

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

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

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Львів – 2016

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Чорноморському державному університеті імені Петра Могили Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Бідюк Петро Іванович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»,
професор кафедри математичних методів
системного аналізу.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Михальов Олександр Ілліч,
Національна металургійна академія України,
завідувач кафедри інформаційних
технологій і систем;

доктор технічних наук, професор
Філатов Валентин Олександрович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, завідувач кафедри
штучного інтелекту;

доктор технічних наук, професор
Теслюк Василь Миколайович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
професор кафедри систем автоматизованого
проектування.

Захист відбудеться «26» серпня 2016 р. о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.14 у Національному університеті «Львівська політехніка» (79013, Львів, вул. С. Бандери, 12).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розіслано «30» червня 2016 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 35.052.14



А. Є. Батюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Ефективний розвиток складних динамічних систем різного типу (соціально-економічних, політичних, військових і технічних) залежить від визначення цілей, яких необхідно досягти, планування та оптимального вибору стратегій розвитку з урахуванням усіх факторів, що впливають на систему, а також урахуванням 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 й невизначеності та швидких структурних змін у зовнішньому середовищі й у різних елементах систем, для побудови планів і прогнозів розвитку систем різного типу, вирішення завдань стратегічного планування та управління.

Існуючий рівень інформаційних технологій у динамічному плануванні не задовольняє потреби аналітиків, експертів та осіб, які приймають рішення (ОПР), за якістю, надійністю, оперативністю, ступенем урахування різних типів невизначеностей і ризиків. Це пов'язано насамперед із 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 у процесі побудови динамічних планів, їхня 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 й систем підтримки прийняття рішень, які забезпечили б дослідника сучасними засобами аналізу інформації, генерування варіантів рішень, оцінками ризиків і невизначеностей, вибором і побудовою найкращого варіанта плану є складним системним завданням.

Вирішення завдань динамічного планування – це наукомісткий процес, який вимагає системного застосування різних підходів і методологій, який неможливий без застосування сучасних методів математичного моделювання, методів, алгоритмів і програмних засобів для розробки інформаційних технологій та прийняття рішень на їхній основі. Усе це свідчить про *актуальність* теми досліджень.

Розвинута в поданій роботі теорія вирішення завдань динамічного планування і прийняття рішень, розроблені моделі, методи, алгоритми та засоби ґрунтуються на дослідженнях та теоретичних результатах, отриманих такими зарубіжними вченими, як Р. Де Нойвил (динамічне стратегічне планування), Д. МакАлістер, Д. Розенблат, М. Гхалаб, Д. Люгер (інтелектуальне планування та теорія планування), А. А. Кононов, В. В. Кульба (сценарне планування), а також

вітчизняними вченими на основі праць В. М. Глушкова, В. С. Михалевича (обчислювальні методи дослідження складних систем), М. З. Згуровського, Н. Д. Панкратової, І. І. Коваленка, В. Я. Данилова (теорія та прикладні методи системного аналізу, теорія сценарного аналізу), В. П. Гладуна (планування рішень), О. А. Павлова (теорія та методи адаптивного планування у виробничих системах), П. І. Бідюка (аналіз нелінійних систем та методи прогнозування), Є. В. Бодянського, О. І. Михальова, Ю. П. Кондратенко, (методи нечіткого аналізу), В. М. Томашевського (методи моделювання) та інші.

Отже, актуальною **науково-прикладною проблемою** є підвищення ефективності планування та прийняття рішень у системах різного призначення засобами сучасних інформаційних технологій з урахуванням динаміки супутніх процесів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами. Тема дисертаційної роботи повністю відповідає науковим напрямкам, які виконуються на факультеті комп'ютерних наук, зокрема науковим дослідженням у сфері систем і методів прийняття рішень, прогнозування, побудови інтелектуальних інформаційних систем. Робота виконувалась у 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.

Мета та завдання досліджень. Метою дисертаційної роботи є підвищення якості динамічного планування завдяки подальшому розвитку та вдосконаленню методів, моделей, засобів, інформаційних технологій вирішення завдань динамічного планування та прийняття рішень в умовах наявності невизначеностей і ризиків.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі *завдання*:

– виконати аналіз наявних методів, моделей та 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 й оцінювання інформації, який враховує зміни інформації в динамічному середовищі;

– розробити метод оцінювання ризиків і невизначеностей під час оцінювання 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;
- удосконалити метод розв’язання багатокритеріальних і багатоцільових задач на основі використання методу аналізу співвідношень;
- удосконалити метод прогнозування на основі використання комбінованих прогнозів і їх оцінювання;
- створити інструментальні засоби для розв’язання прикладних завдань динамічного планування та прийняття рішень у різних галузях.

