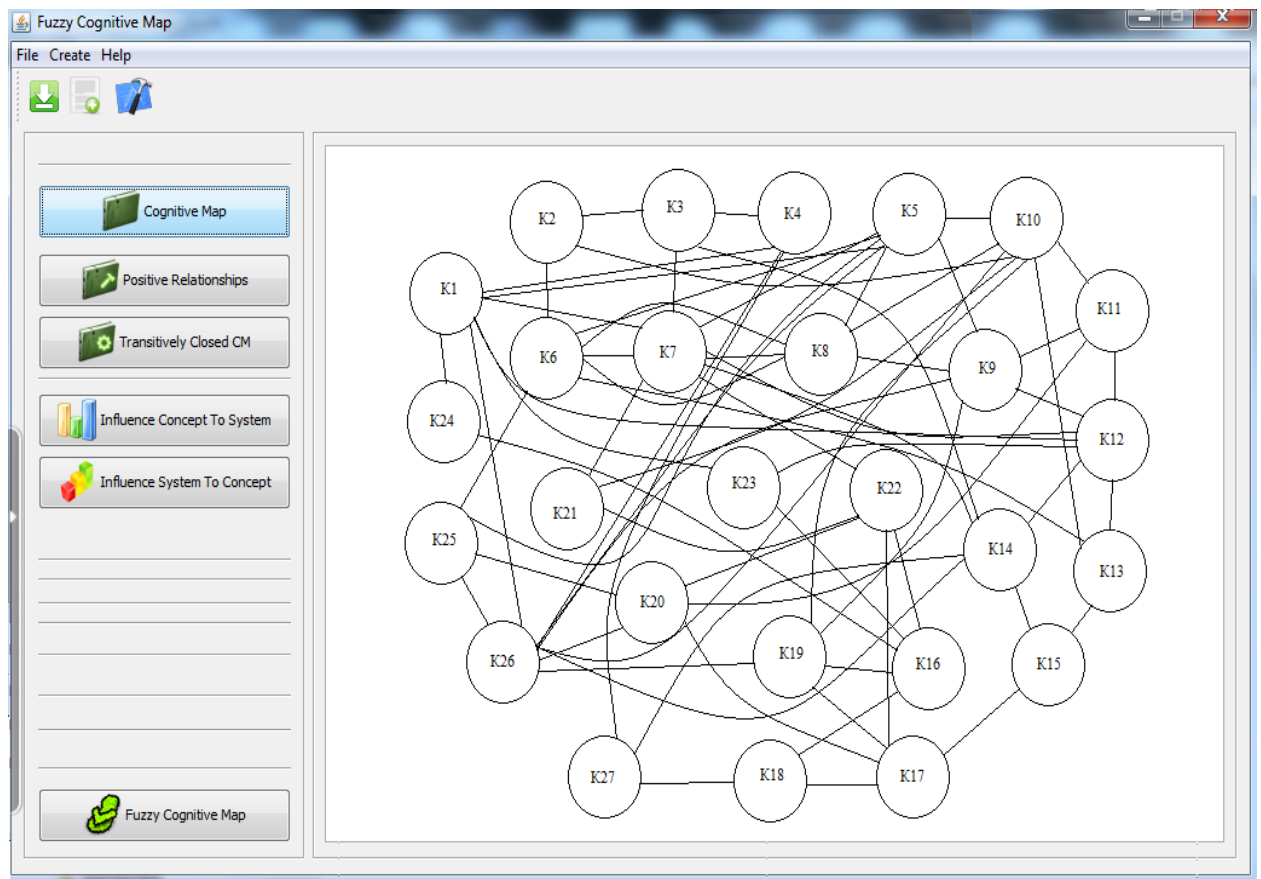


Рис.7.20 Нечітка когнітивна карта для аналізу соціально-економічної ситуації в прикордонному районі

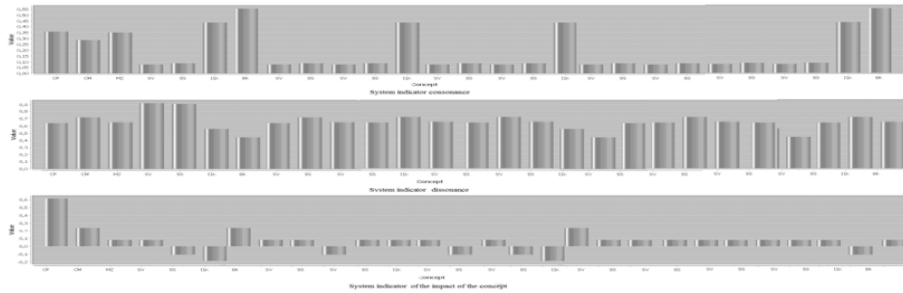


Рис.7.21 Системні показники НКК: консонанс, дисонанс, вплив концептів на систему.

При аналізі когнітивної карти досліджувались системні показники: консонанс і дисонанс, а також вплив системи на концепти і концептів на систему.(рис.7.22)

Найбільш впливовими концептами на стан соціально-економічної ситуації в прикордонному регіоні є K5 – зайнятість населення, K7- трудова міграція населення, вони залежать від концептів: рівень життя (K18), розвиток сільського господарства, як домінуючого в регіоні (K10), економічна ситуація (K26), товарообіг з сусідньою державою (K2), вплив таких концептів таких як K6 - наявність транспортних вузлів, сезонне працевлаштування (K22), розвиток транспортних сполучень (K20), близькість

до великих міст (Одеса) (K12), сезонність (K19) Ці концепти здійснюють найбільший вплив один на окремі концепти та на систему в цілому. Перш за все зазначимо, що найбільший вплив на систему має концепт K18, K10, K5, K7, а найменший вплив на систему має концепт K27-політична ситуація. З цього слід зробити висновок, втрати від міграції населення суттєво впливають на економічну ситуацію, рівень життя, розвиток сільського господарства. Також на ситуацію впливають товарообіг з сусідньою державою та сезонність.

Для побудови планів розвитку регіону необхідно розглядати зміну значень концептів на певних відрізках часу. На основі аналізу змін в часі значень цих параметрів, можливо зробити висновок про динаміку розвитку ситуації.

Таблиця 7.13 Перелік концептів нечітко й когнітивний карт

№ Концепту	Тип Концепту
K1	Населення
K2	Товарообіг з сусідньої державою
K3	Транспортне сполучення з сусідньої державою
K4	Міжнаціональні відносини
K5	Зайнятість населення
K6	Наявність транспортних вузлів
K7	Трудова міграція населення
K8	Працевлаштування
K9	Промисловість
K10	Сільське господарство
K11	Екологічна ситуація
K12	Близькість до великих міст
K13	Товарообіг з центральними районами України
K14	Негативні явища ЗТ'язані з кордоном
K15	Криміногенна ситуація
K16	Трудова міграція за кордон
K17	Трудова міграція із-за кордону
K18	Рівень життя
K19	Сезонність
K20	Розвиток транспортних сполучень
K21	Кліматичні умови
K22	Сезонне працевлаштування
K23	Рівень охорони здоров'я

K24	Освіта
K25	Наявність централізованого постачання
K26	Економічна ситуація
K27	Політична ситуація

Для моделювання оцінки поточного стану розвитку регіону використовується Байєсівські мережі. Побудова моделей на основі Байєсівських мереж здійснювалась в середовищі GeNie 2. 0 та Bayesian Network.

Побудуємо байєсівську мережу бази відповідних концептів.

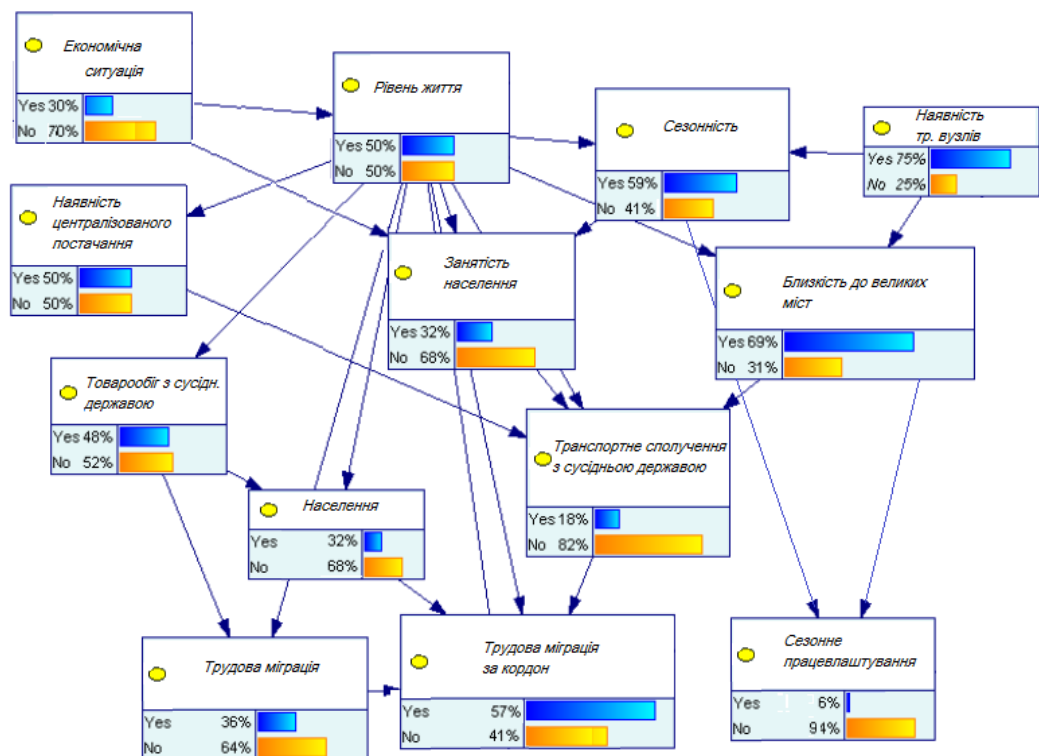


Рис.7.22 Байєсівська мережа для дослідження соціально-економічної ситуації в прикордонному регіоні

В результаті побудована мережа визначає ймовірності можливих наслідків поточної соціально-економічної ситуації в регіоні. Трудова міграція населення в інші міста країни можлива з ймовірністю 37 %, трудова

міграція за кордон можлива з ймовірністю 57% і сезонне працевлаштування з ймовірністю 6%.

7.5 Висновки по розділу 7

1. Показана на ряді прикладів достатня практична ефективність розроблених програмних засобів розв'язання різноманітних прикладних задач планування, прогнозування і прийняття рішень для об'єктів та процесів різної природи.

2. Розглянуто задачу планування розподілу енергоресурсів між споживачами. Показано ефективність використання підходу на основі застосування методів моделювання кольорових мереж Петрі і процедур прийняття рішень на основі багатокритеріальних генетичних алгоритмів.

3. Розглянуто задачу планування маршрутів для БПЛА. Розроблено програмне забезпечення для планування оптимальних маршрутів БПЛА. Для визначення маршруту були використані алгоритм A^* , алгоритми пошуку на графі та генетичний алгоритм.

3. Наведено результати досліджень комунального підприємства. Було виконано прогнозування основних фінансових показників комунального підприємства. Виконано моделювання ймовірностей можливих варіантів планів розвитку підприємства. Моделювання проводилось із використанням мережі Байеса. Це дозволяє будувати варіанти майбутніх планів розвитку підприємства.

4. Розглянуто задачу аналізу соціально-економічної ситуації в прикордонному регіоні. Аналіз проводився за допомогою нечітких когнітивних карт. На основі аналізу системних показників нечітких когнітивних карт виділені ключові концепти, які є головними та впливають на розвиток ситуації. На основі ключових концептів була побудована Байесівська мережа для моделювання соціально-економічної ситуації в

прикордонному регіоні. На основі моделювання можуть бути надані рекомендації для побудови планів розвитку регіона.

6. Розглянуті варіанти розв'язання практичних задач демонструють ефективність застосування методів динамічного планування. Доцільність їх використання пояснюється їх високою гнучкістю, здатністю здійснювати аналіз складної інформації, моделювати та приймати рішення на їх основі, для вирішення завдань динамічного планування.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ І ВИСНОВКИ

На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вирішено важливу науково-прикладну проблему в галузі інформаційних технологій – підвищення ефективності планування і прийняття рішень в системах різного призначення засобами сучасних інформаційних технологій

При цьому отримано такі нові результати:

1. Виконано аналіз сучасного стану досліджень в області динамічного планування та прийняття рішень. Проаналізовано такі сучасні методи планування: стратегічне планування, сценарне та інтелектуальне планування, що дало змогу виявити найбільш загальні задачі і проблеми динамічного планування, а також визначити шляхи їх розв'язання.

2. Розроблено метод синтезу інформаційних технологій для розв'язування задач динамічного планування на основі багатомодельного і багатокритеріального підходів та інтеграції різнотипової інформації, який засновано на системному використанні методів аналізу та інтегрування різнотипної інформації, методів моделювання, методів прогнозування та методів багатокритеріального прийняття рішень. Метод відрізняється можливістю автоматизованого інтегрування інформації, врахування динаміки процесів, що досліджуються.

3. Розвинено метод аналізу інформації в задачах планування на основі нечіткого когнітивного моделювання, який засновано на нечітких когнітивних картах. Він дає можливість дослідити зміни інформації в середовищі, забезпечує необхідну повноту аналізу та забезпечує підвищення якості аналізу експертної інформації за рахунок зменшення суб'єктивності та ітеративного обчислення системних показників.

4. Розроблено метод оцінювання ризиків та невизначеностей у процесі ситуаційного моделювання та при побудові динамічного плану на основі процедури оцінювання і варіантів розвитку ситуації. Метод відрізняється

можливістю врахування невизначеностей та ризиків різних типів і забезпечує підвищення якості остаточних результатів.

5. Розвинено метод ситуаційного моделювання за рахунок використання нечітких ситуаційних мереж з часовими обмеженнями, що забезпечує підвищення адекватності таких моделей для дослідження реальних ситуацій.

6. Розвинено метод побудови динамічних ситуаційних моделей на основі використання кольорових мереж Петрі, який дає змогу створювати ефективні моделі динамічних процесів, та забезпечує підвищення точності ситуаційного моделювання.

7. Розроблено метод прогнозування на основі адаптивного підходу до моделювання і прогнозування з використанням регресійних та ймовірнісно-статистичних моделей у формі мереж Байеса; метод відрізняється врахуванням можливих структурно-параметричних невизначеностей моделей і забезпечує коректний формальний опис причинно-наслідкових зв'язків при розв'язанні задач динамічного планування та надає можливість дослідити динаміку плану, що розробляється.

8. Розроблено метод розв'язування багатокритеріальних задач прийняття рішень, який базується на використанні еволюційних процедур та генетичних алгоритмах. Метод базується на різних підходах до обробки даних, що дало можливість підвищити точність і ефективність прийняття рішень.

9. Розвинено метод ситуаційного моделювання на основі нечітких ситуаційних мереж за рахунок використання часових обмежень, що підвищує точність моделювання і надає можливість коректно враховувати наявні часові ресурси і обмеження в задачах планування.

10. Удосконалено методику розв'язання багатокритеріальних і багатоцільових задач за рахунок використання методу аналізу співвідношень, який забезпечує визначення важливості цілей і підвищує ефективність прийняття рішень;

11. Удосконалено метод прогнозування, який за рахунок використання комбінованих прогнозів і їх оцінювання, характеризується зменшенням обчислювальних ресурсів та алгоритмічної складності процедур їх використання в процесах планування.

12. На основі запропонованих методів, моделей і технологій аналізу даних та експертних оцінок розроблено інструментальні засоби для розв'язання прикладних завдань динамічного планування та прийняття рішень в різних галузях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамов О.В. Прогнозирование состояния технических систем / О.В.Абрамов, А.Н. Розенбаум . – М.: Наука, 1990.- 126с.
2. Айвазян С.А., Прикладная статистика. Исследование зависимостей / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин; Под ред. С.А. Айвазяна.- М.: Финансы и статистика, 1985.- 487с.
3. Айвазян С.А., Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин; Под ред. С.А. Айвазяна.- М.: Финансы и статистика, 1993.- 471с.
4. Айзерман М. А. Выбор вариантов: основы теории / М. А. Айзерман, Ф. Т. Алескеров. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990.—240с.
5. Акофф Р., Планирование будущего корпорации: пер. с англ. / Р.Акофф ; под ред. В.И.Данилова-Данильяна. - М: Прогресс, 1985. - 327с.
6. Актуальність необхідності динамічного планування діяльності підприємств у невизначених умовах / О.В. Кобзій // Економіка промисловості.-2010.-№1.-с. 114-118
7. Александров Е.А. Основы теории эвристических решений. Подход к изучению естественного и построению искусственного интеллекта/ Е.А. Александров. - М.: Сов. радио, 1975. - 25 с.
8. Андерсен Т. Введение в многомерный статистический анализ: пер. с англ. / Т.Андерсен; под ред. Б.В. Геденко.- М.: Физматгиз, 1963.- 500с.
9. Андерсен Т. Статистический анализ временных рядов: пер. с англ./ Т.Андерсен; под ред. И.Г. Журбенко, В.П. Носко.- М.: Мир, 1976.- 755с.
10. Андрейчиков А.В. Анализ, синтез, планирование решений. Учебник для вузов / А.В. Андрейчиков , О.Н. Андрейчикова. – М.: Финансы и статистика, 2001.-267 с.
- 11.Багриновский К .Л . Математика плановых решений / К.Л. Багриновский, В.П.Бусыгин.— М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980.- 224 с.

12. Баклан І.В. Проектування інтелектуальних систем прийняття рішень / І.В.Баклан, П.І.Бідюк, О.В.Нестеренко.- К. НАУ, 2010.-196 с.
13. Батищев, Д.И. Многокритериальный выбор с учетом индивидуальных предпочтений / Д.И.Батищев, Д.Е. Шапошников; Нижний Новгород. ИПФ РАН. 1994.-92 с.
14. Баодин Лю. Теория и практика неопределенного программирования / Лю Баодин.- Москва: Бином, 2005.-416с.
15. Беллман, Р. Принятие решений в расплывчатых условиях/ Р. Беллман, Л.Заде, В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976. С. 172-215.
16. Бендат, Дж. Прикладной анализ случайных данных: пер. с англ. /Дж.Бендат, А.Пирсол, под ред. И.Н. Коваленко.- М.: Мир, 1989.- 540с.
17. Березовский, Б.А. Многокритериальная оптимизация: Математические аспекты / Б.А. Березовский, Ю.М.Барышников, В.И.Борзенко, Л.М.Кемпнер. М:Наука, 1989.-128 с.
18. Бешелев, С. Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич; – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
19. Бешелев, С.Д. Экспертные оценки / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич . – М.: Наука, 1973. – 79 с.
20. Бідюк П.І. Адаптивне прогнозування фінансово-економічних процесів на основі принципів системного аналізу / П.І.Бідюк // Наук. вісті НТУУ «КПІ».-2009.-№5-С.54-61
21. Бідюк П.І. Аналіз ефективності функціонування мережі Байеса / П.І.Бідюк, В.І.Литвіненко, А.В.Кроптя // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2007.-№2.-С.6-15
22. Бідюк П. І. Байєсівське оцінювання параметрів узагальнених лінійних моделей / П. І.Бідюк, О. П. Гожий, Т. А. Торовец // Наукові праці ЧДУ ім.

- Петра Могили :Миколаїв, серія: Комп'ютерні технології.- Вип. 201, Т.213 – с. 6-13
- 23.Бідюк П.І., Ймовірно-статистичні методи моделювання і прогнозування [монографія] / П.І.Бідюк, О.П. Гожий.- Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2014. — 440 с.
- 24.Бідюк П.І. Комп'ютерні системи підтримки прийняття рішень [Текст] : навч. посіб. / П. І. Бідюк, О. П. Гожий, Л. О. Коршевнюк ; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т", Ін-т приклад. систем. аналізу, Чорномор. держ. ун-т ім. Петра Могили. - Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили ; К., 2012. - 379 с.
- 25.Бідюк П.І. Методи прогнозування / П.І. Бідюк, О.С.Меняйленко, О.В.Полловец. Т.1,- Луганськ: Альма-матер, 2008- 301с.
- 26.Бідюк П.І. Моделювання і прогнозування гетероскедастичних процесів / П.І. Бідюк // Системні дослідження і інформаційні технології. – 2004. - №1.- с.115-134.
- 27.Бидюк П.И. Построение и методы обучения байесовских сетей / П.И.Бидюк., А.Н.Терентьев, А.С.Гасанов // Кибернетика и системный анализ.- 2005-№4.-с.133-147.
- 28.Бідюк П.І. Прогнозування волатильності валютного ринку за нелінійними моделями / П.І.Бідюк, О.П.Гожий, М.М.Коновалюк // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» : Львів, - серія «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» - Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2013. – Вип. 751. – С. 257-265.
- 29.Бідюк П.І. Часові ряди: моделювання і прогнозування / П.І.Бідюк, О.І.Савенков , І.В. Баклан.-Київ:ЕКСМО, 2003. -144 с.
- 30.Блюмин С.Л. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности / С.Л. Блюмин, И.А.Шуйкова .- Липецк: ЛЭГИ, 2001 г.- 138 с.

31. Богомолова Е. В. SWOT-анализ: теория и практика применения / Е. В. Богомолова // Экономический анализ: теория и практика. – 2004. – № 17 (32). – С. 57–60.
32. Бодянский Е.В. Интеллектуальное управление технологическими процессами : Монография (Научное издание)/ Е.В. Бодянский , Е.И.Кучеренко, А.И. Михалев , В.А. Филатов, М.М.Гасик , В.С. Куцин : Под ред. А.И. Михалева. -Днепропетровск: Национальная металлургическая академия Украины, 2013, - 213 стр.
33. Борисов А.Н. Обработка нечёткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.Н. Алексеев, Г.В.Меркурьев.- М.: Радио и связь, 1989. 304с.
34. Борисов А.Н. Принятие решений на основе нечётких моделей. Примеры использования. / А.Н. Борисов, О.А.Крумберг, И.П. Федоров . Рига: Зинатне, 1990. — 184с.
35. Борисов В.В. Нечеткие модели и сети / В.В.Борисов, В.В. Круглов, А.С.Федулов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 284 с.
36. Брайсон А. Прикладная теория оптимального управления: пер. с англ. / А.Брайсон, Хо Ю.Ши, под ред. А.М. Летова.- М.: Мир, 1972.- 544с.
37. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем /Н.П. Бусленко. - М.: Наука, 1978. - 399с.
38. Вальд А. Статистические решающие функции : Позиционные игры: пер. с англ / Вальд А.- М.: Наука, 1967.- 522с.
39. Васильев С.Н. Интеллектуальное управление динамическими системами / С.Н.Васильев, А.К.Жерлов , Е.А.Федосов , Б.Е.Федунов. - М., Физматлит. 2002. 352 с.
40. Веников В.А. Теория подобия и моделирование / В.А. Веников. - М.: Высшая школа, 1984. - 439с.
41. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. - М.: Сов. радио, 1972. - 551с.

- 42.Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология / Е.С. Вентцель. - М.: Наука, 1988. - 208 с.
- 43.Вилкас Э. Й. Решения: теория, информация, моделирование / Э. Й. Вилкас, Е. З. Майминас. — М.: Радио и связь, 1981.—328 с, ил.
- 44.Гаврилова Т. А Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский.— СПб: Питер, 2000. — 384 с.
- 45.Галаган М.І. Стратегії планування рішень- Методичний посібник з курсу "Основи проектування баз знань" / М.І. Галаган . - Київ,1999.-95 с.
- 46.Гладков Л.А. Генетические алгоритмы / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В.М.Курейчик.-Москва: Физматлит, 2006.- 320с.
- 47.Геловани В.Л. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды / В.Л. Геловани, А.А. Башлыков, В.Б. Бритков, Е.Д. Вязилов. – М. : Эдиториал УРСС, 2001. – 304 с
- 48.Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций / Ю.Б. Гермейер. - М., Наука, 1971. - 383с.
- 49.Гиг Дж. Прикладная общая теория систем: пер. с англ. / Гиг Дж. - М., Мир, 1981. - 733с.
- 50.Гилл, Ф. Практическая оптимизация : пер. с англ./ Ф. Гилл, У. Мюррей, М.Райт. - М., Мир, 1985. - 509с.
- 51.Гладун В.П. Эвристический поиск в сложных средах / В.П. Гладун .- К., Наукова думка, 1977.-166 с.
- 52.Гладун В.П. Планирование решений / В.П. Гладун.- К.:Наукова думка, 1987.-168 с.
- 53.Глибовець М.М. Штучний інтелект / М.М. Глибовець, О.В. Олецкий. – К.: «КМ Академія», 2002. – 364 с.
- 54.Глушков В.М. Автоматизированная комплексная территориально-отраслевая система планирования (АКТОСП) [Текст] : краткое излож. : [ст.]/ В. М. Глушков. - К., 1978. - 67 с.

55. Глушков В.М. О предсказаниях на основе экспертных оценок [Текст] / В. М. Глушков ; АН УССР, Ин-т кибернетики. - К. : [б. и.], 1968. - 8 с.
56. Глушков В.М. Социально-экономическое управление в эпоху научно-технической революции [Текст] / Глушков В. М. - К. : Ин-т кибернетики, 1979. - 52 с.
57. Гожий А.П. Основные аспекты применения информационных технологий в задачах сценарного планирования / А.П.Гожий // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили : Миколаїв, серія: Комп'ютерні технології.-Вип.148, Т.160 – с.158-167.
58. Гожий А.П. Разработка диагностических систем реального времени в среде CLIPS / А.П.Гожий, И.А.Калинина // Искусственный интеллект . №3 2002. – С. 384 – 392.
59. Гожий А.П. Анализ и систематизация методов выбора в задачах принятия решений / А.П.Гожий // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов.- Выпуск №6 (52). Днепропетровск, 2007- с.49-55.
60. Гожий О.П. Використання методу «патерн» для вирішення задач багатокритеріального вибору та оцінювання / О.П.Гожий // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили : Миколаїв, серія: Комп'ютерні технології.- Вип.104, Т.117 – с.80-87.
61. Гожий А.П. Синергетические аспекты сценарного планирования / А.П.Гожий // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов.- Выпуск № 6 (52). Днепропетровск, 2010- с.49-55.
62. Гожий О.П. Бурлаченко І.І. Застосування еталонного методу агрегування оптимальних оцінок в задачах багатокритеріальної оптимізації / О.П.Гожий, І.І.Бурлаченко // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили : Миколаїв, серія: Комп'ютерні технології.-Вип.121, Т.134 – с.152-161.

- 63.Гожий А.П. Особенности построения информационно-аналитических систем для решения задач сценарного планирования / А.П.Гожий // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов.- Выпуск №3 (74). Днепропетровск, 2011 - с.20-25.
- 64.Гожий А.П. Организация выбора вариантов реинжиниринга информационных систем для предприятия теплоснабжения А.П.Гожий, Л.М.Дихта, Н.Е.Краснов //Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили Миколаїв, серія: Комп'ютерні технології.-Вип.143, Т.130 – с.80-87.
- 65.Гожий А.П. Основные аспекты применения информационных технологий в задачах сценарного планирования / А.П.Гожий // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили :Миколаїв, серія: Комп'ютерні технології.-Вип.148, Т.160 – с.158-167.
- 66.Гожий О.П. Дослідження невизначеностей в задачах сценарного планування / О.П.Гожий // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» : Львів, 2011 - серія «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» - Вип.710, - с.60-64.
- 67.Гожий О.П. Побудова СППР на основі методів багатоцільового прийняття рішень / О.П.Гожий // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» :Львів, 2011 - серія «Інформаційні системи та мережі» - Вип.715, - с.97-104.
- 68.Гожий О. П. Дослідження алгоритмів MOGA і AMGA в задачах багатокритеріальної оптимізації та прийняття рішень / О. П. Гожий, В.О. Дегтярьов, А. М. Пасхін, І. С. Бурлаченко // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили : Миколаїв, серія: Комп'ютерні технології.-2011. – Вип. 161. Т. 173. – с.88-96.
- 69.Гожий О.П. Аналіз ефективності багатокритеріальних генетичних алгоритмів в задачах прийняття рішень / О.П. Гожий, О.О. Маленовський // Вісник Національного університету «Львівська політехніка»

- :Львів, - серія «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» - Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2012. – Вип. 732. – С. 247-260.
- 70.Гожий А.П. Многокритериальные эволюционные методы и алгоритмы в задачах принятия решений сценарного планирования / А.П.Гожий // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов.- Выпуск №2 (79). Днепропетровск, 2012 - с.20-29
- 71.Гожий А.П. Особенности проектирования и реинжиниринга корпоративных информационных систем для предприятий теплоснабжения / А.П.Гожий , Н.А.Краснов // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов.- Выпуск №6 (77). Днепропетровск, 2011 – с.20-29
- 72.Гожий А.П. Разработка фреймворка для решения задач многокритериального анализа и принятия решений / А.П.Гожий, И.А. Кобылинский // Праці Одеського політехнічного університету: Науковий та науково-виробничій збірник. – Одесса, 2013.- Вип. 1(40) -162-169 с.
- 73.Гожий О.П. Довідження ефективності методів аналізу співвідношень привирішенні задач багатокритеріального вибору / О.П.Гожий, І.А.Кобилінський // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов.- Выпуск №2 (85). Днепропетровск, 2013 - с.21-29
- 74.Гожий О.П. Побудова динамічних моделей на основі нечітких когнітивних карт для вирішення задач сценарного планування / О.П. Гожий // Збірник наукових праць «Вісник Львівського державного університету Безпеки Життєдіяльності» - Випуск, №7, Львів, 2013. – с. 13-18
- 75.Гожий О.П. Динамічне планування розподілу ресурсів в автономній енергосистемі / О.П. Гожий , І.О.Калініна, Н.Ю. Андреева // Науково-технічний журнал «Авіаційно-космічна техніка і технологія» - Випуск, №10 (117), Харків, 2014. – с. 131-135

- 76.Гожий О.П. Моделювання розподілу енергетичних ресурсів на основі кольорових мереж Петрі / О.П. Гожий , В.О.Гожий // Науково-технічний журнал «Авіаційно-космічна техніка і технологія» - Випуск, №8 (125), Харків, 2015. – с. 107-111.
- 77.Гожий О.П. Особливості використання нечітких ситуаційних мереж для вирішення задач прийняття рішень/ О.П.Гожий, І.О. Калініна // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили : Миколаїв, серія: Комп'ютерні технології. - Вип. 225, Т.237 – с. 6-13
- 78.Гожий О.П. Підхід до оцінювання ризиків в задачах планування / О.П.Гожий, І.А.Кобилінський, Д.О. Лугінець // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» :Львів, - серія «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» - Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2014. – Вип. 800. – С. 98-105.
- 79.Гожий О.П. Підхід до оцінювання невизначеностей в задачах прогнозування / О.П.Гожий // Электротехнические и компьютерные системы.- № 19(95), 2015. - С. 243-247
- 80.Гожий О.П. Розробка нечітких ситуаційних мереж з часовими обмеженнями для моделювання динамічних систем / О.П.Гожий // Наукові вісті НУ КПІ : -К.: НТУУ «КПІ» № 5, 2015.- с.15-22
- 81.Гожий О.П. Використання поліхроматичних графів в задачах аналізу та моделювання складних систем / О.П.Гожий // В сб. наукових праць міжнародної конференції «Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації»: - Київ-Кам'янець-Подільський. Кам'янець-Подільський державний університет, 2004. - 92-96 с.
- 82.Гожий А.П. Особенности применения индуктивных алгоритмов для построения деревьев решений / А.П.Гожий // ISDMCI'2009.- Евпатория: ХНТУ.-2009 г.- С.282-286.

83. Гожий А.П. Применение метода анализа соотношений для оценивания сценарных альтернатив / А.П.Гожий // ISDMCI'2010.- Евпатория: ХНТУ.- 2010 г.- С.243-245.
84. Гожий А.П. Групповые методы принятия решений на основе экспертных оценок в задачах сценарного анализа / А.П.Гожий // ISDMCI'2008 - Евпатория: ХНТУ.-2008 г.- С.41-45.
85. Гожий А.П. Анализ и классификация многокритериальных моделей выбора в задачах принятия решений / А.П.Гожий // ISDMCI'2007. - Евпатория: ХНТУ.-2007 г.- С.27-31.
86. Гожий А.П. Особенности многомодельного и многокритериального выбора в задачах сценарного планирования / А.П. Гожий // Материалы Четвертой международной научно-практической конференции «Материалы электронной техники и современные информационные технологии» - Кременчук, 2010, с.221-224.
87. Гожий А.П. Классификация информационных ситуаций при многоцелевом принятии решений для решения задач сценарного планирования /А.П.Гожий // ISDMCI'2011.-Евпатория: ХНТУ.-2011 г.- С.282-286.
88. Гожий О.П. Використання багатокритеріальних генетичних алгоритмів для оптимального керування розподілом ресурсів в автономній енергосистемі / О.П.Гожий, І.С. Бурлаченко // ISDMCI'2011.-Евпатория: ХНТУ.-2011 г.- с.337-338
89. Гожий А.П. Применение нечетких когнитивных карт при построении прогнозов развития социально-политических процессов и систем /А.П.Гожий, В.С.Коробов // ISDMCI'2013.- Евпатория: ХНТУ.-2013 г.- С.93-94
90. Гожий А.П. Використання нечітких ситуаційних мереж для вирішення завдань динамічного планування /А.П.Гожий // ISDMCI'2014.- Железный порт: ХНТУ.-2014 г.- С.260-262

91. Гожий А.П. Подход к построению СППР для решения задач прогнозирования / А.П. Гожий // ISDMCI'2015.- Железный порт: ХНТУ.-2015 г.- С.180-181
92. Гожий А.П. Разработка распределенной информационной системы для решения задач планирования / А.П. Гожий // АПИР'12.- Севастополь : СНТУ.- 2012.- с.196-198.
93. Гожий А.П. Применение многоцелевых генетических алгоритмов для принятия решений в задачах сценарного планирования / А.П. Гожий // Труды 4 международной школы-семинара «Теорія прийняття рішень», - Ужгород: УжНУ,- 2012.- с.58-60
94. Давнис В. В. Прогнозные модели экспертных предпочтений: Монография / В. В. Давнис, В. И. Тинякова // Воронеж: Изд-во Воронеж, гос. ун-та, 2005. - 248 с.
95. Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессии / Е.З. Демиденко - М.: Финансы и статистика, 1981. - 302с.
96. Демківський Є.О. Інформаційні технології аналізу і прогнозування нестационарних процесів: Автореф. дис. канд. техн. наук: спец: 05.13.06 - Автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології / Є.О. Демківський; НТУУ «КПІ».-К.,2007.-20 с.
97. Деруссо П. Пространство состояний в теории управления / Деруссо П., Рой Р., Клоуз Ч. - М., Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука». 1970, 620 стр.
98. Дик В.В. Формирование решений и инструментальные среды их поддержки / В.В. Дик. – М.: Финансы и статистика, 2001.
99. Директор С. Введение в теорию систем: Пер. с англ. / С. Директор, Р. Рорер под ред. Н.П. Бусленко. - М.: Мир, 1974. - 464с.
100. Довгий С.О. Методи прогнозування в системах підтримки прийняття рішень: навч. посібник / С.О. Довгий, П.І. Бидюк, О.М. Трофимчук, О.І. Савенков.- К.: Азимут-Україна, 2011.-608 с.

101. Дружинин В.В., Основы военной системотехники / В.В.Дружинин , Д.С.Конторов . - М.: МО СССР, 1983. - 416с.
102. Дружинин В.В., Введение в теорию конфликта / В.В.Дружинин , Д.С.Конторов . - М.: Радио и связь, 1989. - 288с.
103. Дубров А.М. Моделирование рискованных ситуаций в экономике и бизнесе: Учеб. пособие/А.М. Дубров, Б.А. Лагоша, Е.Ю. Хрусталеv; Под ред. Б.А. Лагоши.– М.: Финансы и статистика, 2000.— 176 с.
104. Дьяконов В.П. Математические системы / В.П. Дьяконов // Монитор-Аспект 1993. N2. С. 22-55.
105. Евланов Л.Г. Теория и практика принятия решений / Л.Г. Евланов. - М.: Экономика, 1984.- 166 с.
106. Емельянов С.В., Ларичев О.И. Многокритериальные методы принятия решений / С.В.Емельянов, О.И. Ларичев.- М.: Знание, 1985.-32 с.
107. Ермольев Ю.М. Стохастические модели и методы в экономическом планировании / Ю.М. Ермольев, А. И. Ястремский.-М., Наука.Главная редакция физико-математической литературы, 1979.-234 с.
108. Ефремов Р.Н. Прикладная математика. Вып.3. Методы динамической оптимизации и теории игр / Р.Н. Ефремов, Н.Н.Шестаков, Р.М. Юсупов. - М.: МО СССР, 1978. - 210с.
109. Жлуктенко В. І. Стохастичні процеси та моделі в економіці, соціології, екології: Навч. Посібник / В. І. Жлуктенко, С. І. Наконечний, С. С. Савіна. — К.: КНЕУ, 2002. — 226 с.
110. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М. : Мир, 1976. – 166 с.
111. Зайченко Ю.П. Исследование операций / Ю.П. Зайченко . - Киев: Вища школа, 1999. - 391 с.
112. Згуровский М.З. Принятие решений в сетевых системах с ограниченными ресурсами: Монография / М.З.Згуровский, А.А. Павлов //– К.: Наукова думка, – 2010.– 573 с.

113. Згуровский М.З. Системный анализ: проблемы, методология, приложения / Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. – К.: Наукова думка. – 2005. –743с.
114. Ивахненко А.Г. Самоорганизация прогнозирующих моделей / А.Г.Ивахненко, И.А. Мюллер. — К.: Техника, 1984. —350 с.
115. Ивахненко А.Г.Помехоустойчивое моделирование / А.Г.Ивахненко, В.С. Степашко .— К.: Наук. думка, 1985. — 300 с.
116. Калинин В.Н., Теория систем и управления (структурно-математический подход) / В.Н.Калинин, Б.А. Резников. - Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1978. - 417с.
117. Калинин В.Н. Теория систем и оптимального управления / В.Н.Калинин, Б.А. Резников, Е.И. Варакин . - Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1979. - 319с.
118. Калініна І.О. Врахування компетентності експертів в методах багатокритеріального аналізу в задачах раціонального вибору / І.О.Калініна, О.П.Гожий , Г.О. Мусенко // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили: Миколаїв, серія: Комп'ютерні технології.- Вип.179, Т.191 – с.158-167.
119. Калман Р. Очерки по математической теории систем: пер. с англ. / Р.Калман , П. Фалб, М.Арбиб. под ред. Я.З. Цыпкина. - М.: Мир, 1971. - 400с.
120. Касицкий А.В. Применение теории максимизации математического ожидания к решению задачи разделения смеси гауссиан / А.В.Касицкий, П.И.Бидюк, А.П Гожий / Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 6 (83). – Дніпропетровськ, 2012. – С. 63–71.
121. Катренко А. В. Теорія прийняття рішень : підруч. для студ. вищ. навч. закл. / А. В. Катренко, В. В. Пасічник, В. П. Пасько ; за заг. ред. М. З. Згуровського. – Київ : ВНУ, 2009. – 448 с.

122. Кендалл М., Статистические выводы и связи : пер. с англ. / М.Кендалл, А.Стьюарт , под ред. А.Н. Колмогорова.- М.: Наука, 1973.- 900с.
123. Кини Р., Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения: пер. с англ. / Р.Кини , Х.Райфа .- М.: Радио и связь, 1981. -560с.
124. Клыков Ю.И. Банки данных при принятии решения / Ю.И. Клыков, Л.Н. Горьков. - М.: Сов. радио, 1980. - 208с.
125. Коваленко І.І. Вступ до системного аналізу [Текст] : навч. посібник / І. І. Коваленко [и др.] ; Миколаївський держ. гуманітарний ун-т ім. Петра Могили комплексу "Києво-Могилянська академія". - Миколаїв : Видавництво МДГУ ім. Петра Могили, 2004. - 148 с.
126. Коваленко И.И. Системные технологии генерации и анализа сценариев [Текст] / И. И. Коваленко, А. П. Гожий ; Николаевский гос. гуманитарный ун-т им. Петра Могилы комплекса "Києво-Могилянська академія". - Николаев : Издательство НГГУ им. Петра Могилы, 2006. - 160 с.
127. Коваленко И.И. Методы принятия решений [Текст] : учеб. пособие / И. И. Коваленко [и др.] ; Национальный ун-т кораблестроения им. адмирала Макарова. - Николаев : НУК, 2009. - 178 с.
128. Коваленко И.И. Экспертные оценки в управлении инновационными проектами [Текст] : учеб. пособие / И. И. Коваленко [и др.] ; Национальный ун-т кораблестроения им. адмирала Макарова. - Николаев : НУК, 2007. - 168 с.
129. Комплексование мнений экспертов при экспертной оценке с применением метода анализа иерархий / П.И. Падерно // Человеческий фактор. Проблемы психологии и эргономики. 2007. - №3. - С.122-127.
130. Кондратенко Ю.П. Оптимізація процесів прийняття рішень в умовах невизначеності [Текст] : навч. посіб. для студ. ВНЗ / Ю. П.Кондратенко ; Миколаївський держ. гуманітарний ун-т ім. Петра Могили комплексу "Києво-Могилянська академія". - Миколаїв : Видавництво МДГУ ім. Петра Могили, 2006. - 94 с.

131. Кофман А. Введение в теорию нечётких множеств / А. Кофман. – М. : Радио и связь, 1982. – 432 с.
132. Краснощеков П.С. Принципы построения моделей / П.С.Краснощеков , А.А. Петров - М.: МГУ, 1983. - 208с.
133. Кригер Л. С. Интеллектуальная система поддержки принятия решений при управлении движением общественного транспорта / Л. С. Кригер // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2012. – № 2. – С. 150–155
134. Кригер Л. С. Формализация типовых ситуаций в задачах управления движением общественного транспорта / Л. С. Кригер, И. Ю. Квятковская // Науч.-техн. ведомости Санкт-Петербург. гос. политехн. ун-та. – 2012. – № 3 (150). – С. 106–110.
135. Кузьмин В. В. Построение групповых решений в пространствах четких и нечетких бинарных отношений/ Кузьмин В. В.—М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982.— 168 с.
136. Кутковецкий В.Я. Дослідження операцій: Підручник. Т.2.- Миколаїв. Видавництво МДГУ ім.П.Могили, 2007.-272с.
137. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а Также Хроника событий в Волшебных Странах: Учебник / О. И. Ларичев. - М.: Логос, 2005. - 336 с.
138. Ларичев О. И. Объективные модели и субъективные решения / О. И. Ларичев.- М.: Наука, 1987.
139. Ларичев, О.И. Теория и методы принятия решений / О.И. Ларичев. – М.: Логос, 2000. – 296 с.
140. Ли Р. Оптимальные оценки, определение характеристик и управление: пер. с англ. / Р. Ли, под ред. Я.З. Цыпкина. - М.: Наука, 1966.-176с.
141. Линдгрэн М., Бандхольд Х. Сценарное планирование: связь между будущим и стратегией: пер. с англ. / М.Линдгрэн , Х. Бандхольд . – М.:ЗАО «Олимп-Бизнес», 2009. – 256с.

142. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений / Б.Г.Литвак. – М. : Патент, 1996. – 271 с.
143. Литвиненко В.И. Исследование социологических данных с помощью Байесовских сетей / В.И. Литвиненко, А.П. Гожий // В сб. научных трудов 3-й международной конференции «Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта».-Том 2 ., Евпатория: ХНТУ.-2007 г.- С.128-131.
144. Лобанов А.А. Энциклопедия финанасового риск-менеджмента / А.А.Лобанов, А.В. Чугунов . – М.: Альпина Паблишер, 2003. – 786 с.
145. Лотов А.В. Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие / А.В. Лотов, И.И. Пospelова. – М.:МАКС Пресс, 2008. –197с.
146. Люгер Дж. Искусственный интеллект: стратегия и методы решения сложных проблем / Дж.Люгер . – М. Вильямс, 2003. – 864 с.
147. Малахов Е.В. Моделирование сложноструктурированных предметных областей / Е.В.Малахов.- О: ВМВ, 2013 – 168 с.
148. Мелихов А.Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А.Н. Мелихов, Л.С. Берштейн, С.Я. Коровин. - М.: Наука, Гл.ред. физ.мат. лит., 1990. — 272 с.
149. Милосердов А.А., Герасимова Е.Б. Рыночные риски: формализация, моделирование, оценка качества моделей /А.А. Милосердов, Е.Б.Герасимова . – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та.- 2004. – 116 с.
150. Месарович Д. Общая теория систем: математические основы: пер. с англ. / Д.Месарович, Я. Такахара под ред. С.В. Емельянова. - М.: Мир, 1978. - 312с.
151. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем/ М. Месарович , Д.Мако, И. Такахара.— М.: Мир, 1973. — 344 с.
152. Михалев А.И. Структурный синтез систем управления проектами: учебное пособие / А.И.Михалев, А.И.Алпатов , И.В. Баклан, под ред. А.И.

- Михалева - Днепропетровск: НМетАУ, ИК "Системные технологии", 2013, - 144 стр.
153. Михалев А.И. Компьютерные методы интеллектуальной обработки данных: учебное пособие / А.И.Михалев, Е.А.Винокурова, С.Л. Сотник– Днепропетровск: НМетАУ, ИК "Системные технологии", 2014. – 209 стр.
154. Михалевич В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / Михалевич В.С., Волкович В.Л.- М.: Наука, 1982 - 285 с.
155. Михалевич В.С. Оптимизационные задачи производственно-транспортного планирования. Модели, методы, алгоритмы / В.С.Михалевич, В.А.Трубин, Н.З.Шор. — М.: Наука, 1986. — 260 с.
156. Мишин С. П. Оптимальные иерархии управления в экономических системах / С. П. Мишин.— М.: ПМСОФТ, 2004. — 190 с.
157. Многокритериальные задачи принятия решений / Под ред. Д.М. Гвишиани и С.В. Емельянова. – М.:Машиностроение, 1978. – 192 с.
158. Моисеев Н. Н. Информационная теория иерархических систем // Избранные труды в 2-х томах / Под ред. А. А. Петрова. — М.: Тайдекс Ко, 2003.— Т. 1. Гидродинамика и механика.
159. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н.Моисеев. - М.: Наука, 1981. - 488с.
160. Москвин Б.В. Теория принятия решений: Учебник / Б.В. Москвин. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2005. – 383 с.
161. Мулен Э. Кооперативное принятие решений: Аксиомы и модели: пер. с англ./ Э. Мулен - М.: Мир, 1991, - 464 с.
162. Мышкис А.Д. Элементы теории математических моделей / А.Д.Мышкис. - М.: Физматлит, 1994. - 192с.
163. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных структурах: пер. с англ./ Г. Николис, И. Пригожин. - М.: Мир, 1979. - 327с.

164. Налимов В. В., Логические основания планирования эксперимента / Налимов В. В., Голикова Т. И. 2-е изд., перераб. и доп.- М., «Металлургия», 1980. -152 с.
165. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / пер. с англ.; под ред. Р. Р. Ягера. - М.: Радио и связь, 1986. - 407 с.
166. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В. Д. Ногин, 2-е изд., испр. и доп. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 176 с.
167. Орел С.М. Ризик: основні поняття / С.М. Орел, М. С. Мальований. – Львів, НУ «Львівська політехніка», 2008.– 87с.
168. Орлов А.И. Теория принятия решений. Учебное пособие / А.И.Орлов.- М.: Издательство «Март», 2004. - 656 с.
169. Орлов, А.И. Проверка согласованности мнений экспертов в модели независимых парных сравнений / А.И.Орлов // Труды ВНИИСИ. 1979. – Вып 4: Экспертные оценки в системном анализе . – С. 37-46.
170. Орлов, А.И. Экспертные оценки: Учебное пособие / А.И.Орлов .– М., 2002. – 31с.
171. Основы общей теории систем /А.И. Попов, И.М. Телушкин, С.Н. Бушуев и др. - СПб.: ВАС, 1992. - Часть1 - 248с. Часть 2 - 332с.
172. Основы системного анализа и проектирования АСУ / под ред. А. А. Павлов. – К. : Вища шк., 1991. – 367 с.
173. Павлов А.А. Теленик С.Ф. Информационные технологии и алгоритмизация в управлении / А.А. Павлов , С. Ф. Теленик– К.: Техніка, 2002. — 344 с.
174. Павлов А.А. Информационные технологии и алгоритмизация в управлении /А.А. Павлов, С.Ф. Теленик – К.: Техніка, 2002. — 344 с.
175. Петухов Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов Методология, методы, модели, Ч. I / Г.Б. Петухов – М.: Высш. шк., 1989 – 631 с.