Об’єкт дослідження – процеси динамічного планування та прийняття рішень у системах управління різного призначення.

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

Методи дослідження. З урахуванням специфіки об’єкта досліджень і сформульованої мети методами дослідження є: для аналізу й обробки інформації та визначення цілей планування – методи системного аналізу та експертного оцінювання, методи статистичного й когнітивного аналізу; для моделювання й побудови структури динамічних планів – методи ймовірно-статистичного моделювання й теорії графів, методи нечіткого когнітивного моделювання, нечіткого ситуаційного моделювання, байєсівські мережі та мережі Петрі; для побудови й оцінювання прогнозів у задачах динамічного планування – методи прогнозування на основі теорії часових рядів, різницевих рівнянь, методів регресійного аналізу та байєсівських мереж; для розроблення інформаційних технологій прийняття рішень використано методи групового прийняття рішень, методи багатокритеріального аналізу та прийняття рішень, еволюційні методи й генетичні алгоритми; для побудови практичних реалізацій – методи, засоби й технології сучасного прикладного програмування.

Наукова новизна одержаних результатів:

вперше

- розроблено метод синтезу інформаційних технологій для розв’язування задач динамічного планування, який ґрунтується на принципах багато-модельного та багатокритеріального підходів, інтеграції різнотипної інформації й заснований на системному використанні методів аналізу даних, методів моделювання, методів прогнозування й методів 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 ймовірно-статистичних моделей у формі мереж Байєса, який завдяки врахуванню структурно-параметричних невизначеностей ймовірно-статистичних моделей

надає можливість визначати динамічні параметри плану та забезпечує адекватний опис причинно-наслідкових зв'язків під час розв'язування 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 й 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 під час аналізу експертної інформації в задачах планування та прийняття рішень;

- метод ситуаційного моделювання, який за рахунок використання нечітких ситуаційних мереж та часових обмежень підвищує точність урахування часових ресурсів у 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 у процесах планування із заданим рівнем якості оцінок прогнозів.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновані методи, моделі та технології забезпечують:

- зменшення часу, необхідного для розробки інформаційно-аналітичних систем з метою розв'язання задач динамічного планування та прийняття рішень у різних галузях науки та промисловості;

- підвищити достовірність оцінювання й моделювання ситуацій, за рахунок урахування причинно-наслідкових зв'язків і використання ймовірнісно-статистичних моделей у вигляді мереж Байєса;

- підвищення якості прогнозування за рахунок об'єднання й комбінування різних методів прогнозування дозволяє прогнозувати часові ряди довільної природи з різними статистичними характеристиками, дає можливість підвищити якість прогнозування в середньому до 3,5 %;

– підвищення якості рішень за рахунок використання багатокритеріальних генетичних алгоритмів під час розробки 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 %.

Особистий внесок здобувача. Усі теоретичні та практичні результати, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. Пошук та аналіз літературних джерел за тематикою дисертаційного дослідження, розроблення інформаційних технологій, моделей та методів вирішення завдань динамічного планування та прийняття рішень виконано автором особисто.

У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, автору дисертації належать: [розділи 3, 5, 6, 8] – монографія; [4] – розроблено й проаналізовано моделі; [5] – розроблено архітектуру автономної системи та алгоритми; [6; 7; 26] – розроблено архітектуру та елементи СППР; [8; 9] – розроблено і реалізовано архітектуру систем і алгоритми; [11] – запропоновано критерії ефективності; [12] – реалізовано алгоритм; [15] – розроблено методологію реінжинірингу; [18] – розроблено архітектуру фреймворку; [20] – визначено типи ризиків під час планування; [21] – розроблено модель волатильності; [22; 41] – визначено алгоритми та критерії порівняння; [25] – розроблено системну технологію динамічного планування; [29] – розроблено нечітку ситуаційну мережу; [30] – розроблено критерій оцінки; [31] – розроблено метод узгодження експертних оцінок; [32] – визначено алгоритми та критерії порівняння; [34; 35; 36] – розроблено метод; [37] – розроблено модель надзвичайної ситуації; [38; 40] – реалізовано СППР.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації було подано й обговорено більш ніж на 30 міжнародних науково-технічних конференціях та наукових семінарах і симпозіумах, серед них: 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 конференція «Автоматизація: проблеми, ідеї та рішення» (м. Севастополь, 2009, 2010, 2011, 2012); Науково-практична конференція «Теоретичні та Прикладні аспекти побудови програмних систем» (м. Київ, ТАAPSD'2010); Науково-практична конференція «Актуальні проблеми розвитку авіаційної техніки» (м. Київ, 2012); Науково-практична конференція «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); Міжнародна конференція «Інформатика. Культура. Техніка» (м. Одеса, 2013); VI Міжнародна школа-семінар «Теорія прийняття рішень» (м. Ужгород, 2012); Міжнародна конференція «Ольвійський форум» (м. Ялта,