176. Питерсон Д. Теория сетей Петри и моделирование систем: пер. с англ./ Д.Питерсон. - М.: Мир, 1984. - 264с.
177. Поделинская И.А. Стратегическое планирование: Учебное Пособие. / И.А.Поделинская, М.В. Бянкин – Улан-Удэ: Изд-ВоВСГТУ, 2005. - 55 С.
178. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В. Д. Ногин. – Москва: Наука, 1982. –256 с.
179. Поспелов Г. С., Ириков В. А. Программно-целевое планирование и управление / Г. С. Поспелов, В. А.Ириков.- М., «Сов. радио», 1976.- 440 с.
180. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: Теория и практика / Д. А.Поспелов.- М.: Наука.- Гл. ред. физ.-мат. Лит., 1986.-288 с
181. Поспелов Д.А. Большие системы. Ситуационное управление / Д.А. Поспелов. – М. : Знание, 1975. – 64 с.
182. Поспелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления / Д.А. Поспелов. - М.: Энергоиздат, 1981. - 232с.
183. Применение метода SAW для многокритериального сравнительного анализа вариантов риска инвестиций в строительстве / Л. Устинович, З. Турскис, Г.Шевченко //Транспорт и связь. – 2006. – №7. –Часть 3. – с. 459-471.
184. Рао С.Р. Линейные статистические методы и их применение :пер. с англ./ С.Р. Рао, под ред. Ю.В.Линника. - М.: Наука, 1972. - 591с.
185. Рассел С. Искусственный интеллект / С. Рассел, П. Норвиг. – М.: «Вильямс», 2006. – 1408 с.
186. Рингланд Д. Сценарное планирование для разработки бизнес-стратегии : пер. с англ. / Д.Рингланд. – М.: ООО ИД «Вильямс», 2008. – 560 с.
187. Робертс Ф.С., Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам: пер. с англ. / Ф.С.Робертс. -М.: Наука, 1986.

188. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ. / Т.Саати, под ред. Р. Г. Вачнадзе. – М. : Радио и связь, 1993. – 278 с.
189. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т.Саати, К.Кернс. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
190. Саймон Г. Науки об искусственном / Г.Саймон. — М.: Едиториал УРСС, 2004. — 144 с.
191. Самков О.В. Підтримка прийняття рішень в системі управління безпілотного літального апарата / О.В.Самков, В.І.Сілков, О.П.Гожий, О.Є.Мавренков / Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. – Київ, 2013.- Вип.8(15) – с.104-109 с.
192. Салин В.Н., Медведев В.Г. Понятие рисков и управление ими, методология оценки // Вестник ФА, 2004, №3(31) с.26-38
193. Сілков В.І., Система підтримки та прийняття рішень для розробки оптимальних планів польотів безпілотних літальних апаратів / В.І.Сілков, В.І.Самков, О.П.Гожий // Актуальні проблеми розвитку авіаційної техніки. Матеріали науково практичної конференції – Київ: Національний авіаційний університет, 2012.-70-71 с.
194. Силов Б.В. Принятие стратегических решений в нечёткой обстановке /Б.В. Силов. – М. : ИНПРО-РЕС, 1995. – 228 с.
195. Системний аналіз : підручник / А. В. Катренко ; за наук. ред. : В. В. Пасічника. – Л. : Новий Світ-2000, 2009. – 396 с.
196. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. — М.: Высш. шк., 2004 —616 с: ил.
197. Ситник В. Ф. Системи підтримки прийняття рішень: Навч. посіб. / Ситник В.Ф.. — К.: КНЕУ, 2004. — 614 с.
198. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. - М.: Высшая школа, 1985. - 272с.

199. Соложенцев Е. Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике / Е. Д.Соложенцев. – СПб.: Издательский дом .Бизнес-пресса., 2006.— 530 с.
200. Статистические методы в современных условиях: лабораторный практикум / В.П. Бородюк, А.П. Воцинин, А.З. Иванов и др. Под. ред. Г.К. Круга. - М.: Высшая школа, 1983. - 216с.
201. Тарасенко Ф.П. Непараметрическая статистика / Ф.П. Тарасенко. - Томск: Издат-во ТГУ, 1976.-294с.
202. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / Под ред. В.Г.Лазарева. - М.: Радио и связь, 1983. - 248с.
203. Теленик С.Ф. Система управління інформаційно- телекомунікаційною системою корпоративної АСУ/ С.Ф.Теленик, О.І.Ролік, М.М.Букасов, Р.Л. Соколовський // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. —2006. — № 45.— С. 112–126.
204. Теленик С.Ф. Моделі управління розподілом обмежених ресурсів в інформаційно-телекомунікаційній мережі АСУ/ С.Ф.Теленик, О.І.Ролік, М.М.Букасов // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — 2006.— № 44.— с. 234–239.
205. Токарев В.В. Методы оптимальных решений. В 2 т. Т.2. Многокритериальность. Динамика. Неопределенность / В.В.Токарев. — 2-е изд., испр. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 420 с.
206. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений: Научно - практическое издание.Сер.Информатизация России на пороге XXI века / Э.А. Трахтенгерц— М: СИНТЕГ, 1998.— 376 с.
207. Трухаев Р. И. Модели принятия решений в условиях неопределенности / Р. И. Трухаев.- М.: Наука, 1981,- 258 с.
208. Усков А.А., Круглов В.В. Интеллектуальные системы управления на основе методов нечёткой логики / А.А.Усков, В.В.Круглов. - Смоленск: Смоленская городская типография, 2003. -177 с.

209. Фляйшер К. Стратегический и конкурентный анализ. Методы и средства конкурентного анализа в бизнесе / К. Фляйшер, Б. Бенсуссан. – Москва : БИНОМ, 2005. – 541 с.
210. Цурков В.Н. Агрегирование данных при решении динамических задач большой размерности / В.Н. Цурков. - М.: Наука, 1987. - 484с.
211. Черноруцкий И. Г. Методы принятия решений / И. Г. Черноруцкий. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. —416 с : ил.
212. Шендалева, Е. В. Системный анализ. Принятие решений: конспект лекций / Е. В. Шендалева. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – 80 с.
213. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем - искусство и наука: пер. с англ./ Р. Шеннон , под ред. Е.К. Масловского. - М.: Мир, 1978. - 418с.
214. Штоер Р. Многокритериальная оптимизация / Р.Штоер.- М.: Изд. Наука, 1988. - С. 395.
215. Эддоус М. Методы принятия решений : пер. с англ./ М.Эддоус, Р.Стэнсфилд , под ред. член-корр. РАН И.И. Елисейевой. — М.: Аудит, ЮНИТИ, 1997. - 590 с.
216. Яблоков А.И. Методика оцінки та управління валютним ризиком VaR / А.І. Яблоков // Економіко-математичне моделювання соціально-економічних систем.- 2007.- №13.- с.121-128.
217. Aarup M. OPTIMUM-AIV: A knowledge-based planning and scheduling system for spacecraft AIV: In Fox M. and Zweden M. editors, Knowledge Based Scheduling / M.Aarup. – Publisher: Morgan Kaufman, San Mateo, California, 1994.
218. Aguilar J. A Dynamic Fuzzy-Cognitive-Map Approach Based on Random Neural Networks / J.Aguilar // International Journal of Computational Cognition. – 2002. – Vol. 1, № 4. – PP. 91-107.
219. Allen J. Towards a general theory of action and time / J.Allen //Artificial Intelligence . – 1984. –23(2). –PP.123-154.

220. Allen J. Reading in Planning / J.Allen, J.Hendler,A. Tate. – Publisher: Morgan Kaufman. –1990.
221. Anderson C. Coditional effects in Graphplan / C.Anderson, D.Smith, D.Weld // In Proc. 4th Int. Conf.AI Planning System. –1998.
222. Bayardo R. A complexity analysis of space bounded learning algorithms for the constraint satisfaction problem / R.Bayardo // In Proc. 13th National Conf. on AI. – 1996 . – PP.298-303.
223. Bell C. Using temporal constrains to restrict search in planner/ C.Bell, A.Tate // In Proc. Of the Third Alveys IKBS SIG Workshop,Oxfordshire. –1985.
224. Bidyuk P., Gozhiy A., Trofymchuk A., Bidyuk A. DSS for implementing systemic approach to forecasting // International journal of computers & technology.- 2015, vol. 14, no.5. - 5769-5778 p.
225. Bidyuk P., Gozhiy A., Trofymchuk A. Forecasting based on the bayesian type models // International journal of computers & technology.- 2015, vol. 15, no.2.
226. Bidyuk, P.I.,Kuznetsova, N.V. Forecasting the volatility of financial processes with conditional variance models // Journal of Automation and Information Sciences.-2014,
227. Bidyuk P. Information Technologis of Dynamic Planing / P.Bidyuk, O.Gozhyi / COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGIS: Materials of the 9th International Scientific and Technical Conference CSIT 2014. – Lviv: Publishing Lviv Polytechnic, 2014 -118-120 p.
228. Blum A. Fast planning through planning graphanalysis/ A. Blum, M.Furst // Artificial Intelligence. – 1997. – 90. – PP. 281-300.
229. Blum A. Langeford J. Probabilistic planning in the Graphplan framework. /A. Blum, J. Langeford // In AIPS-98 Workshop on Planning as Combinatorial Search. – 1998. – PP.8-12
230. Cassidy A. A practical guide to information systems strategic planning / Anita Cassidy.-- 2nd ed., Taylor & Francis Group. – 2006.- p.395.

231. Chapman D. Planning for conjunctive goals / D.Chapman // Artificial Intelligence. –1987. – 32(3), – PP.333-377.
232. Coello Carlos A. Evolutionare Algorithms for Solving Multi-objective Problems / C.A. Coello, G. Blamont, D.A.van Veldnuizen – Second Edition : Springer. – 2002.
233. Dean T. Planning and Scheduling / T. Dean, S.Kambhampati // In CRC Handbook of Computer Science and Engineering. – 1996
234. Dean T. Planning under time constraints in stochastic domains /T. Dean, L.Kaelbling, J.Kirman, A.Nicholson // Artificial Intelligence. – 1995. – 76. – PP. 35-74.
235. Descotte Y. Making compromises among constraints in a planner /Y. Descotte, J.C. Latombe // Artificial Intellegence. – 1985. – 27. – PP. 183-217
236. Dickerson J.Virtual Worlds as Fuzzy Dynamic Systems / J.Dickerson , B.Kosko // Technology for Multimedia. – New York, IEEE Press: 1998. – P. 567-603.
237. Drabble B. and Tate A. The use of optimistic and pessimistic resource profiles to inform search in an activity based planner / B.Drabble,A. Tate //. In 2nd Int. Conf. on AI Planning Systems. – 1994. – PP. 243-248.
238. Draper D. Probabilistic planning with information gathering and contingent execution / D.Draper,S. Hanks,D. Weld // In Proc. 2nd Int. Conf. on AI Planning Systems. – 1994. – PP. 31-36.
239. Drummond M. Just-In-Case Scheduling / M.Drummond , J.Bresina , K. Swanson // In Proc. 12th National Conf. on AI. –1994.
240. Ernst M. Automatic SAT-compilation of the planning problems / M.Ernst ,T. Millstein, D. Weld // In 15th Int. Joint Conf. on AI. – 1997.
241. Etzioni O. Approach to planning with incomplete information / O.Etzioni, S.Hanks, D.Weld, D.Draper, N.Lesh, M. Williamson // In Proc. 3th Int. Conf. on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. – 1992. – PP.115-125

242. Ferguson G. TRAINS-95: Towards a mixed-initiative planning assistant / G.Ferguson, J.Allen, B. Miller // In Proc.3rd Int.Conf. on AI Planning Systems. – 1996.
243. Fikes R. STRIPS: A new approach to the application of theorem proving to problem solving / R.Fikes, N.Nillsson // Artificial Intelligence.–1971.– V2.– PP.189-208.
244. Ford Jr.L. Network Flow Theory / Jr.L.Ford // Technical Report, Rand Corporation. – 1956.
245. Fuchs J.J.Plan- ERS.1: An expert planning system for generation spacecraft mission plans / J.J.Fuchs, A.Gasquet, B. Olalainty, V.W. Currie // In 1st Int. Conf. on Expert Planning Systems, Brighton. – 1999.
246. Gazen B. Combinning the expressivity of UCPOP with the efficiency of Graphplan / B.Gazen , C. Knoblock // In Proc. 4th European Conf. on Planning. – 1997. – PP. 223-235.
247. Genesereth M. Logical Foundations of AI /M. Genesereth, N. Nillson // Morgan Kaufman. –1987.
248. Ghallab M. Representation and Control in IxTiT, a Temporal Planner / M.Ghallab, H. Laryelle // In Proc.2nd Int. Conf. on AI Planning Systems. – 1994. –PP.61-67.
249. Ghallab M. Automated Planning – Theory and Practice, chapter 7. Elsevier / M.Ghallab, B.Nau, P.Traverso // Morgan Kaufmann. – 2004.
250. Ginsberg M. Approximate planning / M.Ginsberg // Artificial Intelligence. – 1995. – 76. – PP.89-99.
251. Golden K. Leap before you look: information gathering in the PUCCINI planner / K.Golden // In Proc. 4th Int. Conf. on AI Planning Systems. – 1998.
252. Golden K. Representing sensing actions: the middle ground revisited / K.Golden, D.Weld // In Proc. 5th Int. Conf. on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. – 1996. – PP.174-185.
253. Golden R. Conditional linear planning / R.Golden, M. Boddy // In Proc. 2nd

- Int. Conf. on AI Planning Systems. – 1994. – PP.80-85.
254. Goldberg D. Genetic Algorithms in Search / Goldberg D. // Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Pub. Company, Reading,MA. – 1989.
255. Gozhyi A., Burlachenko I., Gromaszek K. Using Multiobjective Genetic Algorithms For Optimal Resource Management In An Autonomous Power System // Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska.- 2012.- (4b).- pp. 48-50
256. Gozhyi A., Kalinina I. Information system for a fuzzy cognitive analysis and modeling // Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska.- 2014.- 4(2).-pp.31-33
257. Gozhyi O. Development of Information System of Fuzzy Cognitive Modeling / O.Gozhyi / COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGIS: Materials of the 8th International Scientific and Technical Conference CSIT 2013. – Lviv: Publishing Lviv Polytechnic, 2013 -118-120 p.
258. Grant Robert M. Contemporary strategy analysis / R.M. Grant.- Blackwell Publishing.- 2005.
259. Green C. C. Theorem proving by resolution as a basis for question answering systems/ C.C.Green // Machine Intelligence. – 4. – 1969. – PP. 383-393.
260. Grünig R. Strategic Planning Process- based / Rudolf Grünig, Richard Kühn .– 6t ed. Springer-Verlag.- 2011- p.305
261. Jorion Ph. Financial risk-management: Second edition / Ph. Jorion .– Hoboken, New Jersey: John Wiley&Sons, 2003.–708p.
262. Joslin D. Passivate and activate decision postponement in plan generation / D.Joslin // Ph.D. dissertation, Intelligence Systems Program, U.Pittsburgh. – 1996.
263. Jared L.Cohon Multiobjective Programming and Planning / L.C.Jared .- Academic press London.– 1978.

264. Kambhampati S. Planning as refinement search: a unified framework for evaluation design tradeoffs in partial order planning / S.Kambhampati, C.Knoblock, Q.Yang // Artificial Intelligence. – 1995. – 76. – PP. 167-238.
265. Karel W. Multi-objective decision making for road design / Karel W., M. Brauers, E. Zavadskas, F. Peldschus, Z. Turskis // – TRANSPORT 2008, – PP.183-193.
266. Kasitskij A., Bidyuk P., Gozhyi A. Effective expectation maximization algorithm implementation using multicore computer systems // Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska .-2014.- 4(4).-pp. 35-37
267. Kautz H. Pushin the envelope: planning, propositional logic, and stochastic search / H.Kautz, B. Selman // In Proc. 13th National Conf. on AI. – 1996.
268. Kautz H. Encoding plans in propositional logic / H.Kautz, D.McAllester, B. Selman // In Proc. 5th Int. Conf. on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. – 1996.
269. Kobylinskyi I., Gozhyi A. The Modeling of Emergencies by Using of Petri Nets // British Journal of Science, Education and Culture, 2014, No.2. “London University Press”. London, 2014. – 358-364 p.
270. Koehler J. Planning under Resource Constraints / J. Koehler // In Proc. 15th European Conf. on AI. – 1998.
271. Koehler J. Solving Complex Planning Tasks Through Extraction of Subproblems / J. Koehler // In AIPS-98 . – PP.62-69
272. Koehler J. Extending planning graphs to an ADL subsrt / J.Koehler, B. Nebel, J.Hoffmann , Y. Domopoulos // In Proc. 4th European Conf. on Planning. – 1997. –PP. 275-287
273. Kondratenko Y.P., Klymenko L.P., Al Zu’bi E.Y.M.. Structural Optimization of Fuzzy Systems’ Rules Base and Aggregation Models // Kybernetes, The International journal of cybernetics, systems and management science, Vol. 42, Iss: 5, 2013, pp. 831-843.

274. Kondratenko Yuriy P., Klymenko Leonid P., Sidenko Ievgen V. Comparative Analysis of Evaluation Algorithms for Decision-Making in Transport Logistics // *Advance Trends in Soft Computing* // M.Jamshidi, V.Kreinovich, J.Kazprzyk (Eds.), Series: Studies in Fuzziness and Soft Computing, Volume 312, 2014, pp. 203-217.
275. Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps / B.Kosko // *International Journal of Man-Machine Studies*. – 1986.– Vol. 11. – P. 65-75.
276. Kushmeric N. An algorithm for probabilistic planning / N.Kushmeric, S.Hanks, D. Weld // *Artificial Intelligence*. – 1995. – 76. – PP.239-286.
277. LaValle S.M. Planning Algorithms / Steewen M.LaValle.– 6t ed. Springer-Verlag. 2011. - p.305
278. Leleur S. Complex Strategic Choices:Applying Systemic Planning for Strategic Decision Making / S. Leleur.- Springer-Verlag London. -2012.- p.176.
279. Leigh D. Chapter 5. SWOT Analysis / D. Leigh // *Handbook of Improving Performance in the Workplace* / ed. by K. H. Silber et al. – John Wiley & Sons, Ltd., 2009. – Vol. 2 – P. 115–140.
280. Long D. Efficient Implementation of the Plan Graph in STAN / D.Long , M.Fox // *In JAIR*.–1998.– V10.– PP.87-115.
281. Lu J., Zhang G., Wu F. Multi-objective group decision making - Imperia; college press.-1989.
282. Majercik S.M. Contingent planning under umertaninty via stochastic satisfability / S.M.Majercik, M.L. Littman // *In AAAI*.- 1999.
283. Majercik S.M. MAXPLAN: a new approach to probabilistic planning / S.M.Majercik, M.L. Littman // *In AIPS*. – 1998. – PP.86-93.
284. McAllester D. Systematic Nonleaner Planning / D. McAllester, D. Rosenblitt // *In Proc. 9th National Conf. on AI*. – 1991. – PP. 634-639.
285. McCarthy J. Formalisation of STRIPS in situation calculus / J. McCarthy – Stanford University. – 1985.
286. Minsky M. Steps toward artificial intelligence / M.Minsky : *In E. A.*

- Feigenbaum and J. Feldman, eds., *Computers and thought*. New York: McGraw-Hill. – 1963 – pp. 406 – 450.
287. Nadel B. Constraint satisfaction algorithms / B. Nagel // *Computational Intelligence*. – 1989. – 5. – PP. 188-224.
288. de Neufville R. S. *Dynamic Strategic Planning for Technology Policy*, MIT Press, Cambridge, MA.- 2008.
289. de Neufville R. S. *Applied Systems Analysis - Engineering Planning and Technology Management*, McGraw-Hill, New York, NY.-1990.
290. Nijkamp P. *Interactive multiple goal programming* / P. Nijkamp. – F. University, A. Spronk: Rotterdam Preliminary and Confidential Research Memorandum . – 1978.
291. Nilsson N. J. *Artificial Intelligence: A New Synthesis* / N. J. Nilsson. – Morgan Kaufmann, San Francisco, CA . – 1998.
292. Penberthy J. *Planning with continuous change* / J.Penberthy: Ph.D. dissertation 93-12-01, Dept. of Computer Science and Engineering, U. Washington. – 1993.
293. Penberthy J. *Temporal planning with continuous change* / J.Penberthy, D.Weld // In Proc. 12th National Conf. on AI. –1994. – PP.1010-1015.
294. Penberthy J. UCPOP: A sound, complete, partial order planner for ADL. / J.Penberthy, D.Weld // In Proc. 3th Int. Conf. on Principles of Knowledge Representation and Reasoning. – 1992. – pp. 103-114
295. Peot M. and Smith D. *Conditional Nonlinear Planning* / M.Peot, D. Smith // In Proc. 1st Int. Conf. on AI Planning Systems. – 1992. –pp.189-197
296. Pillkahn U. *Using Trends and Scenarios as Tools for Strategy Development* / U. Pillkahn.- Erlangen: Publicis Corporate Publishing.- 2008.
297. Pryor L. *Planning for contingencies: a decision-based approach* / L.Pryor, G. Collins // JAIR 4. – 1996. – PP. 287-339
298. Puterman M. *Markov Decision Processes: Discrete Stochastic Dynamic Programmin* / M.Puterman .- John Wiley & Sons. – 1994.

299. Ranking Efficient Units in DEA by Using TOPSIS Method / F. Hosseinzadeh Lotfi, R. Fallahnejad and N. Navidi // *Applied Mathematical Sciences*. 2011.– Vol. 5, – 17. –pp. 805 – 815.
300. Sacerdoti E.D. The nonlinear nature of plans./ E.D.Sacerdoti // *In Proc. Of IJCAI Tbillisi, Georgia. -1975.- p.208-214.*
301. Sadjadi S.J. A Multi-Objective Decision Making Approach for Solving Quadratic Multiple Response Surface Problems / S. J. Sadjadi, M. Habibian, V. Khaledi // - *Int. J. Contemp. Math. Sciences*, Vol. 3– 2008. – №32, – PP. 1595 – 1606
302. Simple Additive Weighting approach to Personnel Selection problem / Alireza Afshari, Majid Mojahed , Rosnah Mohd Yusuff // *International Journal of Innovation, Management and Technology*, Vol. 1, No. 5, – 2010, –pp.511-16.
303. Simerson, Byron K. Strategic planning: a practical guide to strategy formulation and execution / B. K. Simerson. - Santa Barbara, California.- 2011.
304. Smith D. Conformant Graphplan / D.Smith, D.Weld // *In Proc. 15th National Conf. on AI. – 1998.*
305. Smith D. Temporal planning with mutual exclusion reasoning / D.Smith, D.Weld // *In 16th Int. Joint Conf. on AI. –1998.*
306. Smith S. Slack-based heuristics for constraint satisfaction scheduling / S.Smith, C.Cheng // *In Proc. 11th National Conf. on AI. – 1993.*
307. SWOT analysis method and examples, with free SWOT template. The origins of the SWOT analysis model. – Режим доступа: <http://www.businessballs.com/swotana-lysisfreetemplate.htm>
308. Tate A. Generating project networks / A.Tate // *In Proc. Of IJCAI.- Cambridge, Massachusetts 1977.- p.888-893.*
309. Tate A. Interacting goals and their use / A.Tate // *In Proc. Of IJCAI Tbillisi, Georgia. -1975.- p.215-218,*
310. Tate A. Generating Project Networks / A.Tate // *In Proc. 5th Int. Joint Conf. on AI, 1977.-pp. 888-893.*

311. Treat J. A. Dynamic competitive simulation: war gaming as a strategic tool / J.Treat, G.Thibault, A. Asin, // Strategy and Business, Second Quarter.- 1996.- pp 46-57.
312. Vere S. Planning in time: windows and durations foe activities and goals / S.Vere // Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1983.- 5- pp. 246-267.
313. WARPLAN: a system for generating plans. Departament of Computational logic, MEMO 76: University of Edinburg, Edinburg, Scotland.- 1974.
314. Weld D. Recent advances in AI planning / D.Weld // In IA Magazine, 1999.- 20(2).-pp 93-123.
315. Weld D. An introduction to least commitment planning / D.Weld // In AI Magazine, 1994.- 15(4). - pp.27-61
316. Weld D.Extending Graphplan to handle uncertainty & sensing actions / D.Weld , C.Anderson, D. Smith // In Proc. 15th National Conf. on AI.- 1998.
317. Wilkins D. Can AI planners solver practical problems? / D.Wilkins // Computational Intelligence.- 1990.- 6(4). - pp.232-246
318. Wilkins D. Practical Planning: Extending the AI Planning Paradigm / D.Wilkins // Morgan Kaufman, San Mateo, California.- 1988.
319. Wittmann, Robert G. Strategic planning : how to deliver maximum value through effective business strategy / Robert G Wittmann Matthias P Reuter.- Kogan Page.- 2008.- p.193.
320. Wolfman S. Combining Linear Programming and Satisfiability Solving for Resource Planning/S.Wolfman,D.Weld.-Knowledge Engineering Review.-1999
321. Zadeh L.A. Fuzzy Sets / Information and Control. 8(1965).- pp.338-353
322. Zadeh L.A. Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic / L.A. Zadeh // Fuzzy Sets and Systems. – 90 (1997). – pp.111-127.
323. Zitzler E. Multiobjective evolutionary algorithms: A comparative case study and the strength pareto approach / E. Zitzler , L. Thiele. // IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 3(4).- 1999.- pp. 257–271.