2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, м. Миколаїв, 2014, 2015). Основні положення дисертаційної роботи розглядалися на науково-технічних семінарах факультету комп'ютерних наук Чорноморського державного університету імені Петра Могили, Національного технічного університету «Львівська політехніка», на регіональному семінарі «Математичне моделювання, проблеми управління і прикладної інформатики» в Національній металургійній академії України (м. Дніпропетровськ).

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 48 друкованих праць, серед них 1 монографія, 30 статей у фахових виданнях згідно з переліком, який затверджено ВАК України, 6 статей у закордонних фахових виданнях, 11 публікацій у збірниках праць міжнародних і національних конференцій.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 7 розділів, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 374 сторінок, з яких основного тексту – 306 сторінок. Список використаних джерел нараховує 323 найменування на 32 сторінках, додатки – на 36 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми роботи, розкрито суть і стан проблеми, сформульовано мету й завдання дослідження, об'єкт, предмет та методи дослідження, достовірність отриманих результатів, зв'язок із науковими програмами, планами, темами, сформульовано наукову новизну роботи та практичне значення одержаних результатів, кількість публікацій за темою роботи, виділено особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** виконано системологічний аналіз проблеми створення сучасних інформаційних технологій для вирішення завдань динамічного планування та прийняття рішень. Надано характеристику планування, наведено класифікацію відомих типів планування. Проведено аналіз сучасного стану досліджень у галузі відомих методів динамічного планування: стратегічного планування, сценарного планування, інтелектуального планування. Виконано аналіз наявних інформаційних систем планування. Доведено, що головними ознаками динамічного планування є зміна плану в часі відповідно до змін навколишнього середовища та наявності можливості обробки невизначеностей різного типу та супутніх ризиків.

Проаналізовано основні типи ризиків і невизначеностей, а також головні методи багатокритеріального аналізу та прийняття рішень. Виконано аналіз стану робіт у галузі технологій динамічного планування та прийняття рішень, який показав, що відсутня загальна теорія розв'язання задач динамічного планування з урахуванням невизначеностей та ризиків різного типу. Окрім того, відсутній метод побудови інформаційних технологій та інтеграції й комбінованого використання методів аналізу даних, методів моделювання, методів прогнозування й прийняття рішень для вирішення завдань динамічного планування. Наявні методи й технології вирішення задач динамічного планування

не позбавлені певних недоліків, що дозволяє говорити про можливість поліпшення їхнього функціонування, створення нових методів і алгоритмів.

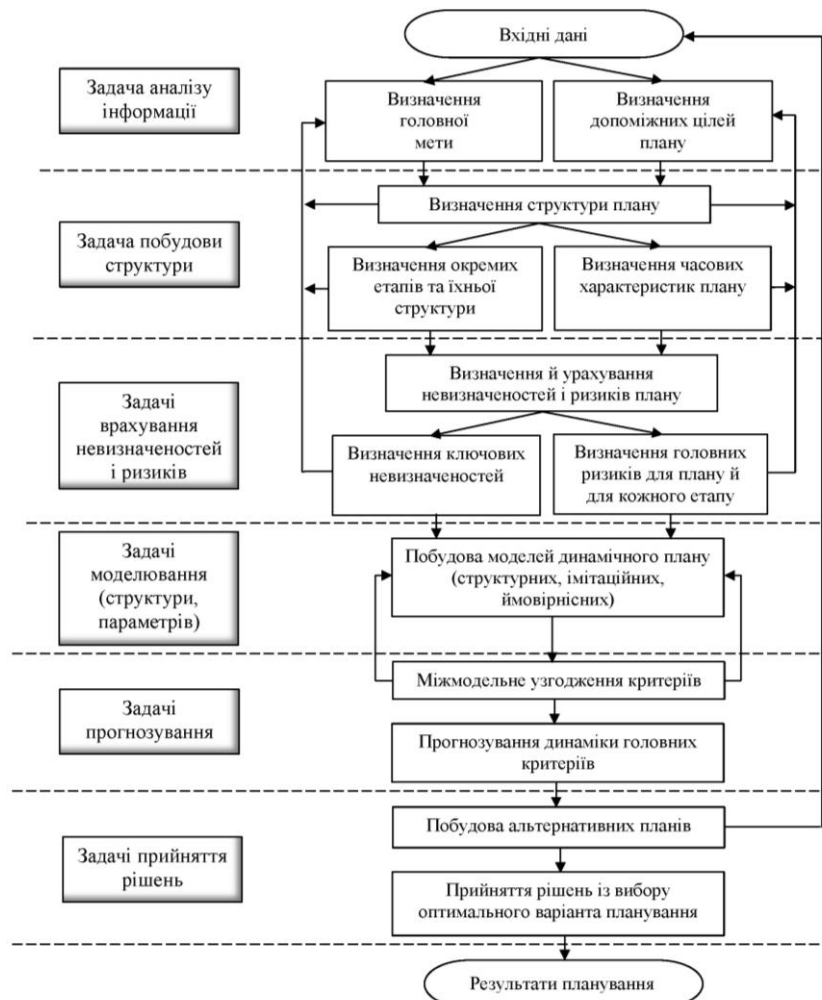
Визначено напрями досліджень стосовно створення інформаційних технологій динамічного планування та прийняття рішень. Отже, проблема ефективного вирішення задач динамічного планування та прийняття рішень як нового інструмента сучасних інформаційних технологій планування і прогнозування та недостатній рівень наукового й методологічного дослідження цих питань, свідчать про актуальність виконання дисертаційного дослідження й визначають тему та напрям цієї дисертаційної роботи.

Для вирішення визначених проблем розроблено методи та інформаційні технології, опис і застосування яких наводиться в наступних розділах роботи.

Результати досліджень, подані в цьому розділі, опубліковано в роботах [3; 16; 23; 26; 33].

У **другому розділі** досліджувались основні теоретичні засади створення інформаційних технологій динамічного планування.

Визначено основні аспекти застосування інформаційних технологій для розв'язання задач динамічного планування. Це дозволило розробити загальну послідовність задач та етапів процесу динамічного планування. Загальну послідовність представлено на рисунку 1.



Рисунк 1 – Загальна послідовність етапів і задач процесу динамічного планування

Математична структура задачі динамічного планування та прийняття рішень має вигляд:

$$\left(Q(S_t), S_D, P_D, \{R_i, i \in N\}, \{f_j, j \in M\} \right) \rightarrow opt, \quad (1)$$

де $Q(S_t)$ – модель вибору; S_t – тип структури (моделі у формі графа, 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_i – множина відношень переваг, які задані в просторі S_D і відображають вимоги до найкращого вибору. Формалізація задачі динамічного планування та прийняття рішень визначається в термінах теорії динамічних систем і теорії розв’язання задач вибору з метою визначення ефективного варіанта плану.

Для докладного опису структури динамічного плану розроблено теоретико-множинну модель динамічного плану, яка має вигляд:

$$P_D = \{Gp_D, Fp_D, Xp, Cp_D, Sp_D, Ep_D, Rp_D, Up_D, RSp_D, \tau\}, \quad (2)$$

де $Fp_D = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ – множина функцій, які реалізуються в динамічному плані; Gp_D – множина цілей, які необхідно досягти за допомогою динамічного плану; Xp – множина параметрів динамічного плану; Cp_D – множина обмежень на вхідні та вихідні параметри динамічного плану; Sp_D – множина станів динамічного плану; Ep_D – множина подій динамічного плану; Rp_D – множина зв’язків між подіями динамічного плану; Up_D – множина невизначеностей під час створення динамічного плану; RSp_D – множина ризиків під час створення динамічного плану; τ – часові параметри динамічного плану.

Для того, щоб відобразити цілеспрямоване представлення динамічного плану P_D , визначено дві групи показників: показники цілі Gp_D та показники критеріїв для прийняття рішень Xp .

Під час відображення цілей та умов їх досягнення за допомогою динамічного плану з невизначеностями Up_D та ризиками RSp_D , мети Gp_D задається стосовно множини параметрів Xp плану:

$$\begin{aligned} Gp_D &: P_D \rightarrow Xp, \\ T &: Up \rightarrow Xp, \\ T &: Rs \rightarrow Xp, \\ F &\subset Xp \rightarrow Xp, \end{aligned} \quad (3)$$

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 .

Побудова узагальненої оцінки ефективності плану зводиться до побудови 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 $y^z_t(x_p)$:

$$F_{\{f_k\}_{k \in J_K}} : (y^p_1(t), y^p_2(t), \dots, y^p_N(t)) \rightarrow y^z_t(x_p), \quad (4)$$

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.