ДОДАТОК А

Процедура побудови мережі Байеса.

Крок 1. Редукція (скорочення) розмірності задачі моделювання, що виконується за відомими методами. У загальному випадку при зростанні кількості змінних і параметрів кількість сесій оцінювання цих змінних і параметрів зростає експоненційно, тому скорочення кількості змінних і параметрів надає можливість суттєво спростити розв'язання задачі. Для розв'язання задачі редукції можна скористатись такими методами: метод головних компонентів (МГК); факторний аналіз; багатовимірне шкалювання (БВШ); методи навчання на нелінійних структурах, наприклад локальне лінійне занурення та інші.

Крок 2. Оцінювання структури. Більшість відомих алгоритмів оцінювання структури і параметрів ймовірнісних моделей, а також формування висновку на їх основі ґрунтуються на дискретних даних. Тому на цьому кроці може виконуватись масштабування розподілів даних з метою їх приведення до зручної для подальшого використання форми і дискретизація неперервних змінних. «Нестандартні» розподіли, наприклад розподіли з явно вираженою асиметрією, масштабують шляхом логарифмування або перетворення за методом квадратного кореня з метою наближення до розподілів відомих форм. Очевидно, що при цьому втрачається первісний масштаб даних, що необхідно враховувати у подальшій інтерпретації результатів оцінювання структур і параметрів моделей.

Розмір вибірки даних може накладати обмеження на кількість інтервалів, а також на кількість параметрів, які необхідно оцінити. Очевидно, що значення вибірки повинні бути представлені у кожному інтервалі. Кількість інтервалів бажано скорочувати, оскільки це дає можливість зменшити кількість оцінюваних параметрів. Так, якщо мережа складається з десяти бінарних змінних і кожна змінна має в середньому три батьківських вузли, то для такої мережі необхідно оцінити близько $10 \cdot 2^3 = 80$ параметрів. Якщо ж мережа складається з тернарних змінних (кожна змінна має три стани), то для неї необхідно оцінити $10 \cdot 3^3 = 270$ параметрів.

Більшість алгоритмів оцінювання структури і параметрів мережних моделей дають кращі результати за умов відсутності пропущених значень, тобто відсутності інтервалів з пропущеними значеннями. Відсутність пропусків дає можливість застосовувати для оцінювання параметрів відносно простий метод максимальної правдоподібності, а не складний в реалізації метод максимізації математичного сподівання.

Крок 3. Формулювання семантичних обмежень. У процедурі пошуку кращої структури мережі необхідно задавати контекстно-спрямовані семантичні обмеження, які обмежують область пошуку структур; ця рекомендація стосується процедур пошуку будь-якого типу (тобто повного і неповного перебору). Оскільки розмірність простору пошуку експоненційно зростає при збільшенні кількості змінних моделі, то повний перебір практично неможливий. Так, для трьох змінних простір пошуку мережних структур обмежений 25 спрямованими ациклічними графами (11 еквівалентних марковських класів), а для 10 змінних це число зростає до $3 \cdot 10^{17}$ ($1 \cdot 10^{17}$ еквівалентних марковських класів). Семантичні обмеження дають можливість скоротити простір пошуку тільки тими структурами мереж, які узгоджуються з часовими прецедентами або іншими вимогами залежності між змінними. Обмеження простору пошуку автоматично скорочує час, необхідний для обробки даних.

Прийнятне підґрунтя для формулювання семантичних обмежень надають базисна теорія каузальних структур і оцінки досвідчених експертів. У процесі побудови моделей необхідно, як мінімум, враховувати часові прецеденти взаємодії змінних між собою і при цьому не вносити значного зміщення у процес пошуку структури моделі. Семантичні обмеження сприяють скороченню кількості структур, які можна реалізувати, і підвищують ймовірність побудови раціональної структури. Раціональне використання знань стосовно

предметної області (особливо при моделюванні об'єктів великої розмірності) дає можливість значно скоротити кількість можливих комбінацій вузлів, не знижуючи при цьому якість висновку, який формується на основі побудованої моделі [21,23].

Крок 4. Вибір структур моделей-кандидатів. На цьому кроці із множини можливих структур моделей необхідно вибрати декілька кращих моделей-кандидатів за допомогою відповідних критеріїв якості та оцінити їх параметри. Пошук виконується за евристичними алгоритмами з використанням скорингових функцій (СФ), які дають можливість виконати порівняльний аналіз побудованих графічних моделей. Результатом використання кожної комбінації скорингової функції, алгоритму пошуку структури та відповідної вибірки даних є модель-кандидат, тобто мережа визначеної структури. Таким чином, задача оцінювання структури є оптимізаційною завдяки застосування комбінації скорингової функції та евристичного алгоритму. Метою розв'язання цієї оптимізаційної задачі є оцінювання структури спрямованого ациклічного графа \mathbf{G} у просторі допустимих структур Ω^G , який мінімізує значення скорингової функції і відповідає навчальним даним \mathbf{D} .

За скорингову функцію природно використати апостеріорний розподіл ймовірностей

$$P(\mathbf{G} | \mathbf{D}, \Theta) \propto P(\mathbf{D} | \mathbf{G}) \cdot P(\mathbf{G}),$$

але обчислення точних значень цієї функції навіть для мереж невеликої розмірності потребує значних обчислювальних витрат. Тому при оцінюванні розподілу $P(\mathbf{G} | \mathbf{D})$ роблять спрощення, наприклад, стосовно типу розподілу. Так, у роботі [22] запропоновано алгоритм K2, для реалізації якого прийнято рівномірний апіорний розподіл для $P(\mathbf{G})$, а маргінальна правдоподібність $P(\mathbf{D} | \mathbf{G})$ розраховується з використанням спряженого розподілу Діріхле для параметрів мережі. Процедура ґрунтується на алгоритмі „жадібного” пошуку локального екстремуму і такому упорядкуванні структури мережі, що для кожної змінної X_i додається батьківський вузол, який найбільше впливає на збільшення значення скорингової функції. Ця процедура повторюється для кожної змінної X_i до тих пір, поки не припиниться збільшення значення скорингової функції або кількість параметрів змінної X_i не перевищить заданий поріг.

Просту апроксимацію апостеріорного розподілу ймовірностей мережі забезпечують інші скорингові функції, зокрема, байєсівський інформаційний критерій (БІК) представляє собою оцінку маргінальної правдоподібності моделі на великих вибірках. Необхідно зазначити, що для отримання апроксимації прийнятної якості не потрібні великі вибірки; крім того, у даному випадку не потрібно задавати апіорний розподіл для параметрів.

Скорингова функція info-geo – це модифікація байєсівського інформаційного критерію, яка має вигляд :

$$Ig = -\log P(\mathbf{D} | \hat{\Theta}) + \frac{|\Theta|}{2} \log \frac{N}{2\pi} + \log \int (\det \mathbf{I}(\Theta))^{1/2} d\Theta,$$

де перший член представляє логарифм правдоподібності з використанням оцінок $\hat{\Theta}$, отриманих за методом максимальної правдоподібності; другий член – це міра складності моделі, яка визначається кількістю її параметрів; останній член, який включає детермінант інформаційної матриці Фішера $\mathbf{I}(\Theta)$, інтерпретується як міра „геометричної” складності. Перші два члени функції info-geo відповідають БІК з від'ємним знаком.

Відомою мірою навчання є так званий опис мінімальної довжини (ОМД). Згідно з теорією кодування Шеннона, якщо відомий розподіл $P(X)$ випадкової величини X , то довжина оптимального коду для передачі значення x через канал зв'язку прямує до $L(x) = -\log P(x)$. Ентропія джерела $S(P) = -\sum_x P(x) \cdot \log P(x)$ представляє собою мінімальну очікувану довжину закодованого повідомлення. Будь-який інший код, який ґрунтується на некоректному представленні джерела повідомлень, призведе до повідомлення

більшої довжини. Іншими словами – чим краща модель джерела, тим компактнішими можуть бути закодовані дані.

В задачі навчання мережі джерелом інформації є деяка невідома функція розподілу $P(D|h_0)$, де $D = \{d_1, \dots, d_N\}$ – дані; h – гіпотеза стосовно ймовірнісної природи даних. Якщо ввести функцію емпіричного ризику, $L(D|h) = -\log P(D|h)$, який пропорціональний емпіричній похибці оцінювання розподілу, то різниця між $P(D|h_0)$ і модельним розподілом $P(D|h)$ за мірою Кульбака-Лейблера визначається так:

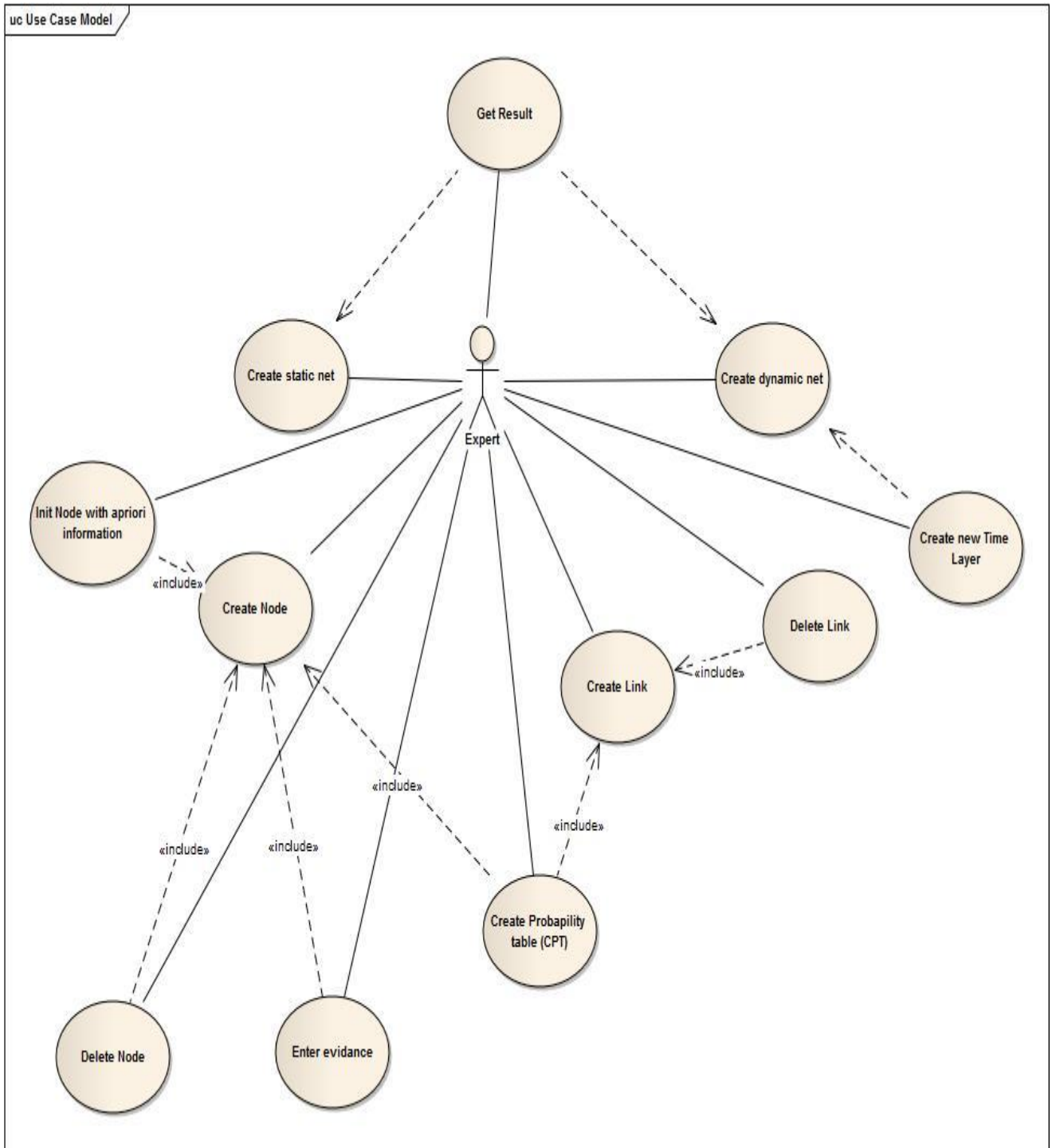
$$|P(D|h) - P(D|h_0)| = \sum_D P(D|h_0) \cdot \log \frac{P(D|h_0)}{P(D|h)} = \sum_D P(D|h_0) \cdot |L(D|h) - L(D|h_0)| \geq 0.$$

Тобто ця міра представляє собою різницю між очікуваною довжиною кодування (за висунутою гіпотезою) та мінімально можливою. Ця різниця завжди невід'ємна і дорівнює нулю тільки при повній збіжності двох розподілів. Принцип ОМД у загальному формулюванні означає, що з множини моделей необхідно вибрати ту, яка дає можливість описати дані з максимальною компактністю і без втрати інформації.

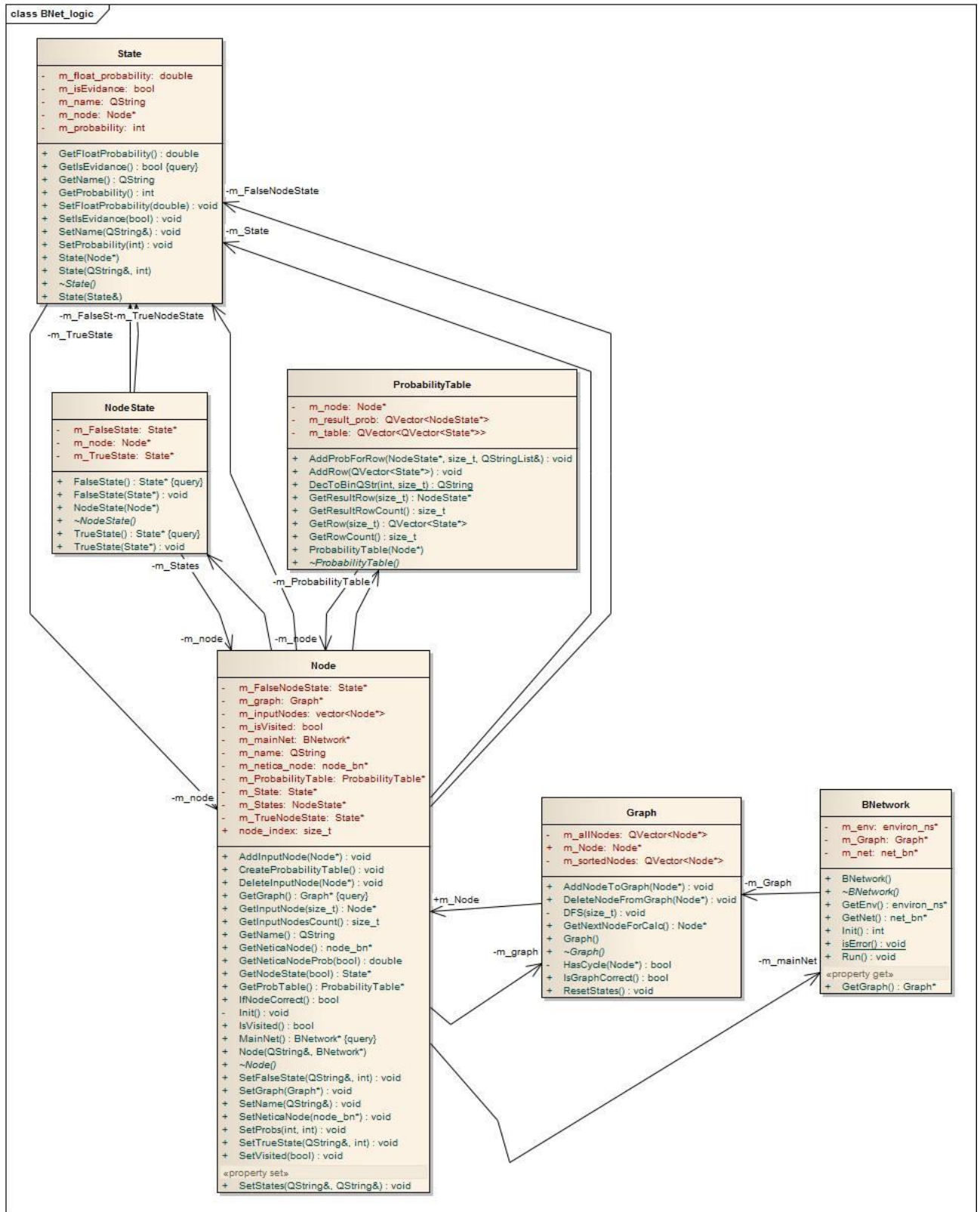
Для пошуку глобального оптимуму можна застосувати генетичний алгоритм або пошукові методи Монте-Карло для марковських ланцюгів [46]. Так, за алгоритмом моделювання відпалювання кожна мережна структура інтерпретується як стан марковського ланцюга. На кожному кроці пошукової процедури алгоритм примушує (збурує) мережу переходити від одного стану марковського ланцюга до іншого. При цьому збурення мережі реалізується за допомогою трьох операцій: додавання дуги, вилучення дуги або зміна напрямку дуги на протилежний. Ці операції дають можливість створювати множину потенціальних мережних структур, з яких випадково вибирається одна для дослідження за вибраною СФ. Таким чином, алгоритм пошуку вибирає мережі з покращеними значеннями скорингових функцій для подальшої обробки і вилучає з подальшого розгляду мережі із малими значеннями СФ за деякими скінченими ймовірностями. При цьому простір пошуку звужується шляхом вилучення ациклічних структур і застосуванням семантичних обмежень. Цей алгоритм вимагає більших обчислювальних витрат ніж алгоритм „жадібного” пошуку, але він характеризується високою ймовірністю збіжності до глобального максимуму.

Крок 5. На цьому етапі виконується **порівняння характеристик ймовірнісних моделей-кандидатів з метою вибору кращої для опису досліджуваного процесу**. Для оцінювання якості моделей такого типу застосовують критерії точності прогнозування з використанням наявних даних для тестування. Якщо модель будується для розв'язання задач класифікації, то для оцінювання їх якості обчислюють усереднену зважену корисність (або вартість), отриману за допомогою їх ймовірнісних прогнозів. Такий підхід застосовують у випадках, коли можна отримати інформацію стосовно вартості можливих втрат від некоректної класифікації або корисності, досягнутої завдяки правильній обробці даних. Цілком прийнятною метрикою для порівняння істинного спільного розподілу ймовірностей (він завжди невідомий) з його оцінкою є відстань Кульбака-Лейблера, яку можна розглядати як деяку стандартизовану оцінку якості побудованої моделі, у тому числі байєсівської мережі.

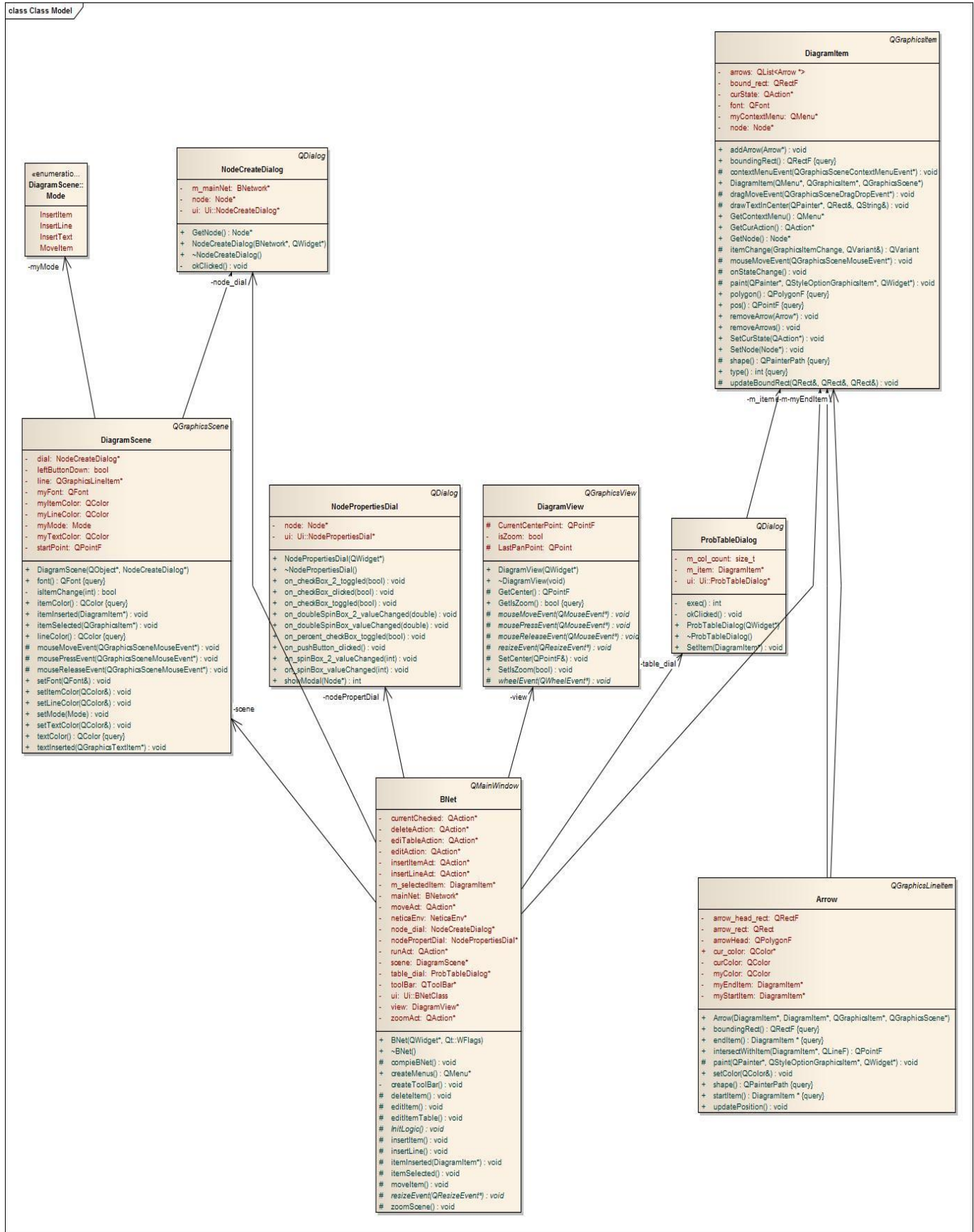
Система моделювання на основі байесівської мережі



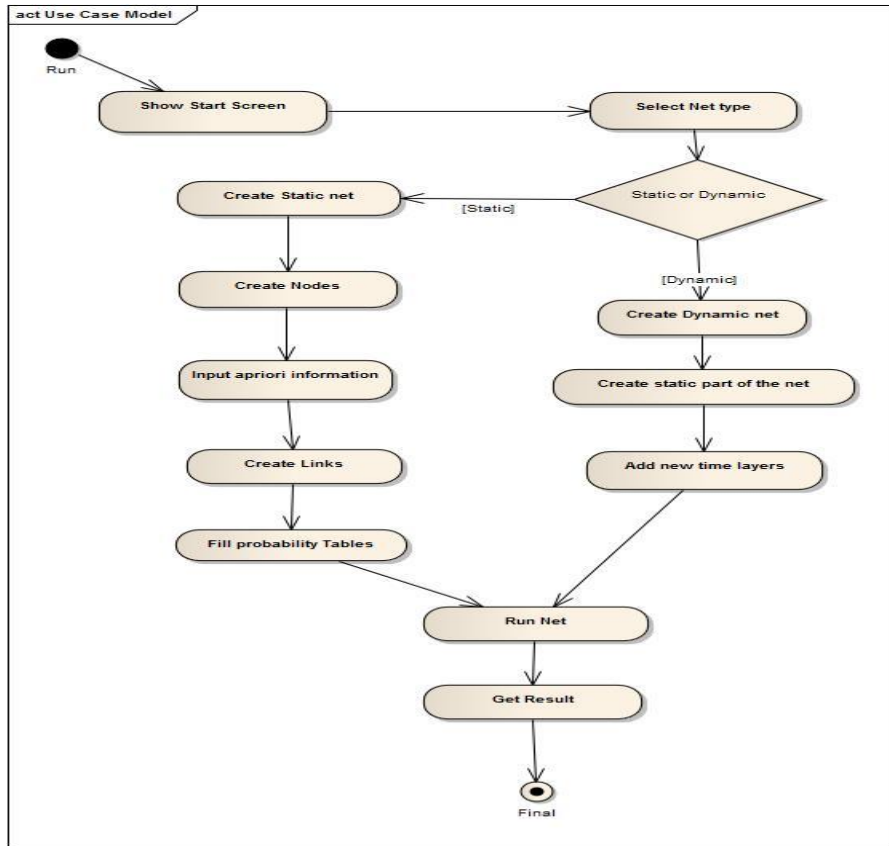
Usecase Diagram



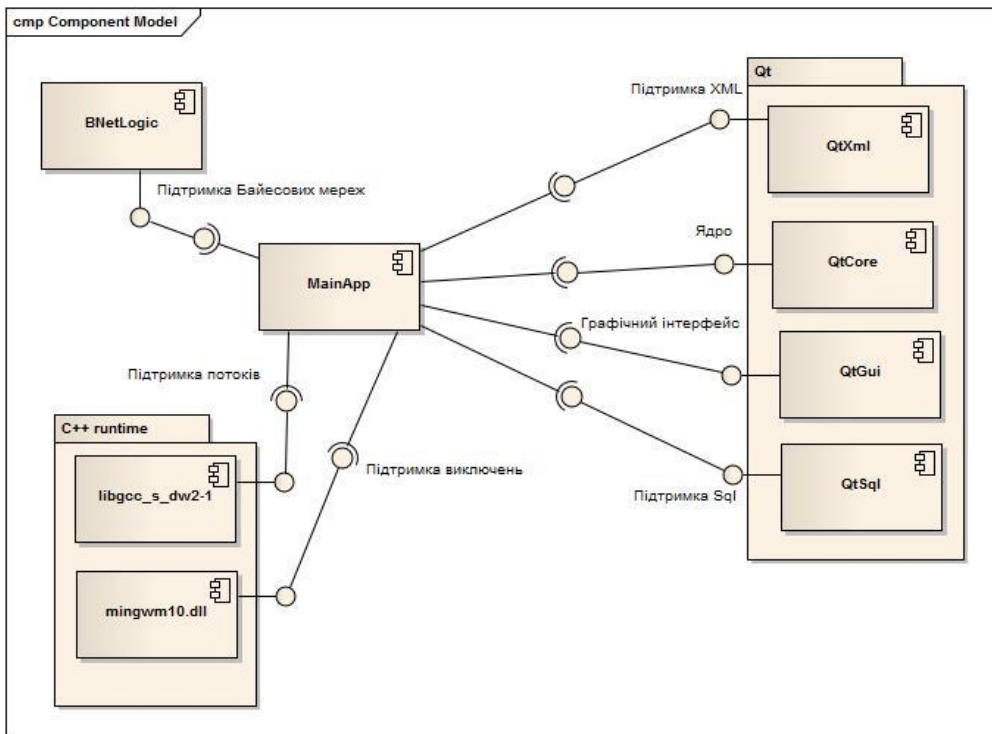
Class Diagram для бібліотеки Bnet_Logic.dll



Class Diagram для додатку



Діаграма діяльності



Component Diagram

ДОДАТОК Б

Оцінювання якості моделей прогнозу та якості прогнозу.