Показано, що задачі динамічного планування формально представляються 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. Запропоновано класифікацію процедур динамічного вибору за механізмом вибору. У таблиці 1 представлено класифікацію моделей вибору для задач динамічного планування.

Таблиця 1

| № | Тип вибору | Модель вибору |
|---|--|--|
| 1 | Вибір за Парето | $\tilde{x} \tilde{\pi} \tilde{y} \Leftrightarrow (\forall i)(x_i \geq y_i) \wedge (\exists j)(x_j > y_j)$ |
| 2 | Лексикографічний вибір | $\tilde{x} \tilde{\lambda} \tilde{y} \Leftrightarrow (\exists i)(x_1 = y_1 \wedge \dots \wedge x_{i-1} = y_{i-1} \wedge x_i > y_i)$ |
| 3 | Мажоритарний вибір | $\tilde{x} \tilde{\mu} \tilde{y} \Leftrightarrow \sum_{i=1}^d \text{sign}(x_i - y_i) > 0$ |
| 4 | Вибір з упорядкованими критеріями | $\tilde{x} \tilde{\tau} \tilde{y} \Leftrightarrow (\tilde{x} \neq \tilde{y}) \wedge (\forall i) \left(\sum_{j=1}^i \text{sign}(x_j - y_j) \geq 0 \right)$ |
| 5 | Сукупно-екстремальний вибір | $C^{e3}(X) = \{x \in X \mid (\exists i) (\forall y \in X) (x_i \geq y_i)\}$ |
| 6 | Вибір за сумою рангів | $C^{CP}(X) = \left\{ x \in X \mid (\forall y \in X) \left(\sum_{i=1}^d r_i(x, X) \leq \sum_{i=1}^d r_i(y, X) \right) \right\}$ |
| 7 | Вибір із домінуючим критерієм | $C^{ds}(X) = \{x \in X \mid (\exists i_1, \dots, i_s) (\forall y \in X) ((x_{i_1} < y_{i_1}) \Rightarrow (x_{i_2} > y_{i_2}) \wedge \dots \wedge (x_{i_s} > y_{i_s}))\}$ |
| 8 | Вибір за рівноцінними однорідними критеріями | $\tilde{x} \tilde{\sigma} \tilde{y} \Leftrightarrow (\exists t)(\tilde{x} > \tilde{t} \tilde{y})$ |

Доведено, що відображення всіх основних аспектів у проблемах вибору ефективних рішень у задачах динамічного планування може бути досягнуте за допомогою багатомодельного підходу, коли вибір рішень проводиться із залученням системи різнорідних математичних моделей. Сукупність різних вимог, які висуваються 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. Це дозволяє визначити й вирішити проблеми динамічного планування як завдання багатомодельного та багатокритеріального вибору ефективних рішень на множині математичних моделей.

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

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

$$M_v = \langle Sx \in Sx_{S\beta}, f_j(x), j \in J_v \rangle, \quad (5)$$

де $f_j(x)$ – критерій, який набуває значення в 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 в рамках однієї або кількох моделей.

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

$$St^M = \langle B(M), \{r_i^{M(\alpha)}\}_{i \in N_1^M}, \{r_i^{M(\beta)}\}_{i \in N_2^M} \rangle, \quad (6)$$

де M – множина моделей, у рамках яких визначаються рішення під час розробки динамічного плану, $B(M)$ – множина всіх підмножин (булеан) множини M ; $r_i^{M(\alpha)}$ – бінарні відношення, які задані на множині, що відображає вподобання 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:

$$St^X = \langle [B(X)]^{M^*}, \{r_i^{X(\alpha)}\}_{i \in N^{X_1}}, \{r_i^{X(\beta)}\}_{i \in N^{X_2}} \rangle \quad (7)$$

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 в 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^*} за всіма моделями m^* з 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:

$$St^{m^*} = \left\langle \langle m^*, X_{m^*} \rangle, PS^{m^*}, \{r_i^{m^*(\alpha)}\}_{i \in N_1^{m^*}}, \{r_i^{m^*(\beta)}\}_{i \in N_1^{m^*}} \right\rangle, \quad (8)$$

де PS^{m^*} – множина можливих правил узгодження групи критеріїв у 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 під час вибору 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^* у єдиний комплекс представлено у вигляді наступної структури вибору:

$$St^\pi = \left\langle M^*, \pi, \{r_i^{\pi(\alpha)}\}_{i \in N_1^\pi}, \{r_i^{\pi(\beta)}\}_{i \in N_2^\pi} \right\rangle, \quad (9)$$

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

Етап 6. Побудова ефективного рішення. Проблема багатомодельного й багатокритеріального вибору ефективних рішень $Sx \in Sx_{s,\beta}$ під час побудови динамічних планів передбачає вирішення завдань вибору на структурах St^X, St^{m^*}, St^π . Формально ця проблема представлена у вигляді такої мета-структури вибору:

$$St = \left\langle Sx_{s,\beta}, St^M, St^X, \{St^{m^*}\}_{m^* \in M^*}, St^\pi, \{r_i^\beta\}_{i \in N_2} \right\rangle, \quad (10)$$

де через r_i^β позначені відношення, які обмежують вибір ефективних рішень під час побудови динамічного плану.