Якість моделі оцінюють за допомогою декількох статистичних критеріїв якості, зокрема таких: коефіцієнт множинної детермінації (R^2), який характеризує інформативність моделі по відношенню до інформативності даних; статистика Дарбіна-Уотсона (DW), яка визначає ступінь автокорельованості похибок моделі; інформаційний критерій Акайке (AIC) і статистика Байєса-Шварца (BSC); сума квадратів похибок моделі ($\sum e^2(k)$); F – статистика Фішера. [23,25]. Для визначення кращої моделі прогнозування використовується інтегральний критерій якості:

$$IK = e^{1-R^2} + \frac{SSE}{N} + \left\{ \begin{array}{l} \ln(AIC + BSC), \text{ якщо } AIC + BSC > 0 \\ e^{AIC+BSC}, \text{ якщо } AIC + BSC \leq 0 \end{array} \right\} + e^{2-DW} + \\ + \ln(SKП) + \ln(CAПП) + e^U$$

де $SKП$ – середньоквадратична похибка прогнозу на навчальній вибірці; $CAПП$ – середня абсолютна похибка прогнозу в процентах; U – коефіцієнт Тейла (наближається до нуля, якщо модель придатна для прогнозування).

Якість оцінок прогнозів визначають за допомогою середньоквадратичної похибки (СКП). Більш точне оцінювання якості прогнозів досягається за рахунок використання критеріїв, які дають відносні оцінки якості (коефіцієнт Тейла) та оцінки якості у процентах ($CAПП$). Перевагою їх використання є те, що вони не залежать від масштабу даних. $CAПП$ і коефіцієнт Тейла обчислюються так:

$$CAПП = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \frac{|y(k+i) - \hat{y}(k+i,k)|}{|y(k+i)|} \times 100\% = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \frac{|e(k+i)|}{|y(k+i)|} \times 100\%,$$

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{s} \sum_{k=1}^s [y(k+i) - \hat{y}(k+i)]^2}}{\sqrt{\frac{1}{s} \sum_{i=1}^s y^2(k+i)} + \sqrt{\frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \hat{y}^2(k+i)}},$$

де s – кількість кроків прогнозування; $y(k+i)$ – фактичні значення даних; $\hat{y}(k+i)$ – оцінки прогнозів. Коефіцієнт Тейла, U , – це показує якість моделі і прогнозу; за означенням, $0 \leq U \leq 1$. При $U \rightarrow 0$ оцінки прогнозів наближаються до фактичних значень ряду і модель має високу ступінь адекватності. Тобто U дає можливість встановити придатність моделі (і методу оцінювання прогнозу на її основі) для оцінювання прогнозу в принципі.

Для розв'язання задачі адаптації прогнозуючої моделі до змін у досліджуваному процесі, використовують такі обчислювальні процедури:

– рекурсивне оцінювання параметрів математичних і статистичних моделей з надходженням нових даних, що сприяє уточненню параметрів моделі та підвищенню якості прогнозу з надходженням нових даних;

– автоматизований аналіз часткової автокореляційної функції (ЧАКФ) залежної змінної з подальшим корегуванням структури моделі шляхом введення/вилучення додаткових лагових значень;

– почергове введення в модель можливих регресорів та аналіз їх впливу на якість прогнозу; особливо корисними є регресори, які вводяться в модель з лагами більшими одиниці;

– автоматизований аналіз функції часткової взаємної кореляції основної змінної з регресорами з метою корегування лагових значень регресора;

– автоматизований вибір оптимальних вагових коефіцієнтів в процедурах експоненційного згладжування, пошуку подібних траєкторій, регресії на опорних векторах та деяких інших методах;

– автоматизований аналіз залишків регресійних моделей з метою встановлення їх інформативності та корегування структури моделі процесу на основі результатів аналізу;

– адаптивне формування масивів вимірів змінних стану процесу за допомогою методів ієрархічного комплексування (інтегрування) даних, що забезпечує підвищення їх інформативності. [23]

Оскільки прогнозовані значення – випадкові величини, то для оцінювання їх якості необхідно використовувати декілька статистичних критеріїв.

Найвну вибірку даних доцільно розділити на навчальну та перевіірочну. На навчальній вибірці виконується оцінювання параметрів моделі процесу і реалізується так званий „історичний” прогноз, який дає змогу встановити якість однокрокового прогнозу на цьому участку ряду. Прогноз на перевіірочній частині вибірки даних в науковій літературі називають ще прогнозом *ex post*. В різних емпіричних дослідженнях рекомендують залишати для перевірки (5 – 40) % значень ряду даних. Хоча при аналізі коротких рядів доцільно значно більшу частину ряду використовувати для оцінювання параметрів моделі.

В таблиці представлені статистичні критерії якості прогнозу та їх призначення.

Таблиця Критерії якості прогнозу

№	Тип критерію	Критерій
1	Дисперсія і стандартне відхилення прогнозу.	$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N [y(k) - \hat{y}(k)]^2}$ де $y(k)$ – фактичне значення змінної; $\hat{y}(k)$ – прогноз.
2	Середнє абсолютне значення похибки.	$САП(k) = \alpha \cdot y(k) - \hat{y}(k) + (1 - \alpha) САП(k - 1) =$ $= \alpha e(k) + (1 - \alpha) САП(k - 1),$ де $0 < \alpha < 1$; $e(k)$ – похибка прогнозу. $САП = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y(k) - \hat{y}(k) $
3	Середній квадрат похибки і сума квадратів похибок.	$СКП = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [y(k) - \hat{y}(k)]^2$
4	Середня абсолютна похибка в процен-тах	$САПП = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{ y(k) - \hat{y}(k) }{ y(k) } \times 100\% = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{ e(k) }{ y(k) } \times 100\%$ або у випадку прогнозування на s кроків відносно k – го моменту:

		$САПП = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \frac{ y(k+i) - \hat{y}(k+i, k) }{ y(k+i) } \times 100\% = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \frac{ e(k+i) }{ y(k+i) } \times 100\%$
5	Середня похибка (СП) і середня похибка в процентах	$СП = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [y(k) - \hat{y}(k)] = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N e(k), \text{ або}$ $СП = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s [y(k+s) - \hat{y}(k+s, k)].$ $СПП = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{[y(k) - \hat{y}(k)]}{y(k)} \times 100\%, \text{ або}$ $СПП = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \frac{[y(k+s) - \hat{y}(k+s, k)]}{y(k+s)} \times 100\%$
6	Максимальна і міні-мальна абсолютна похибка	$МАП = \max_k \{ y(k) - \hat{y}(k) \}, 1 \leq k \leq N, \text{ або}$ $МАП = \max_i \{ y(k+1) - \hat{y}(k+1, k) , \dots, y(k+s) - \hat{y}(k+s, k) \}$ $1 \leq i \leq s.$ $MiAP = \min_k \{ y(k) - \hat{y}(k) \}, 1 \leq k \leq N, \text{ або}$ $MiAP = \min_i \{ y(k+1) - \hat{y}(k+1, k) , \dots, y(k+s) - \hat{y}(k+s, k) \}$ $1 \leq i \leq s.$
7	Коефіцієнт нерівності Тейла.	$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [y(k) - \hat{y}(k)]^2}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y^2(k) + \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \hat{y}^2(k)}}$

Дисперсія і стандартне відхилення прогнозу. Досить часто проста сума похибок прогнозів дорівнює нулю, оскільки похибки приймають різні знаки, а тому необхідно використовувати інші міри похибки. Ступінь розсіювання значень змінної навколо її середнього можна виміряти за допомогою стандартного відхилення $\sigma(k)$, яке дорівнює квадратному кореню з дисперсії, тобто:

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

де $y(k)$ – фактичне значення змінної; $\hat{y}(k)$ – прогноз (ділення на $N-1$, а не на N має смисл при невеликій потужності ряду).

Оскільки дисперсія є квадратичною характеристикою процесу, то в процесі її обчислення не відбувається взаємна компенсація значень відхилень від середнього. Крім того, дисперсію $\sigma^2(k)$ і стандартне відхилення можна перевіряти на статистичну значимість, що в деякій мірі сприяє поглибленому аналізу похибки прогнозу. Вище було показано, що при застосуванні для прогнозування рівнянь АРКС прогноз незміщений (математичне сподівання похибок прогнозів дорівнює нулю), але дисперсія прогнозованих

значень прямо пропорціональна числу кроків прогнозування. Однак вона збігається до скінченної величини для стаціонарних процесів.

При відносно невеликому горизонті прогнозування можна стверджувати, що майбутнє значення прогнозованого показника попадає в інтервал, який визначається як \pm два стандартних відхилення від обчисленого значення прогнозу.

Стандартне відхилення залишків – один із основних показників якості прогнозу. Це досить широко застосовувана статистична характеристика, яка виявляється корисною при аналізі поведінки процесів різної природи. Вона використовується, наприклад, як міра ризику (волатильність) при аналізі фінансових процесів, як характеристика надійності в управлінні запасами та інших прикладних задачах управління, а також як міра розсіювання значень змінних стану при аналізі систем різної природи.

Середнє абсолютне значення похибки. Обчислення середнього абсолютного значення похибки (САП) ґрунтується на виразі для експоненціального середнього і має вигляд:

$$\begin{aligned} \text{САП}(k) &= \alpha \cdot |y(k) - \hat{y}(k)| + (1 - \alpha) \text{САП}(k - 1) = \\ &= \alpha |e(k)| + (1 - \alpha) \text{САП}(k - 1), \end{aligned}$$

де $0 < \alpha < 1$; $e(k)$ – похибка прогнозу. При такому обчисленні середнє абсолютне значення завжди невід’ємне.

САП можна обчислити також за іншим виразом:

$$\text{САП} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |y(k) - \hat{y}(k, k)|.$$

Для досить широкого класу статистичних розподілів випадкових величин значення стандартного відхилення є дещо більшим САП і строго пропорціональним йому. Коефіцієнт пропорціональності коливається для різних розподілів між 1,2 і 1,3 (для нормального розподілу це значення дорівнює $\sqrt{\pi/2} = 1,2533$) [11]. Таким чином, можна записати, що

$$\sigma(k) \approx 1,25 \text{САП}.$$

Виходячи з цього, процедуру оцінювання *стандартної похибки* прогнозу можна зформулювати так:

1. Обчислити поточне значення похибки прогнозу як $e(k) = y(k) - \hat{y}(k)$.
2. Обчислити нове значення САП за допомогою рівняння (5.45).
3. Знайти поточне стандартне відхилення за виразом (5.46).

Середню абсолютну похибку і її стандартне відхилення використовують, як правило, для визначення якості оцінки прогнозу одночасно.

Середній квадрат похибки і сума квадратів похибок. Якщо середній квадрат похибок (СКП) визначається для розповсюдженого випадку однокрокового прогнозування при довжині часового ряду N , то СКП визначається за формулою:

$$\text{СКП} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [y(k) - \hat{y}(k)]^2.$$

У випадках, коли прогнозування виконується на s кроків відносно моменту часу k , то СКП обчислюється за виразом:

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

Очевидно, що формули і однакові, але кожна форма чітко відображає тип прогнозу.

Саме СКП і СМКП є найбільш поширеними критеріями, які використовуються при порівняльному аналізі і виборі кращої моделі для обчислення оцінок прогнозів.

Середня абсолютна похибка в відсотках. Середня абсолютна похибка в процентах (САПП) – це середнє абсолютних значень похибок оцінок прогнозу в процентах відносно фактичного значення показника:

$$САПП = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{|y(k) - \hat{y}(k)|}{|y(k)|} \times 100\% = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{|e(k)|}{|y(k)|} \times 100\% ,$$

або у випадку прогнозування на s кроків відносно k – го моменту:

$$САПП = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \frac{|y(k+i) - \hat{y}(k+i, k)|}{|y(k+i)|} \times 100\% = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \frac{|e(k+i)|}{|y(k+i)|} \times 100\% .$$

Оскільки ця міра характеризує відносну якість прогнозу, то її використовують, в основному, для порівняння точності прогнозів різнорідних об'єктів (процесів) прогнозування. Типові значення САПП та їх запропонована інтерпретація наведені в таблиці [12,23].

Якщо в формулах $y(k)$ або $y(k+i)$ прямує до нуля, то значення САПП прямуватиме до нескінченності. Про це необхідно пам'ятати при застосуванні даного критерію якості прогнозу. Для того щоб виконати обчислення даного критерію в таких випадках, нульові значення $y(k)$ або $y(k+i)$ необхідно пропускати з відповідним корегуванням значення N або s . Можливо, що такий підхід не відповідає деяким вимогам статистичного аналізу даних, але він дає можливість наближено і більш повно виконати аналіз якості прогнозування.

Таблиця . Інтерпретація типових значень критерію САПП

САПП, %	Інтерпретація
< 10	Висока точність
10 – 20	Хороша точність
20 – 50	Задовільна точність
> 50	Незадовільна (неприйнятна) точність

Середня похибка (СП) і середня похибка в відсотках (СПВ). Середня похибка – це не відносний показник, вона характеризує ступінь зміщення прогнозованих значень від фактичних і розраховується за формулою:

$$СП = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [y(k) - \hat{y}(k)] = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N e(k),$$

або

$$СП = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s [y(k+i) - \hat{y}(k+i, k)].$$

Очевидно, що СП буде зменшуватись у випадках, коли похибки мають різні знаки.

Середню похибку в відсотках (СПВ) обчислюють за виразом:

$$СПВ = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{[y(k) - \hat{y}(k)]}{y(k)} \times 100\% ,$$

або

$$СПВ = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \frac{[y(k+i) - \hat{y}(k+i, k)]}{y(k+i)} \times 100\% .$$

СПВ також характеризує *зміщеність* прогнозу. Якщо втрати при прогнозуванні, зв'язані із завищенням фактичного майбутнього значення, врівноважуються заниженням, то ідеальний прогноз повинен бути незміщеним. В такому випадку СП і СПВ повинні прямувати до нуля. Емпірично встановлено, що прийнятними значеннями для СПВ (так само як і для САПП) є $\leq 5\%$.

Максимальна і мінімальна абсолютна похибка. Очевидно, що максимальна абсолютна похибка (МАП) може бути визначена як

$$МАП = \max_k \{ |y(k) - \hat{y}(k)| \}, \quad 1 \leq k \leq N,$$

або

$$МАП = \max_i \{ |y(k+1) - \hat{y}(k+1, k)|, \dots, |y(k+s) - \hat{y}(k+s, k)| \}; \\ 1 \leq i \leq s.$$

Мінімальна абсолютна похибка (МіАП) визначається як

$$МіАП = \min_k \{ |y(k) - \hat{y}(k)| \}, \quad 1 \leq k \leq N,$$

або

$$МіАП = \min_i \{ |y(k+1) - \hat{y}(k+1, k)|, \dots, |y(k+s) - \hat{y}(k+s, k)| \}, \\ 1 \leq i \leq s.$$

Критерії МАП і МіАП також можуть бути корисними при виконанні порівняльного аналізу кількох методів прогнозування, особливо якщо нас цікавлять максимально або мінімально можливі відхилення прогнозів від фактичних значень на заданому інтервалі.

Коефіцієнт нерівності Тейла. Коефіцієнт нерівності Тейла U – це важливий індикатор якості моделі і прогнозу. За означенням, $0 \leq U \leq 1$. Якщо $U = 1$, то модель має практично нульові (неприйнятні) прогнозуючі властивості, що випливає з формули для обчислення U :

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [y(k) - \hat{y}(k)]^2}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y^2(k)} + \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \hat{y}^2(k)}}.$$

При $U = 0$ прогнозовані значення співпадають з фактичними значеннями ряду – модель ідеальна. Тобто U дає можливість встановити придатність моделі (методу) в принципі для оцінювання прогнозу.

Коефіцієнт Тейла можна розкласти на три складові; складова, пропорційна зміщенню:

$$U^M = \frac{(\bar{y} - \bar{\hat{y}})^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y(i) - \hat{y}(i)]^2};$$

складова, пропорційна дисперсії:

$$U^S = \frac{(\sigma_{\text{факт}} - \sigma_{\text{моделі}})^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y(i) - \hat{y}(i)]^2};$$

і складова, пропорційна коваріації:

$$U^C = \frac{2(1-\rho)(\sigma_{\text{факт}} \cdot \sigma_{\text{моделі}})}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y(i) - \hat{y}(i)]^2},$$

де ρ – коефіцієнт кореляції між залишками моделі.

Величина U^M використовується для перевірки факту, чи є систематичне відхилення середніх фактичного і прогнозованого ряду. Іншими словами, чи існує систематичне зміщення на виході моделі в той чи інший бік. Чим меншим є обчислене значення U^M , тим

кращою є модель. Якщо $U^M = 0$, то прогнозовані значення не містять зміщення і модель адекватна процесу за цим показником.

Величина U^S використовується для тестування динамічних властивостей моделі, тобто чи відповідає її дисперсія дисперсії фактичного ряду. Наприклад, модель може відтворювати систематично менші коливання ніж ті, які має фактичний ряд. Чим меншим є значення U^S , тим меншим є відхилення дисперсії виходу моделі від дисперсії ряду.

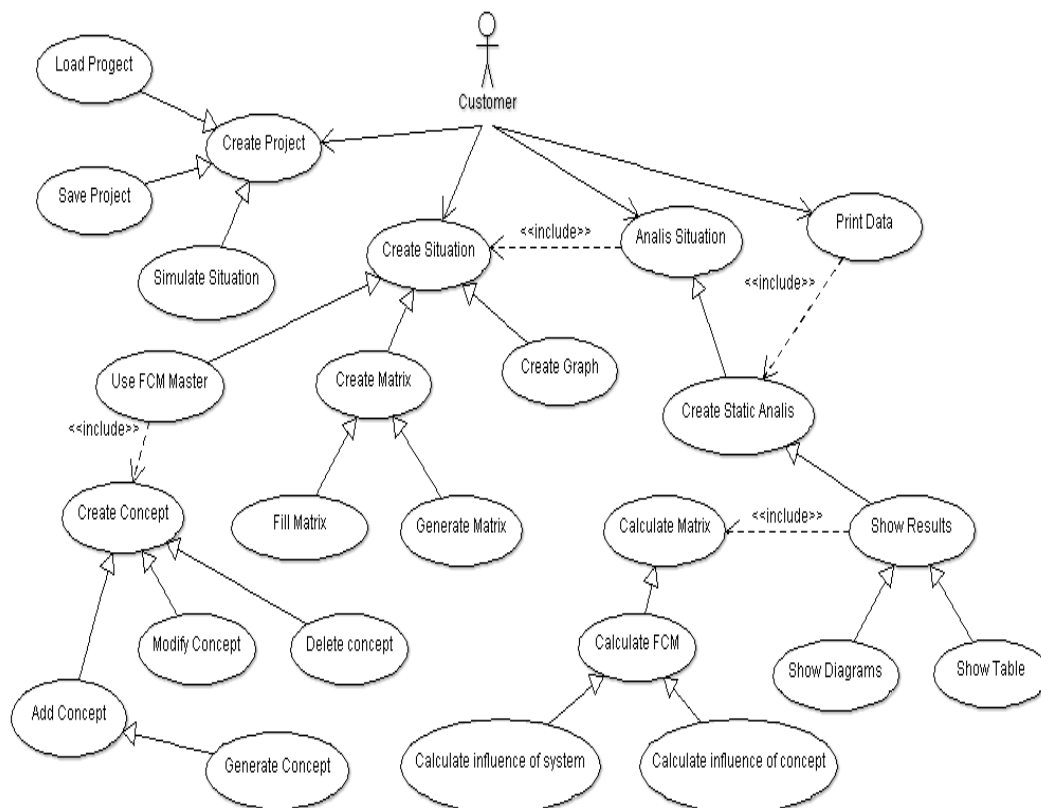
Складова, пропорційна коваріації, є мірою корельованості фактичного і прогнозованого за моделлю ряду. Зазначимо, що за побудовою останнього критерію для нього виконується рівність:

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

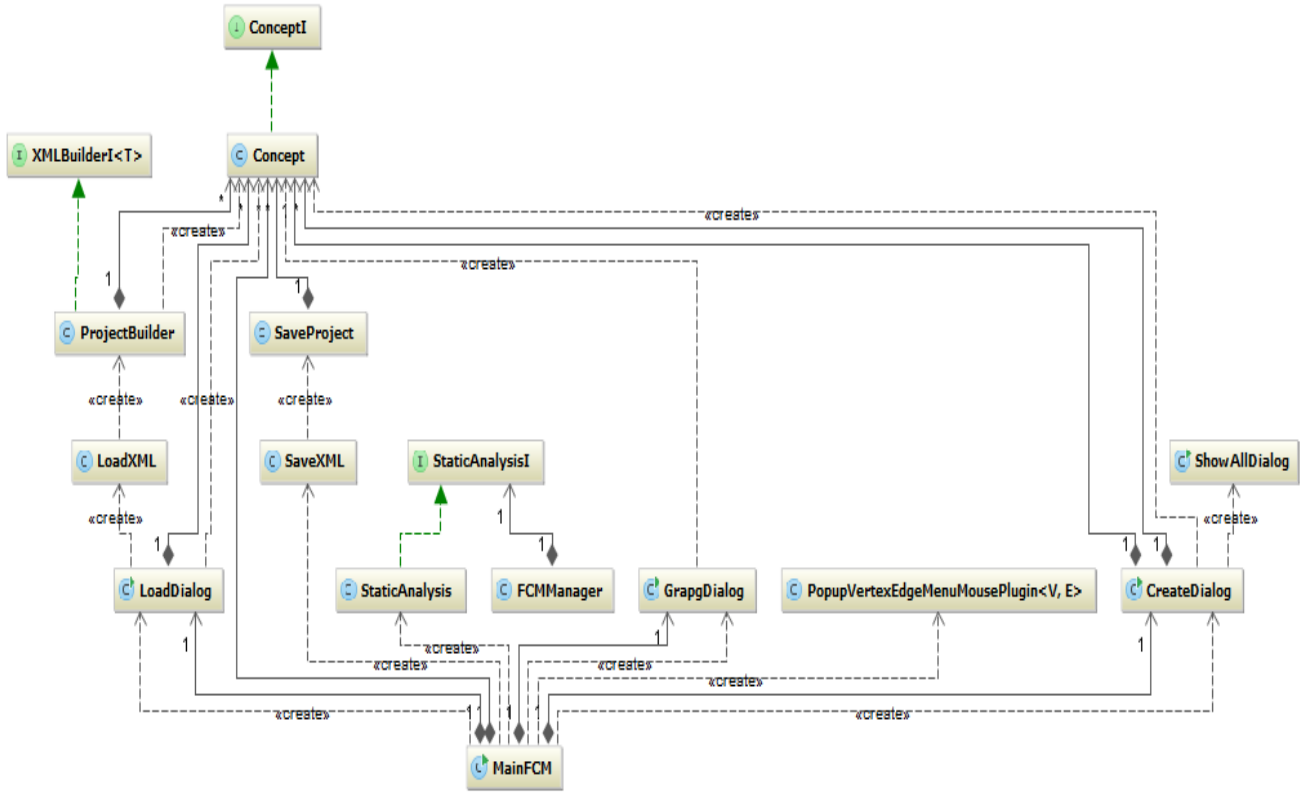
Якість моделі також визначається тим, наскільки точно вона може прогнозувати зміни напряму розвитку процесу, тобто нахил або знак тренду. Моделі можуть мати високу точність відтворення ряду, але погано прогнозувати тренди або цикли. Інші моделі, навпаки, можуть мати меншу точність (адекватність), але кращі динамічні властивості. Таким чином, завжди необхідно шукати компроміс між точністю моделі, тобто якістю апроксимації ряду, і її динамічними властивостями. Однак, для аналізу цієї властивості формальних тестів немає. Наближено встановлюється якість моделі щодо відтворення динаміки ряду шляхом візуального аналізу фактичного та спрогнозованого ряду.

ДОДАТОК В

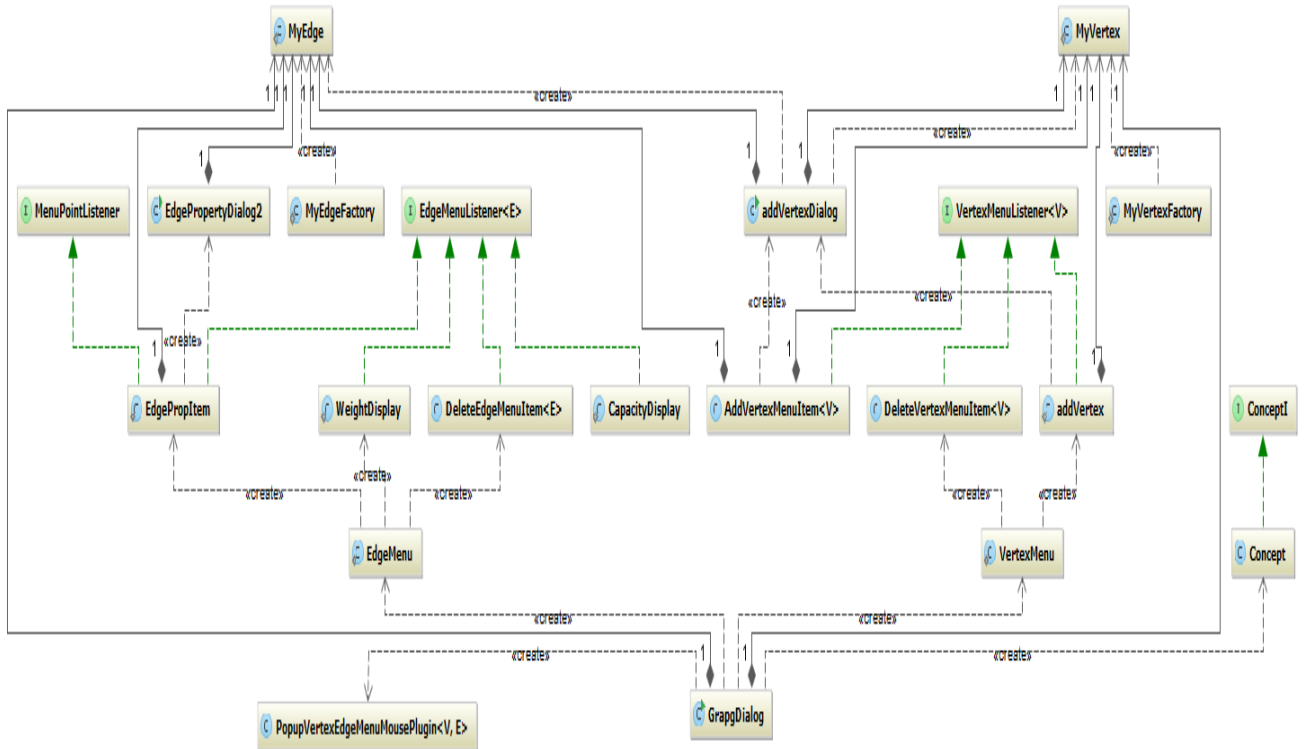
СППР на основі нечітких когнітивних карт



Usecase Diagram



Діаграма класів

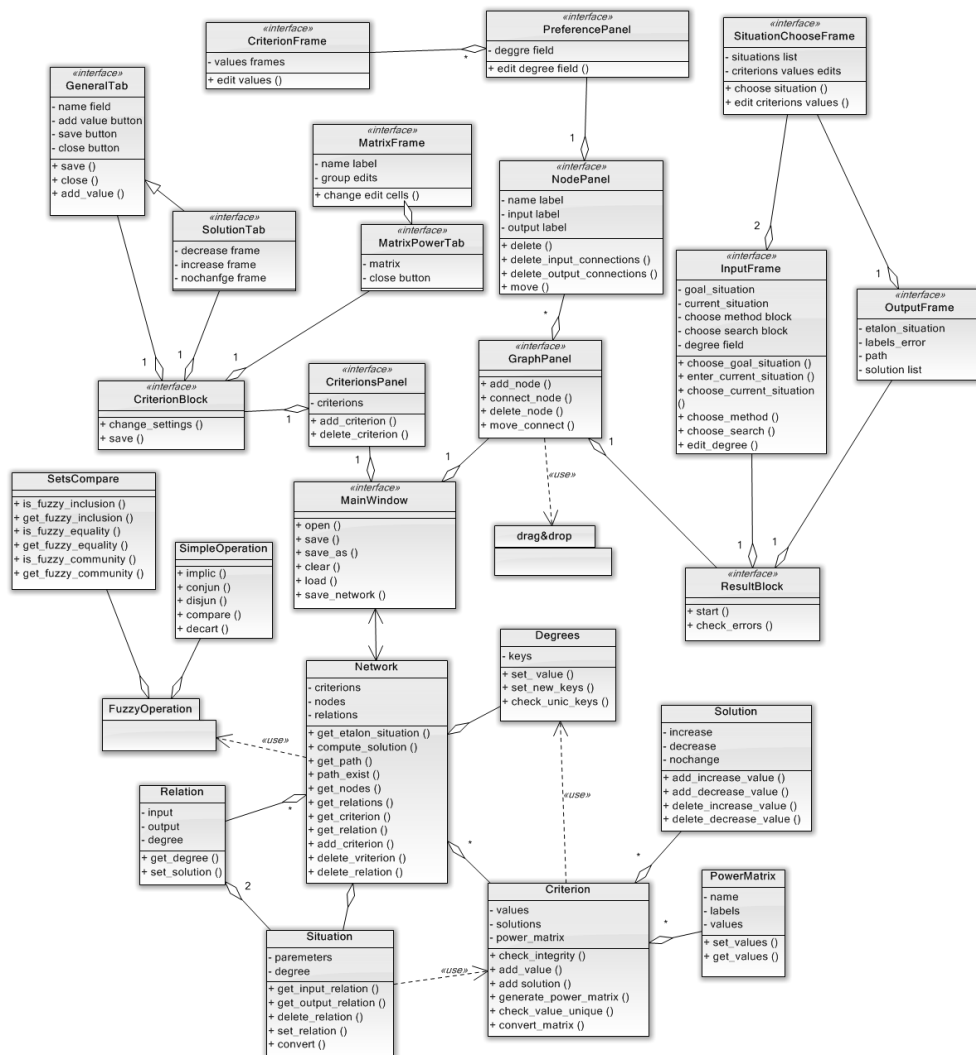


Діаграма класів – Побудова графу

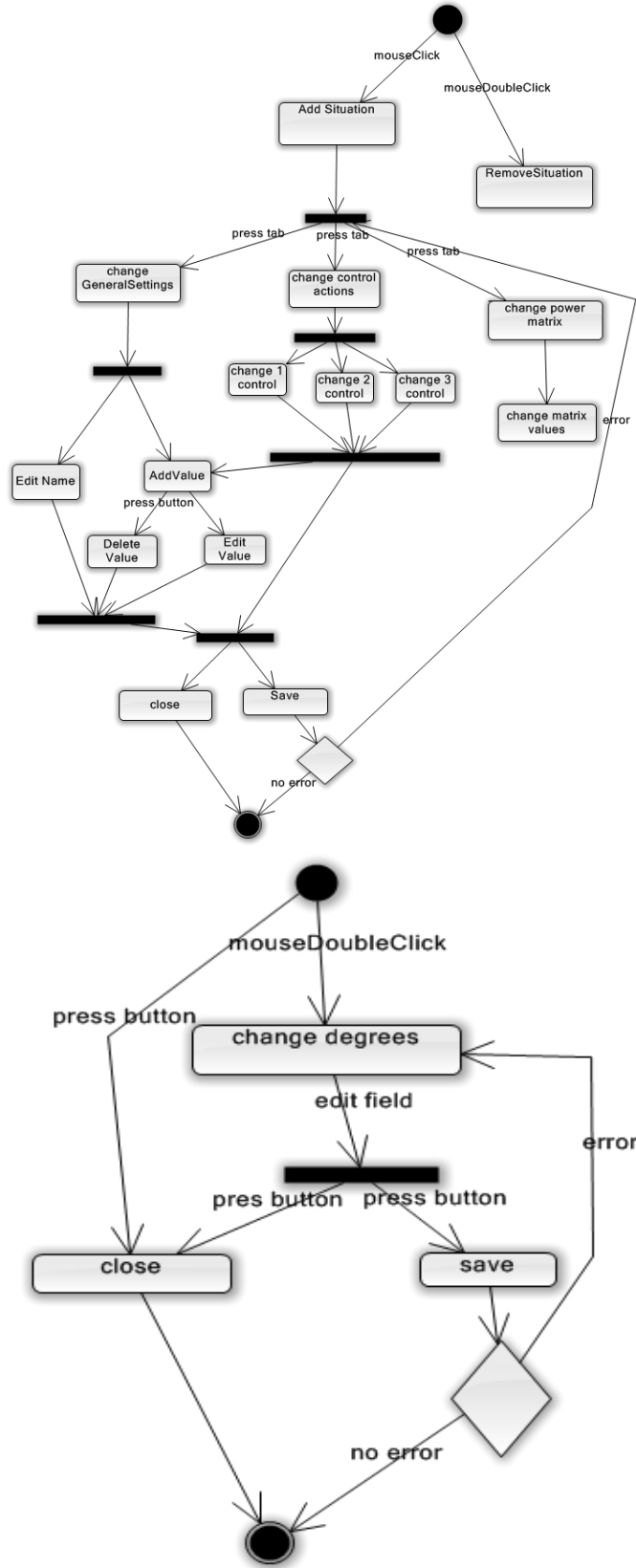
ДОДАТОК Г

СППР на основі нечітких ситуаційних мереж
Засоби розробки програмного забезпечення СППР

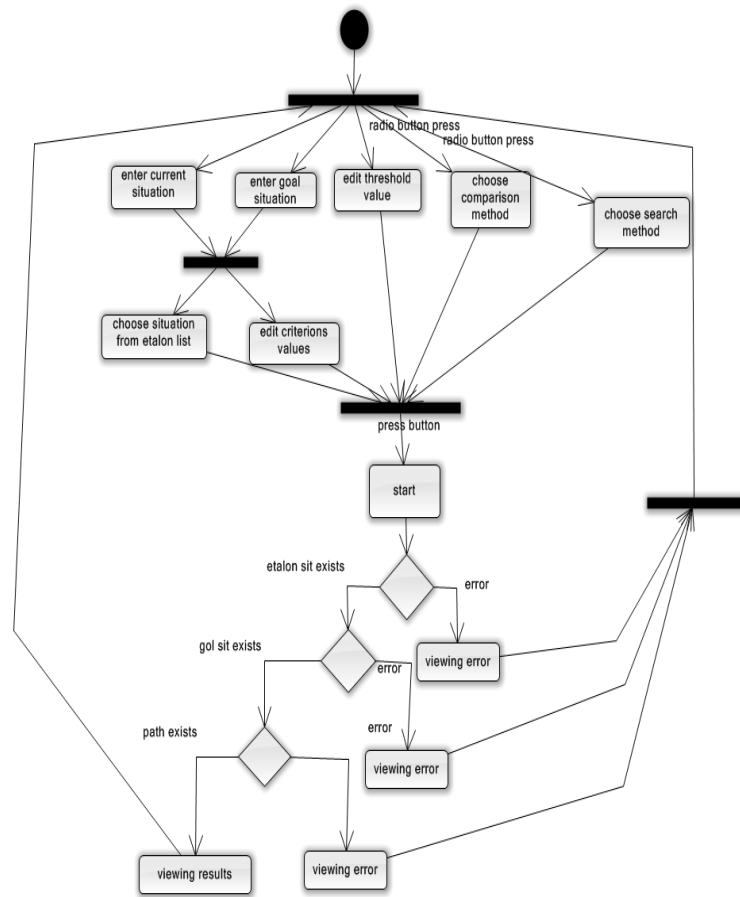
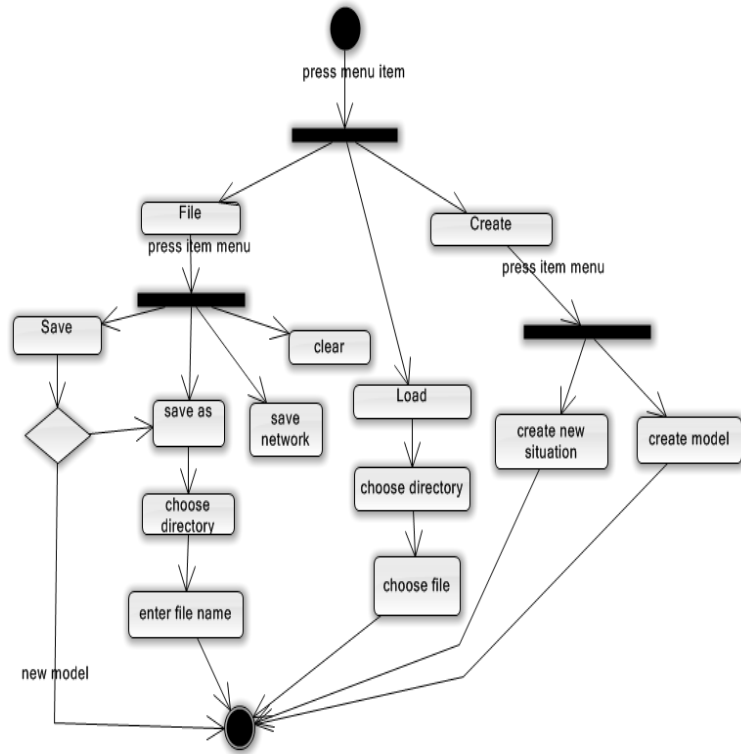
Тип	Назва
середовище розробки	Eclipse
мова програмування	Python
плагіни	PyDev
фреймворки	PyQt
бібліотеки	NetworkX



Діаграма класів проекту

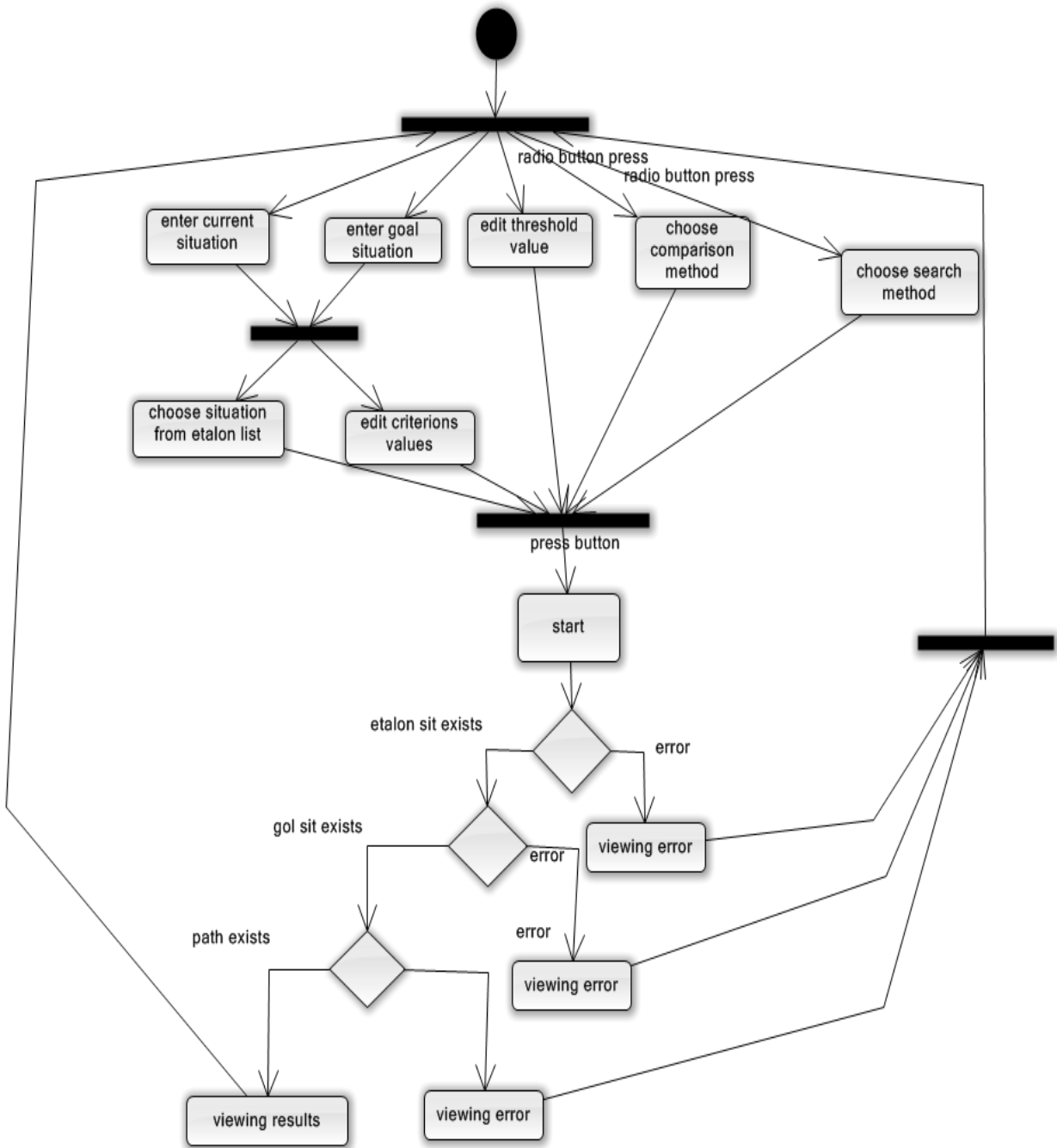


а) Діаграма діяльності "Робота з ознаками системи" б) Діаграма діяльності "Редагування ступенів відповідності"



в) Діаграма діяльності "Робота з головним меню"

г) Діаграма діяльності "Робота з головним меню"

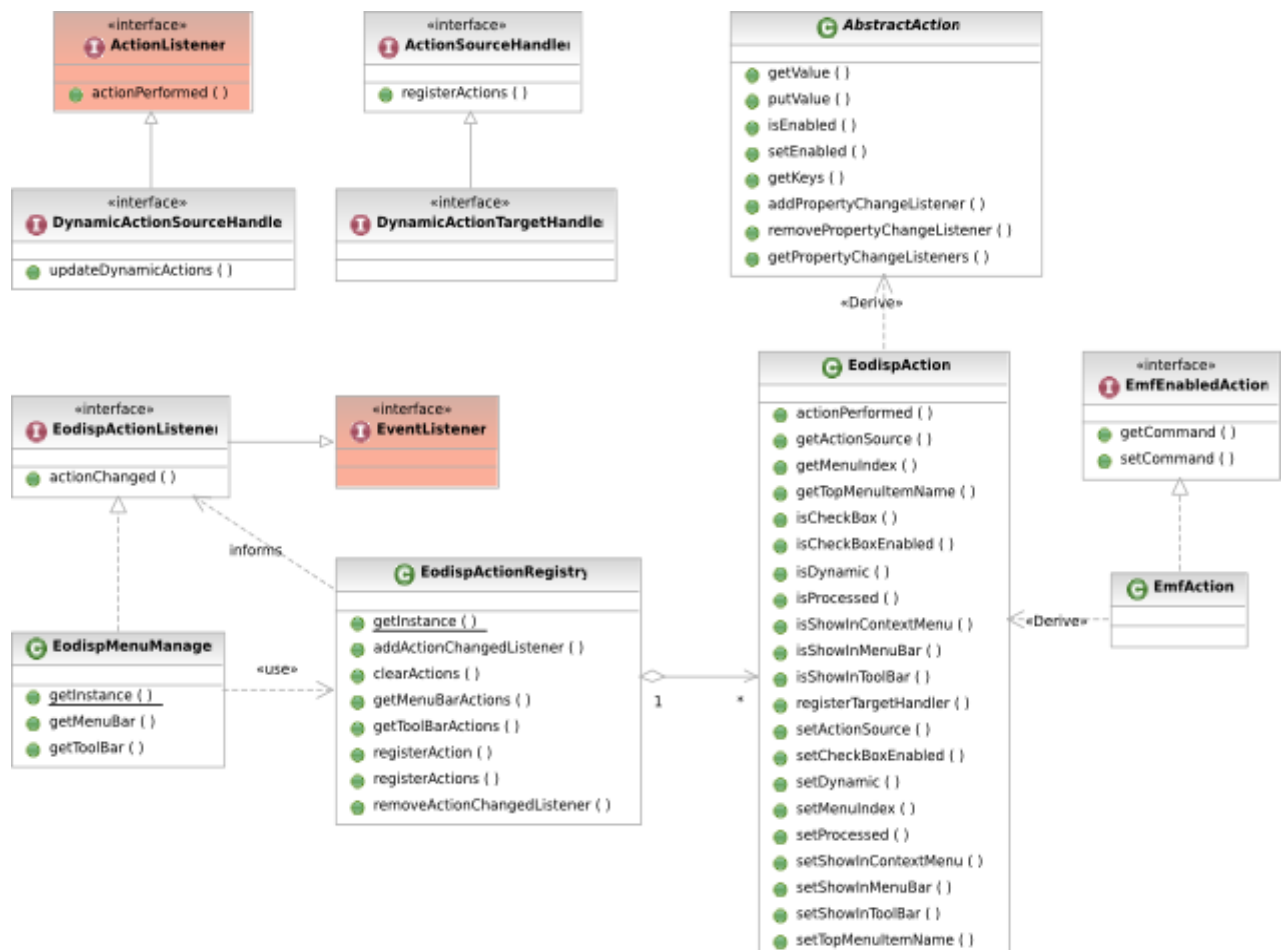


Діаграма діяльності "Вивід по мережі"

ДОДАТОК Д Інформаційна система прогнозування

Засоби розробки програмного забезпечення

<i>Тип</i>	<i>Назва</i>
середовище розробки	JetBrains PyCharm
мова програмування	Python
фреймворки	PyQt
бібліотеки	Numpy, Pandas, Matplotlib