Згідно з принципами багатомодельного та багатокритеріального підходів розроблено метод синтезу інформаційних технологій для розв'язування задач динамічного планування, який ґрунтується на інтеграції різнотипної інформації й заснований на системному використанні методів аналізу даних, моделювання, методів прогнозування й методів прийняття рішень (рисунок 2).

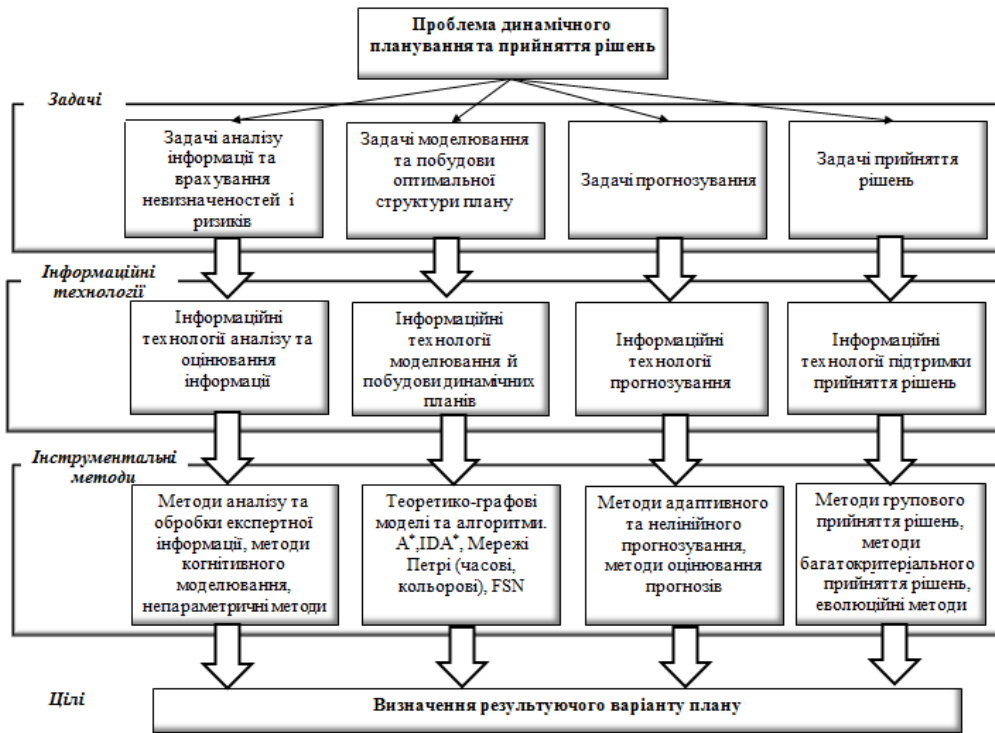


Рисунок 2 – Структура методу синтезу інформаційних технологій для розв’язування задач динамічного планування

Метод синтезу інформаційних технологій поєднує в собі задачі, які вирішуються на кожному етапі планування, інформаційні технології: *інформаційна технологія аналізу її оцінювання інформації, інформаційна технологія моделювання та побудови динамічних планів, інформаційна технологія прогнозування, інформаційна технологія підтримки прийняття рішень*. Кожна інформаційна технологія заснована на системному використанні інструментальних методів, які вирішують окремі завдання динамічного планування та прийняття рішень. Групи інструментальних методів використовуються залежно від типу й механізму вибору та конкретної задачі динамічного планування. Методи можуть використовуватись як окремо – для розв’язування окремих задач планування, так і системно для вирішення проблеми динамічного планування. Схему використання інформаційних технологій наведено на рисунку 3.

Результати досліджень, наведені в цьому розділі, опубліковано в роботах [14; 17; 33; 46; 47].

У **третьому розділі** представлено результати розробки інформаційної технології аналізу й обробки інформації. На етапі аналізу та обробки інформації було досліджено реальні процеси різної природи, які впливають на процес побудови плану.