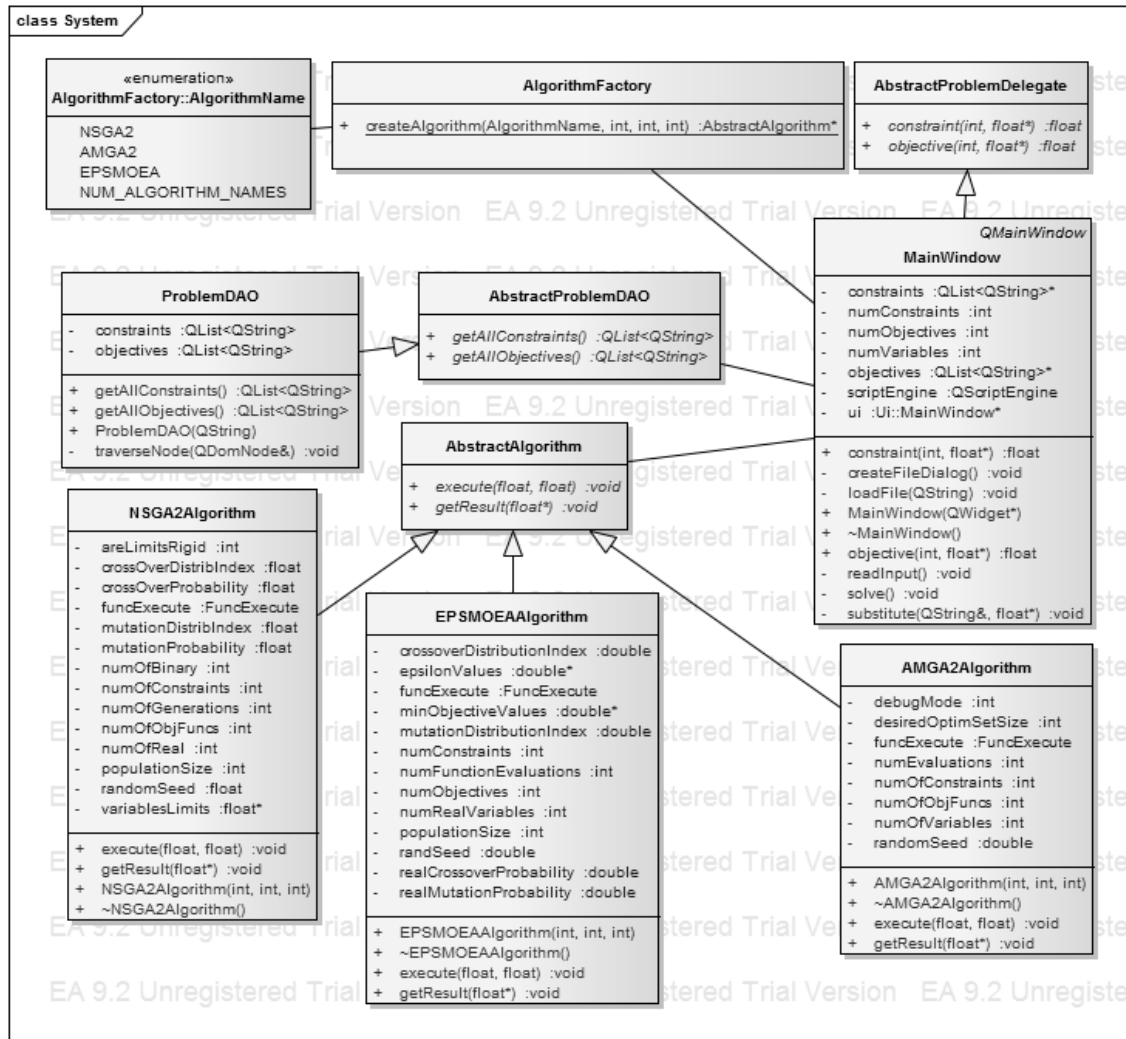
Діаграма класів системи

ДОДАТОК Е

Інформаційна система підтримки прийняття рішень на основі
Багатокритеріальних генетичних алгоритмів

Порівняльна характеристика відомих ГА

Алгоритм	Призначення придатності	Механізм урізноманітнення	Елітизм	Зовнішня популяція	Переваги	Недоліки
VEGA	Розрахунок для підмножин популяції відповідно до різних цілей	Нема	Нема	Нема	Перша проста реалізація багато-критеріального ГА	Тенденція сходження до крайніх значень цільових функцій
MOGA	Ранжування за Парето	Створення ніш для розподілу за значенням придатності	Нема	Нема	Просте розширення ГА з однією ціллю	Зазвичай повільне сходження. Проблеми параметру розміру ніші.
WBGA	Зважене середнє нормалізованих цільових функцій	Ніши. Наперед визначені ваги.	Нема	Нема	Просте розширення ГА з однією ціллю	Складнощі з не опуклими областями значень функції мети
NPGA	Відсутнє призначення придатності, відбір на основі турніру	Підрахунок ніш для розбиття вузлів при виборі за турніром.	Нема	Нема	Дуже простий процес відбору за турніром.	Проблеми параметру розміру ніші. Необхідність додаткового параметру для відбору за турніром.
RWGA	Зважене середнє нормалізованих цільових функцій	Привласнення випадкових значень вагам.	Так	Так	Ефективна і проста реалізація.	Складнощі з не опуклими областями значень функції мети
PESA	Відсутнє призначення придатності	Коміркова щільність	Так (чисто елітарний)	Так	Проста реалізація. Швидкий алгоритм.	Продуктивність залежить від розміру комірок. Необхідна додаткова попередня інформація про область рішень.
PAES	Використовується домінантність Парето для заміщення пращура, якщо нащадок домінує.	Коміркова щільність для розбиття вузлів між нащадками і пращурами.	Так	Так	Спеціальна стратегія для випадкової мутації. Легка реалізація. Ефективність.	Підход не базується на популяціях. Продуктивність залежить від розміру комірок.
NSGA	Ранжування на основі не домінантного сортування	Створення ніш для розподілу за значенням придатності	Нема	Нема	Швидке сходження.	Проблеми параметру розміру ніші.
NSGA-II	Ранжування на основі не домінантного сортування	Метод групової відстані	Так	Нема	Єдиний параметр. Перевіреним та ефективним алгоритм.	Групова відстань має сенс лише в цільовій області
SPEA	Ранжування на основі	Кластеризація для	Так	Так	Перевіреним алгоритм.	Складний алгоритм кластеризації.



Діаграма класів СППР

Розрахунок параметрів розподіленої енергетичної системи.

Налаштування

NSGA-II | AMGA-2 | EPSILON-MOEA

Розмір популяції:

Кількість поколінь:

Ймовірність кросоверу:

Ймовірність мутації:

Індекс розподілення кросоверу:

Індекс розподілу мутації:

Випадкове число:

Шлях до БД

...

Очікувані значення потреб (постійні або пікові значення)

Охолодження

Обігрів

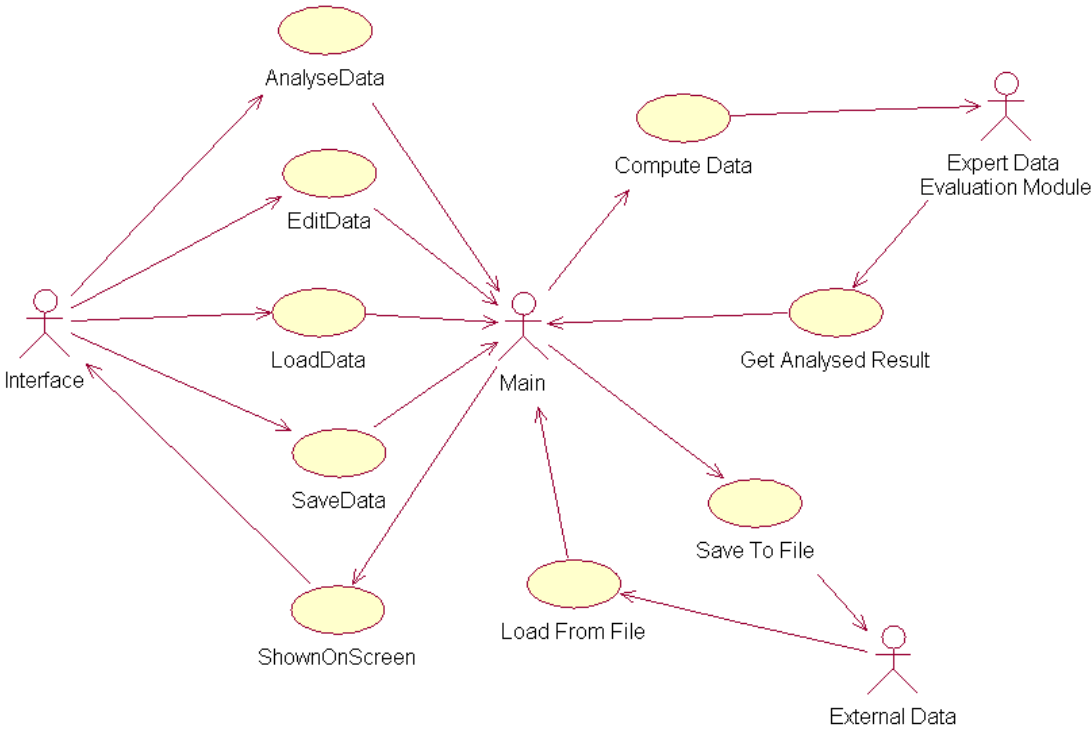
Гаряча вода

Струм

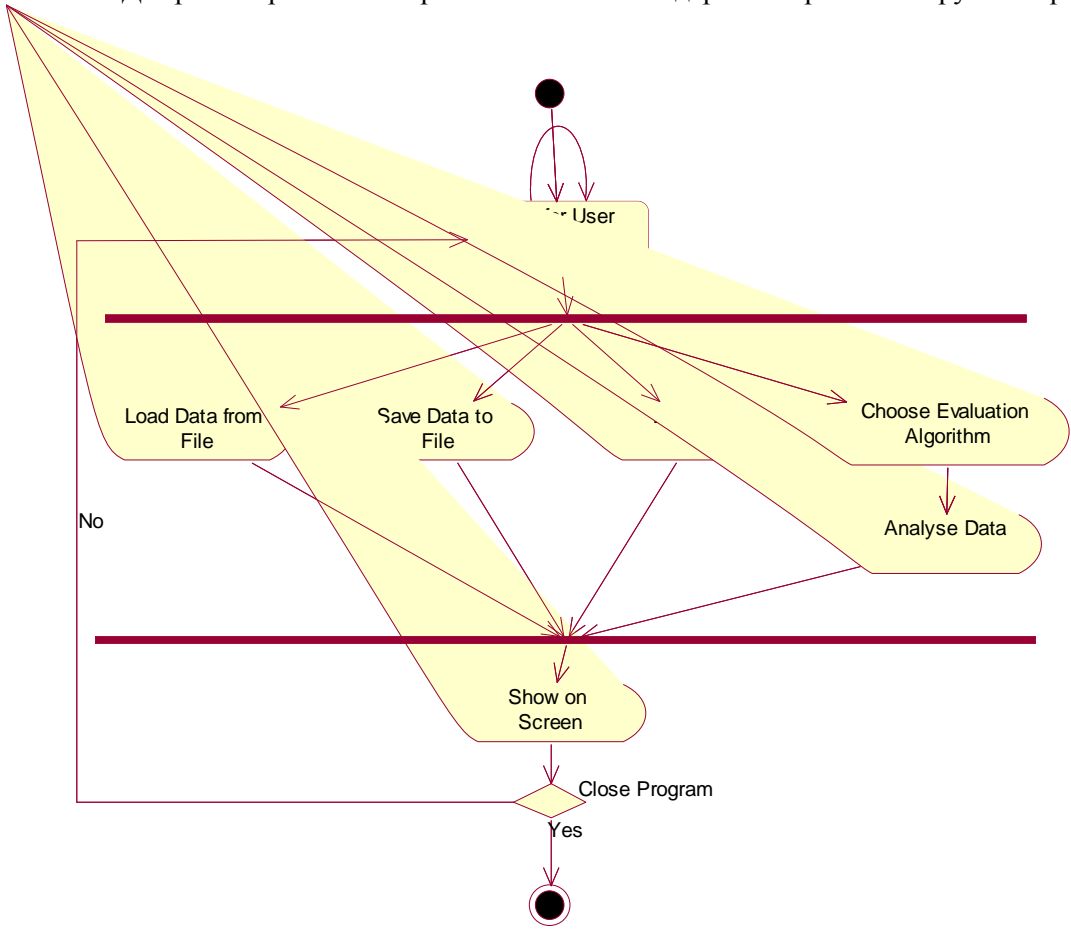
Обрахувати

Головна форма СППР

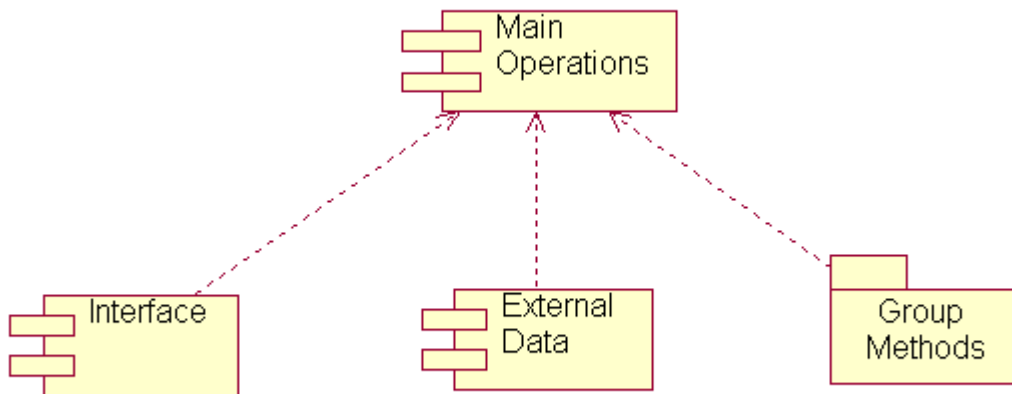
ДОДАТОК Ж СППР на основі групових методів прийняття рішень



Діаграма варіантів використання системи підтримки прийняття групових рішень



Діаграма діяльності



Діаграма компонентів. Основні компоненти



Діаграма компонентів. Пакет Group Methods

Group Decisions

File Actions Methods Help

Making group decision for choosing business partner

Alternatives: Kondorcet, Borda, Koplend, Kemeni's median

Experts: Експерти 1-11

Best candidate:

Методи	Лідуюча роль	Організація контролю	Персонал	Партнерство	Внутрішні процеси
Кондорсе	Infotec				
Борда	Akela				
Копленда					
Медіана Кемені					

Expert data:

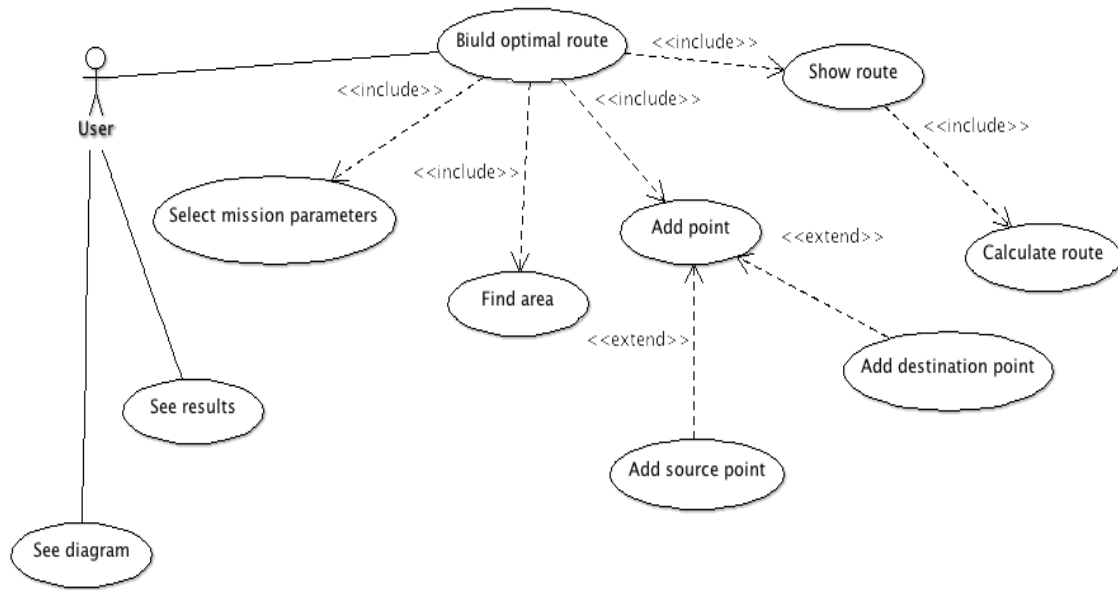
	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Expert 6	Expert 7
Valido Inc.	10	5	14	9	5	4	14
DreamSoft	2	11	1	5	15	7	11
Pleomax	15	4	9	11	10	3	2
Akela	9	3	10	6	7	1	15
Media Art	12	12	6	2	14	2	13