Аналіз та обробка інформації в задачах динамічного планування спрямовано на розробку методів аналізу й оцінювання кількісної та якісної інформації, визначення кількості зовнішніх впливів і збурень та їх типу (детерміноване чи стохастичне). Окрім того, необхідно аналізувати попереднє встановлення можливості їх статистичного опису за допомогою конкретних типів розподілів випадкових величин, аналіз та встановлення основних типів ризиків та їхніх показників, ідентифікацію ключових невизначеностей та розробку методів їх подолання.

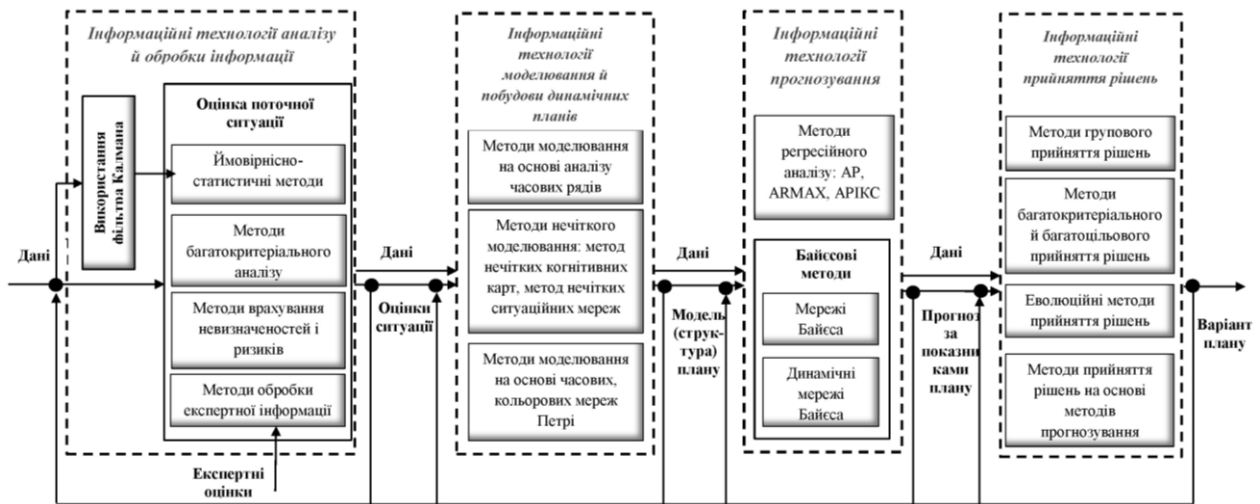


Рисунок 3 – Схема використання інформаційних технологій для розв'язування задач динамічного планування

Методи аналізу інформації під час планування поділяються на дві групи: методи аналізу якісної інформації та методи аналізу кількісної інформації. У динамічному плануванні методи аналізу якісної інформації використовуються під час виявлення цілей. Для аналізу такої інформації використовуються методи експертного оцінювання, методи багатокритеріального та ситуаційного аналізу. Кількісну оцінку інформації під час вирішення завдань динамічного планування виконують на підставі аналізу невизначеностей і ризиків, статистичного аналізу, ймовірних розрахунків та методів когнітивного моделювання, що здійснюються за допомогою експертів. У процесі аналізу якісної та кількісної інформації під час розв'язання задач планування визначаються критерії та кількісні показники динамічного плану.

Для формування якісних критеріїв розроблено процедуру експертного оцінювання. Оцінювання інформації проходить у два етапи. На першому етапі проводиться експертне опитування за методом Делфі. Отримані оцінки експертів зважують шляхом їх множення на коефіцієнт компетентності цього експерта, що вимірюється в частках одиниці. Коефіцієнт компетентності, у свою чергу, визначається методом колективної експертної оцінки.

Для врахування узгодженості між експертами запропоновано узагальнений алгоритм. Після того, як визначено взаємну узгодженість між експертами, визначається процедура вибору. Процедура вибору (наступний етап) реалізується на основі методів багатокритеріального аналізу.

Розроблено метод аналізу інформації на основі нечіткого когнітивного моделювання (рисунок 4). Основою методу є побудова нечіткої когнітивної карти проблеми та її аналіз. Аналіз когнітивної карти дозволяє виявити структуру проблеми, знайти найбільш значущі фактори, що впливають на неї, оцінити вплив факторів (концептів) один на одного. Якщо в когнітивній карті визначено цільові та вхідні концепти, на які можна впливати, то коло вирішуваних завдань включає оцінку цілей, розробку планів та пошук рішень. В основі методу міститься обчислення системних показників нечіткої когнітивної карти: консонансу c_i , дисонансу d_i , та впливу системи на концепт \bar{P}_i і концепта на систему \bar{P}_j .