Accept Expert Data

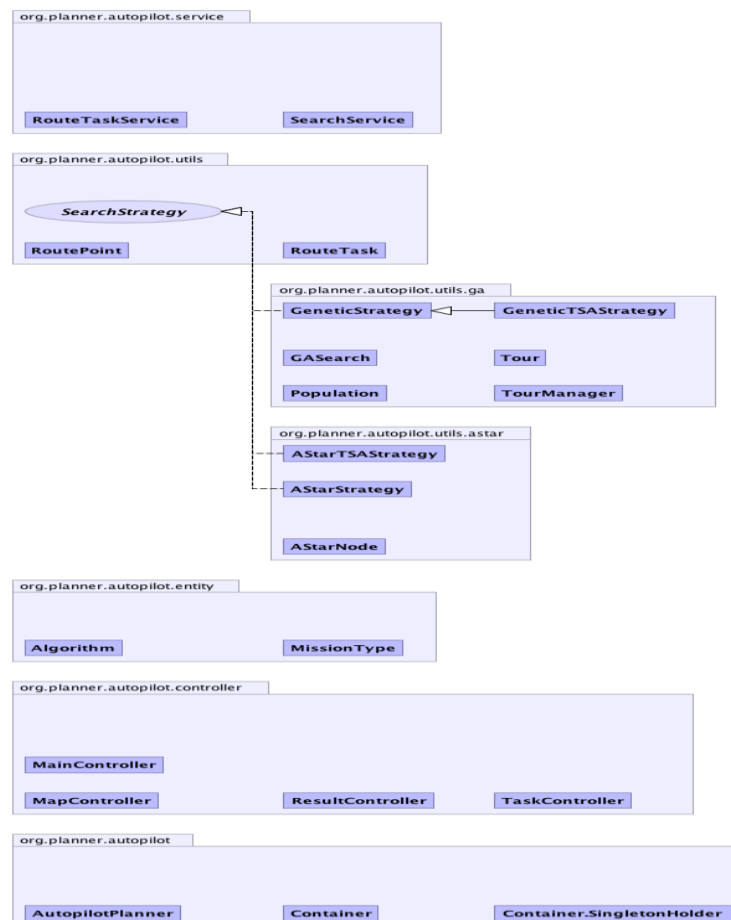
Exit

Вікно інтерфейсу

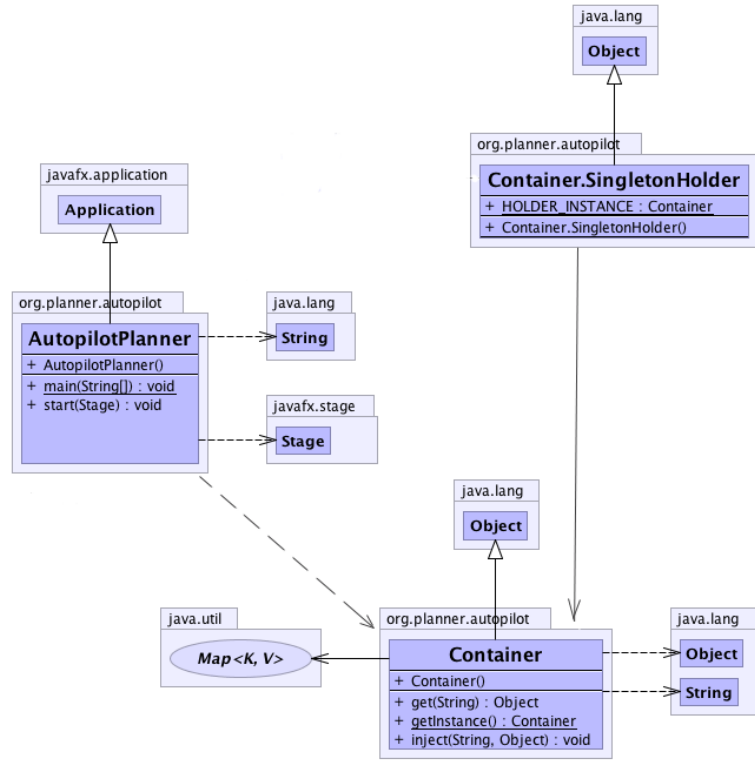
ДОДАТОК И СППР для керування БПЛА



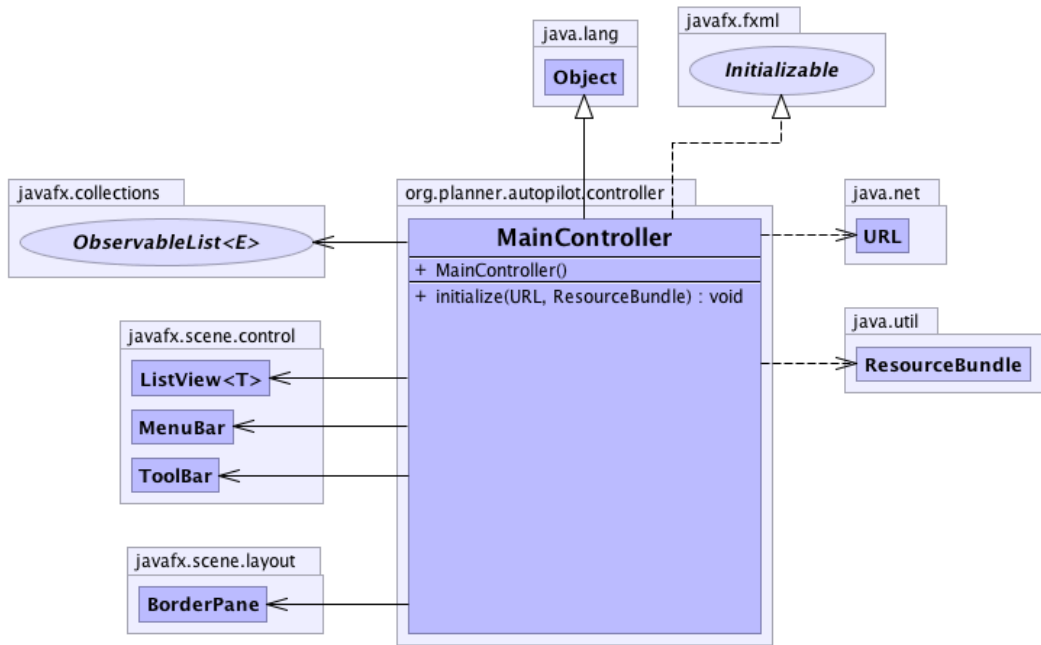
Діаграма прецедентів



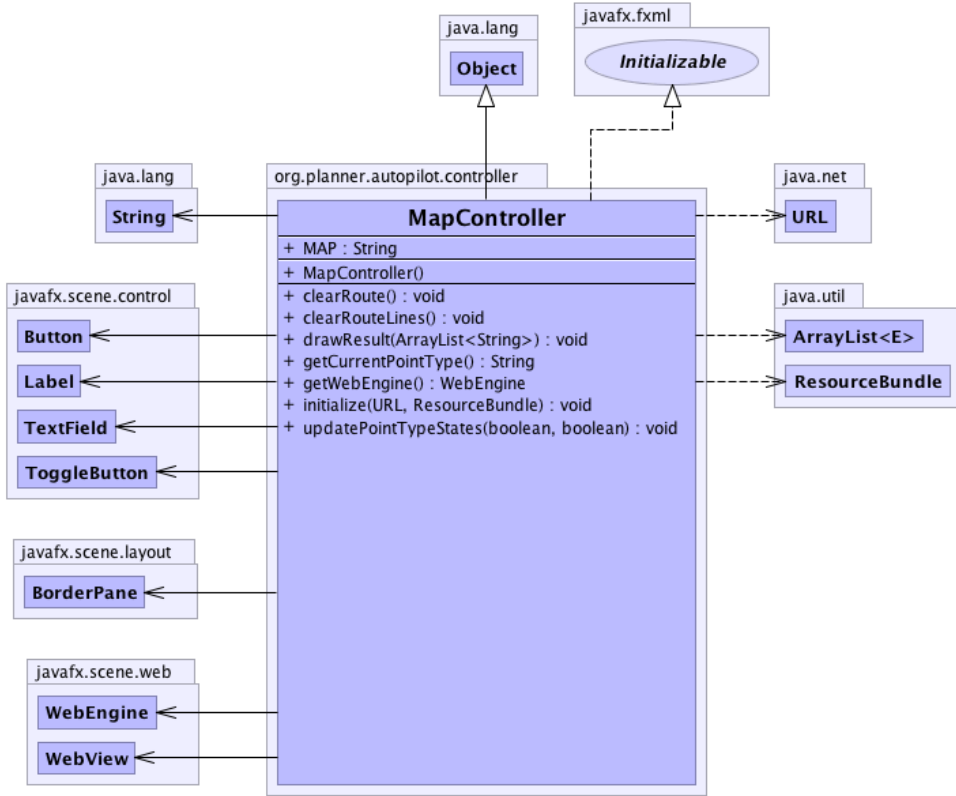
Діаграма компонентів системи



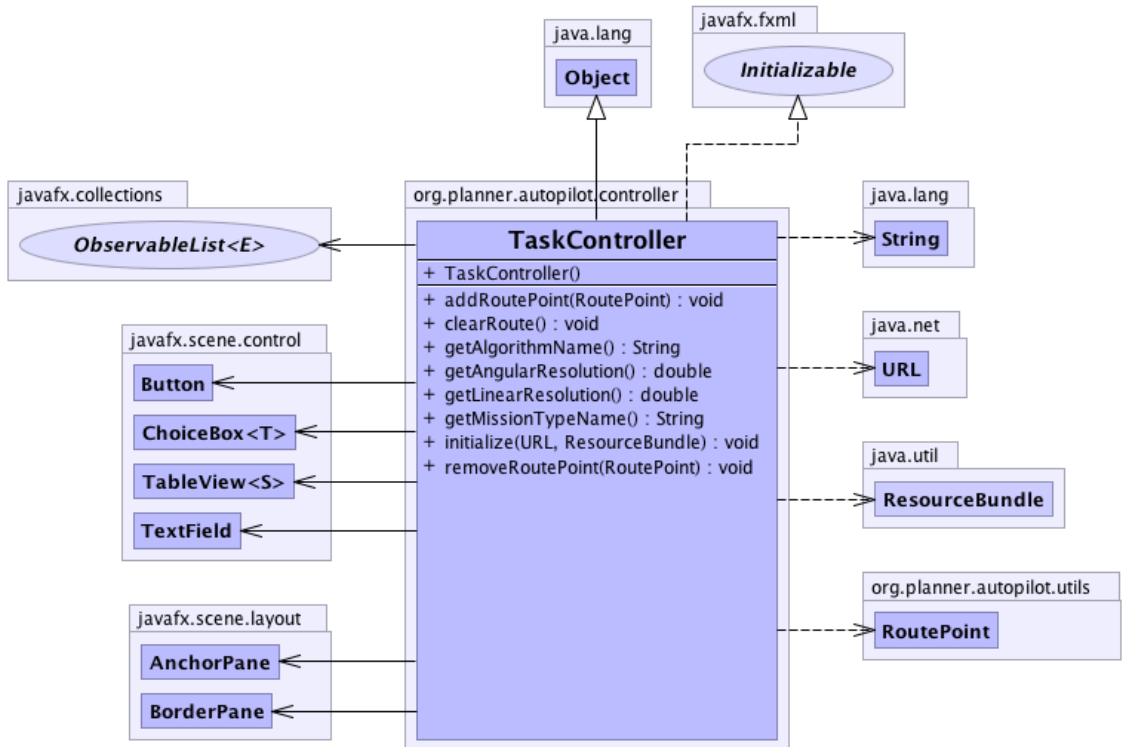
Діаграма класів головного пакету



Діаграма класу головного контролера

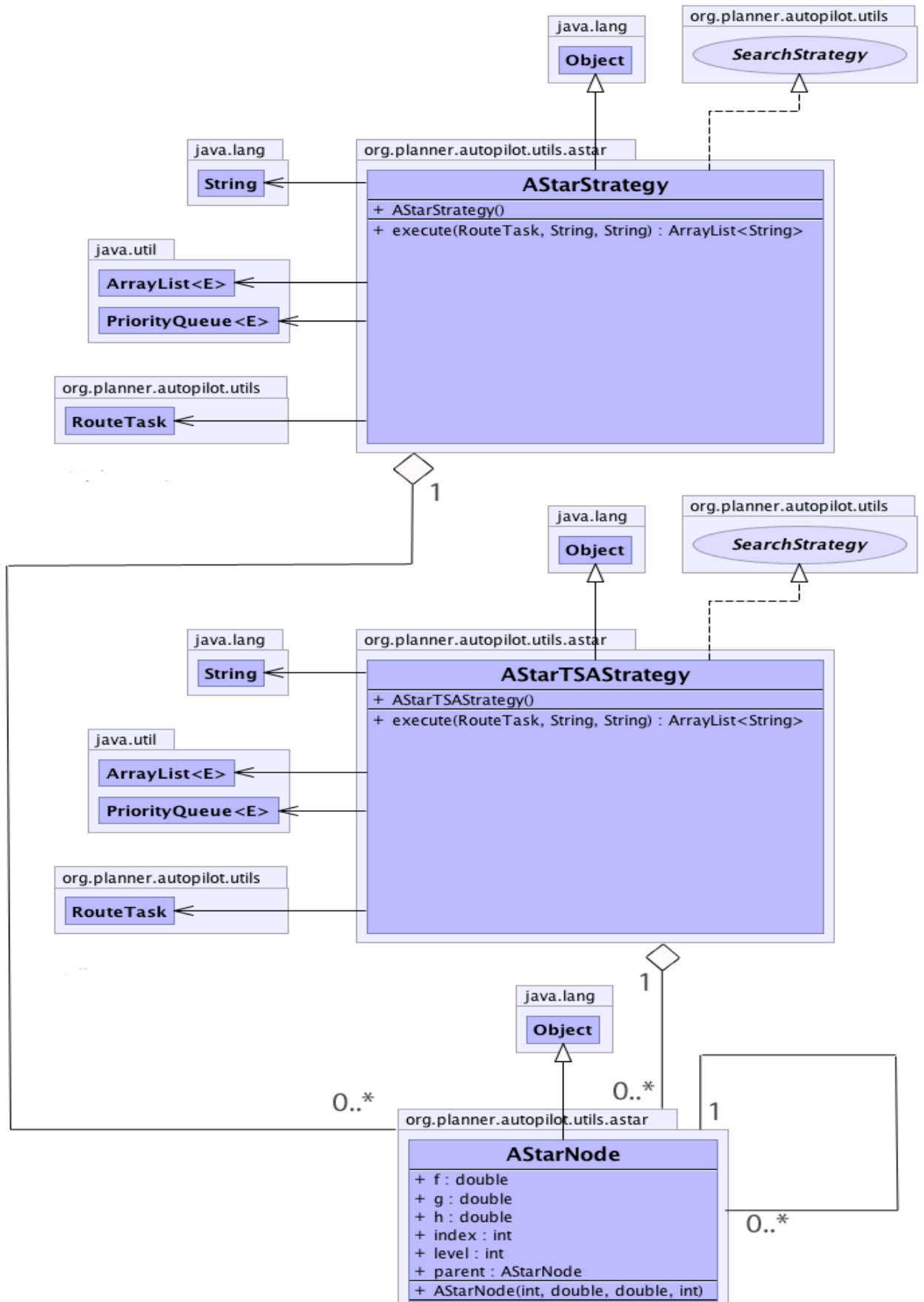


Діаграма класів контролера карти

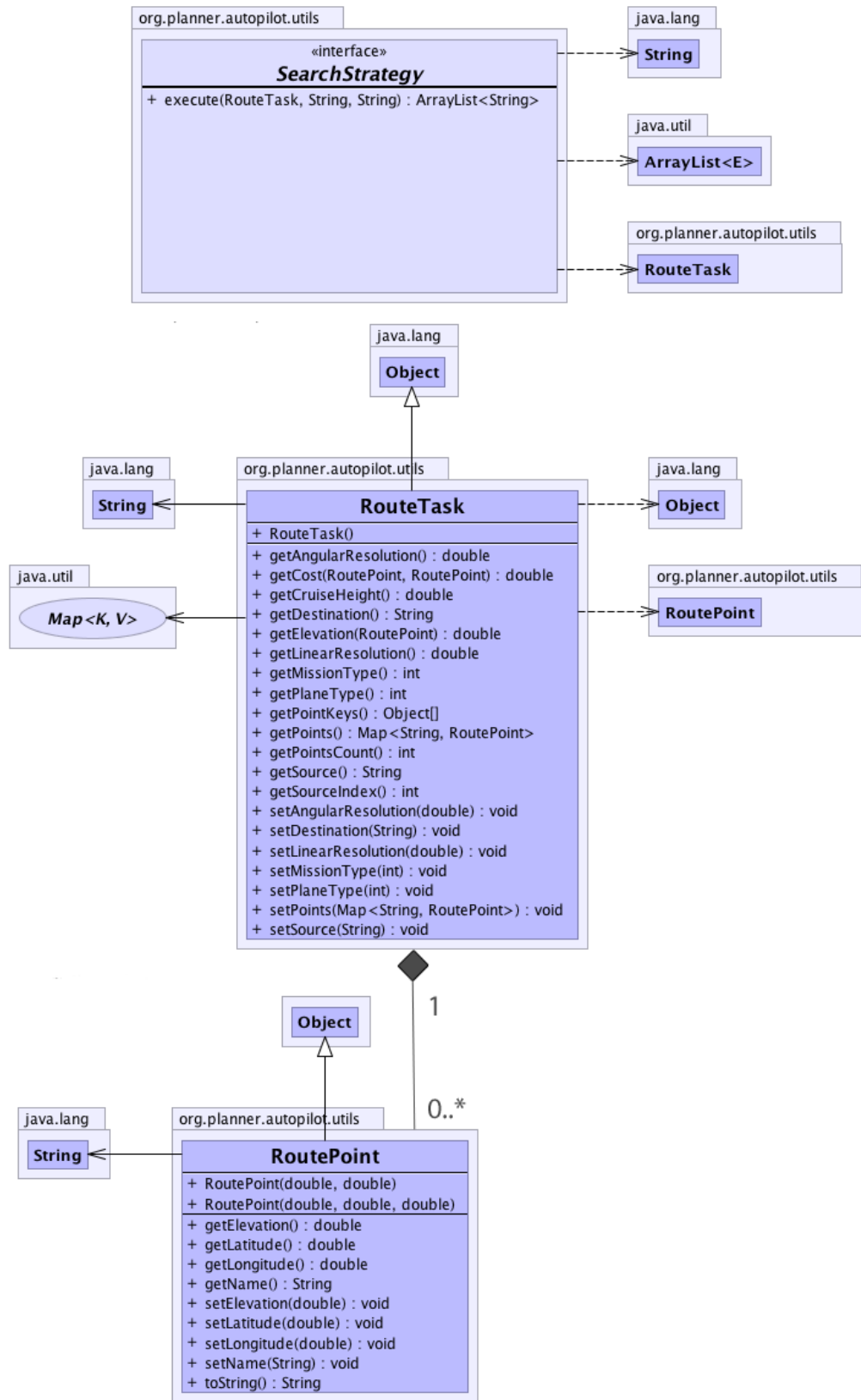


Діаграма класу контролера завдання

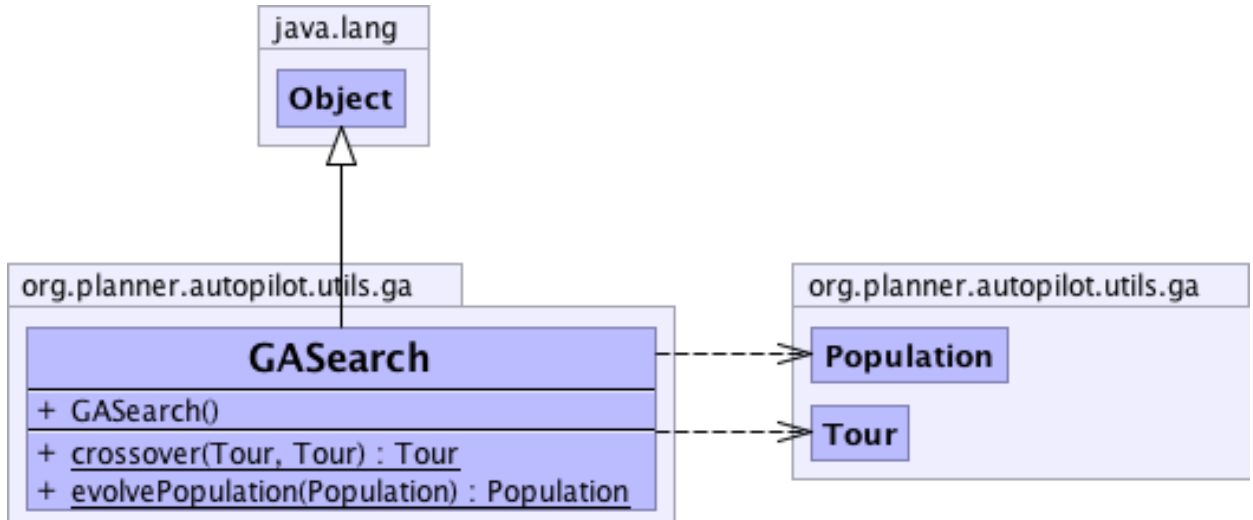
Діаграма класу контролера результату



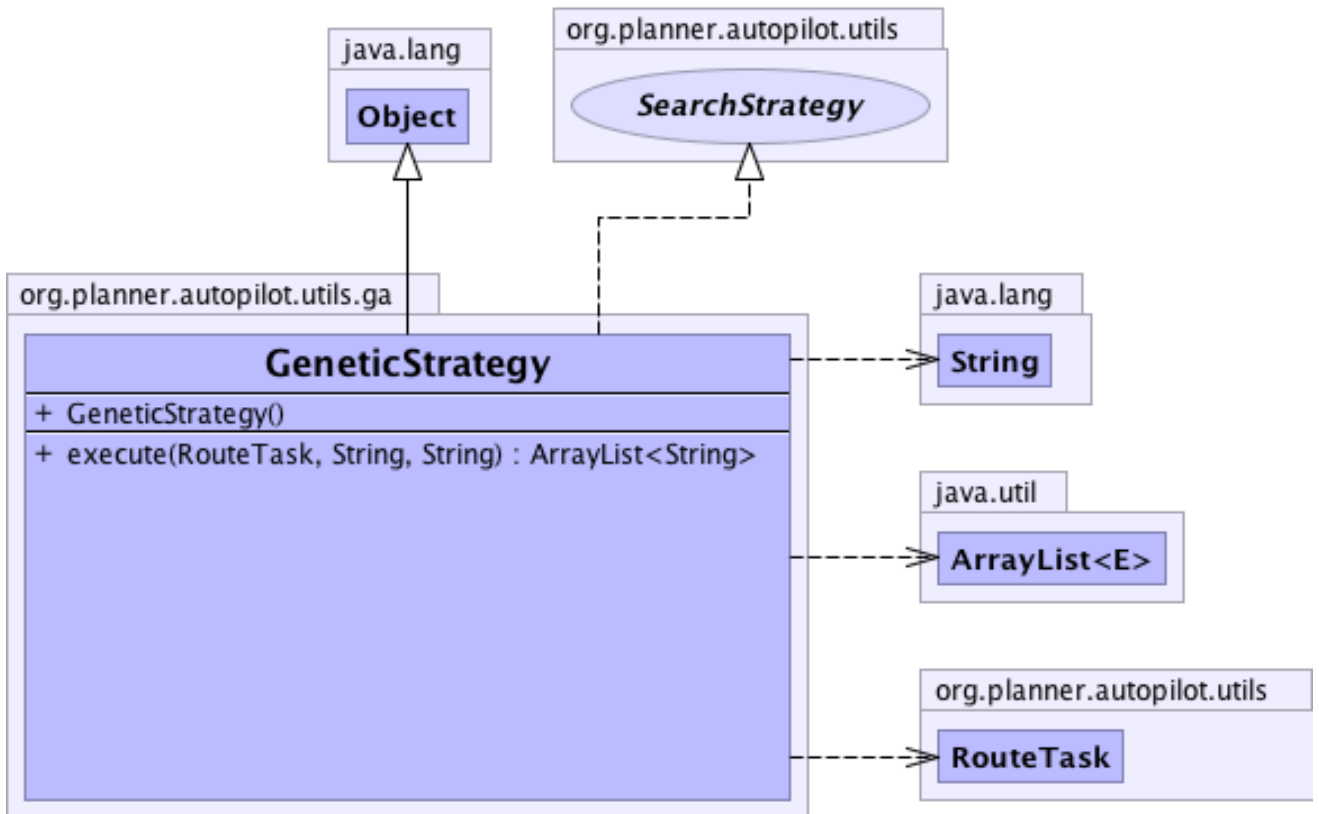
Діаграма класів пакету алгоритму A*



Діаграма класів пакету `utils`



Діаграма класу генетичного алгоритму



Діаграма класу стратегії генетичного алгоритму



ЦЕНТР ДОСЛІДЖЕНЬ
ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКОГО ПРИКОРДОННЯ
ЦЕНТР ИССЛЕДОВАНИЙ
ЮЖНО-УКРАИНСКОГО ПОГРАНИЧЬЯ
SOUTH-UKRAINIAN FRONTIER RESEARCH
CENTRE

2013 р., 21 жовтня
м. Херсон

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи кандидата технічних наук,
доцента кафедри інформаційних технологій та програмних систем Чорноморського
державного університету ім. Петра Могили **Гожого Олександра Петровича**

Дисертаційна робота Гожого О.П. пов'язана з розробкою нових інформаційних технологій динамічного планування і прийняття рішень у різних сферах застосувань і у напрямку використання різноманітних методів оцінювання і аналізу даних, моделювання, прогнозування і прийняття рішень для розробки динамічних планів з метою отримання стратегічних планів, сценаріїв і управляючих стратегій розвитку в великомасштабних інноваційних, соціальних та технологічних проектах.

Центр дослідження південноукраїнського прикордоння займається створенням експертного середовища для порівняльного опитування експертів у проблемах врегулювання придністровського конфлікту.

Дослідження, проведені протягом 2011-2013 років Гожим О.П. з використанням розробленої ним інформаційної технології на основі нечіткого ситуаційного та когнітивного моделювання для системних інформаційно-аналітичних досліджень, та відповідного алгоритмічно-програмного забезпечення, дозволяє формувати динамічні плани і сценарії розвитку ситуацій, та розробляти управляючі стратегії та плани для системних досліджень з оцінювання та прогнозування стану соціально-політичних проблем регіону.

В результаті експлуатації алгоритмічно-програмного забезпечення встановлено його високу якість і ефективність при плануванні та коригуванні заходів та досліджень які проводив центр дослідження південноукраїнського прикордоння.

Директор,
кандидат соціологічних наук,
доцент



Володимир Коробов



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ
 ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35; тел.: (032)233-32-40, факс: 233-00-88
 www.ubgd.lviv.ua

E-mail: ldubzh.lviv@mns.gov.ua

« _____ » _____ № _____

На № _____ від _____

Акт

впровадження результатів докторської дисертаційної роботи
 доцента Чорноморського державного університету ім. П.Могили
 кандидата технічних наук Гожого Олександра Петровича
 в навчальний процес Львівського державного
 університету безпеки життєдіяльності

Основним напрямком дисертації Гожого О.П. є розробка методів, моделей та, на їх основі, інформаційних технологій для вирішення задач динамічного планування. Одним із основних результатів дисертаційних досліджень є алгоритмічне та програмне забезпечення планування маршрутів для безпілотних літальних апаратів.

Для впровадження в навчальний процес Львівського державного університету безпеки життєдіяльності передано :

- програмний комплекс для вирішення задач планування маршрутів безпілотних літальних апаратів (БПЛА) AvtoPilot 1.0;

Передане програмне забезпечення для планування маршрутів БПЛА, було розроблено Гожим О.П. В результаті експлуатації програмного забезпечення в навчальному процесі університету, а також в діяльності навчальної пожежно-рятувальної частини університету встановлено його ефективність для задач планування маршрутів БПЛА та вирішення актуальних задач, пов'язаних з виявленням, моніторингом і прогнозуванням розвитку надзвичайних ситуацій.

Проректор
 з науково-дослідної роботи,
 д.т.н., доцент,
 полковник служби цивільного захисту



Т.Є. Рак

003366

ОДЕСЬКА МІСЬКА РАДА

КОМУНАЛЬНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ
міста ОДЕСИ»вул. Балаківська, 1-Б, Одеса, 65110, Україна
тел.: +38 (0482) 30-18-18, факс: +38 (0482) 30-18-48
e-mail: office@teplo.od.ua; www.teplo.od.ua

ОДЕССКИЙ ГОРОДСКОЙ СОВЕТ

КОММУНАЛЬНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ
города ОДЕССЫ»ул. Балаковская, 1-Б, Одесса, 65110, Украина
тел.: +38 (0482) 30-18-18, факс: +38 (0482) 30-18-48
e-mail: office@teplo.od.ua; www.teplo.od.ua№ _____
на № _____ від _____**Акт**впровадження результатів докторської дисертаційної роботи
доцента Чорноморського державного університету ім. П.Могили
кандидата технічних наук Гожого Олександра Петровича

Основним напрямком дисертації Гожого О.П. є розробка методів, моделей та на їх основі інформаційних технологій для вирішення задач сценарного планування, таких як розробка сценаріїв розвитку систем, оцінювання можливих варіантів розвитку систем, виявлення можливих аномалій у роботі складних технічних систем та прогнозування її технічного стану, при подальшому розвитку системи.

Комунальне підприємство «Теплопостачання міста Одеси» займається виробництвом, розподілом, та збутом теплової енергії, а також, реконструкцією та переобладнанням теплоенергетичних мереж.

Для впровадження на підприємстві передані:

- програмний комплекс для вирішення задач сценарного планування розвитку теплових мереж;
- система підтримки прийняття рішень для вирішення задач прогнозування показників розвитку елементів теплових мереж;
- програмний комплекс на основі методів багатокритеріальної оптимізації для оцінювання ефективності проектів розвитку теплових мереж.

На протязі 2009-2010 років на підприємстві впроваджено передане алгоритмічне та програмне забезпечення для оцінювання проектів розвитку теплових мереж, та для сценарного планування розвитку систем теплових мереж, яке розроблено Гожим О.П. В результаті експлуатації програмного забезпечення встановлено його високу ефективність для вирішення задач планування розвитку систем теплових мереж.

Директор КП «Т



к.т.н. Макаров С.Н.

Акт

впровадження результатів докторської дисертаційної роботи
доцента Черноморського державного університету ім.П.Могили
кандидата технічних наук Гожого Олександра Петровича

Головним напрямком дисертаційного дослідження Гожого О.П. є розробка інформаційних технологій для вирішення задач сценарного планування, таких як розробка сценаріїв розвитку систем та процесів, оцінювання можливих варіантів розвитку систем, виявлення можливих ризиків у роботі складних систем різного типу, та прогнозування подальшого розвитку систем.

Державне управління охорони навколишнього природного середовища у Миколаївській області здійснює у межах своїх повноважень комплексне управління та регулювання, та заходи у сфері охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання, відтворення та охорони природних ресурсів, забезпечення екологічної та у межах своєї компетенції радіаційної безпеки.

Для впровадження в державне управління передані:

- програмний комплекс для планування розвитку природоохоронної діяльності;
- система підтримки прийняття рішень для вирішення задач прогнозування показників розвитку природоохоронної діяльності;

На протязі 2012-2013 років в управлінні впроваджено передане програмне забезпечення для планування розвитку природоохоронної діяльності, по окремим напрямкам діяльності управління, та система підтримки прийняття рішень для вирішення задач прогнозування показників розвитку природоохоронної діяльності, яке розроблено під керівництвом Гожого О.П. В результаті експлуатації програмного забезпечення встановлено його ефективність для вирішення задач планування розвитку природоохоронної діяльності

Начальник Державного управління
охорони навколишнього природного середовища
у Миколаївській області



[Handwritten signature]
16.05.13

Ефімов В.І.