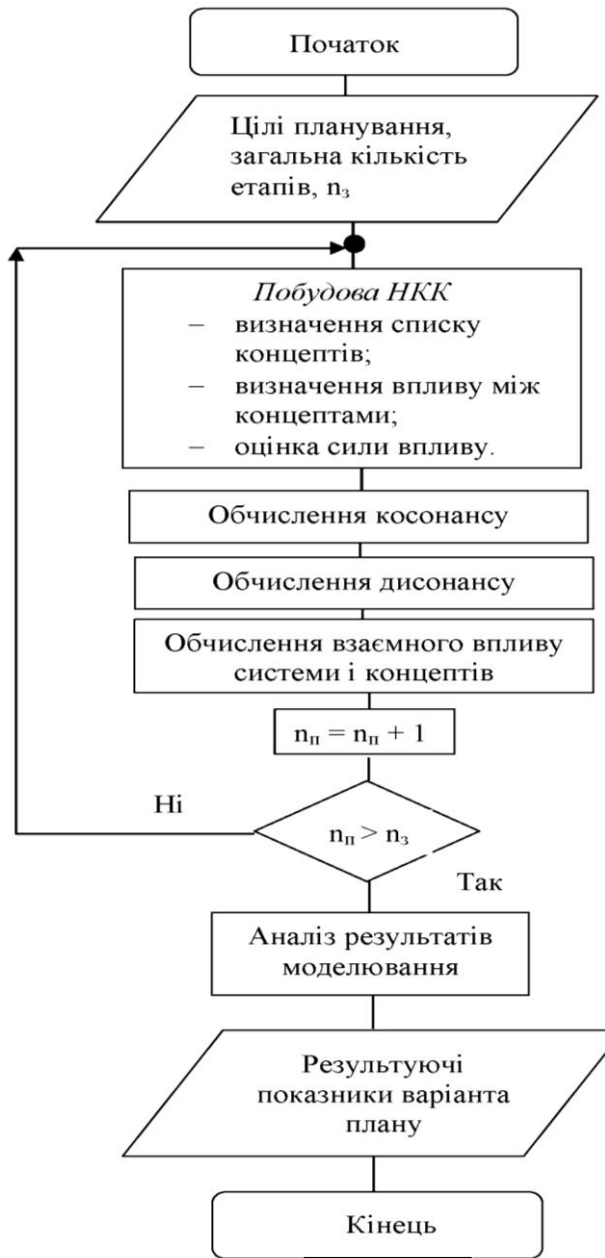


Рисунок 4 – Етапи методу аналізу інформації на основі нечіткого когнітивного моделювання

Основною кількісною мірою ризику, що показує максимально можливий збиток, який може виникнути під час реалізації плану протягом певного майбутнього періоду часу з наперед заданою ймовірністю, є VaR (*Value-at-Risk*). Показник VaR – це виражена в грошових одиницях оцінка величини, яку не перевищать протягом певного періоду втрати із заданою ймовірністю. Величина VaR розраховується на визначений період часу в майбутньому (часовий горизонт) із заданою ймовірністю його перевищення (рівень довіри) за даного припущення стосовно характеру зміни середовища. Ключовими для VaR є такі параметри: очікуваний обсяг ризику; часовий горизонт; глибина періоду

$$c_{ij} = \frac{|v_{ij} + \bar{v}_{ij}|}{|v_{ij}| + |\bar{v}_{ij}|}; \quad d_{ij} = 1 - c_{ij}; \quad \bar{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{ij}$$

$$\bar{P}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{ij} \quad (11)$$

Під час аналізу 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 відповідно до зміни ситуації й відобразити зміни в плані, що розробляється.

На рисунку 5 подано результати ітеративного обчислення системних показників НКК під час планування заходів з очищення водних ресурсів.

Для оцінювання величини ризиків у задачах динамічного планування запропоновано використовувати теорію ситуаційного ризику, а для оцінювання інших типів ризиків використовувати відповідні міри ризиків.

Ризик характеризують двома важливими аспектами: по-перше, волатильність (мінливість) індикаторів, ймовірність або частота подій, і, по-друге, чутливість критеріїв діяльності до їхніх наслідків. Відповідно, запропоновано дві основні категорії вимірювання ризиків: показники чутливості та ймовірнісні (статистичні) величини.

розрахунку VaR; ймовірність, з якою максимальні збитки не перевищують розрахованої очікуваної величини ризику.

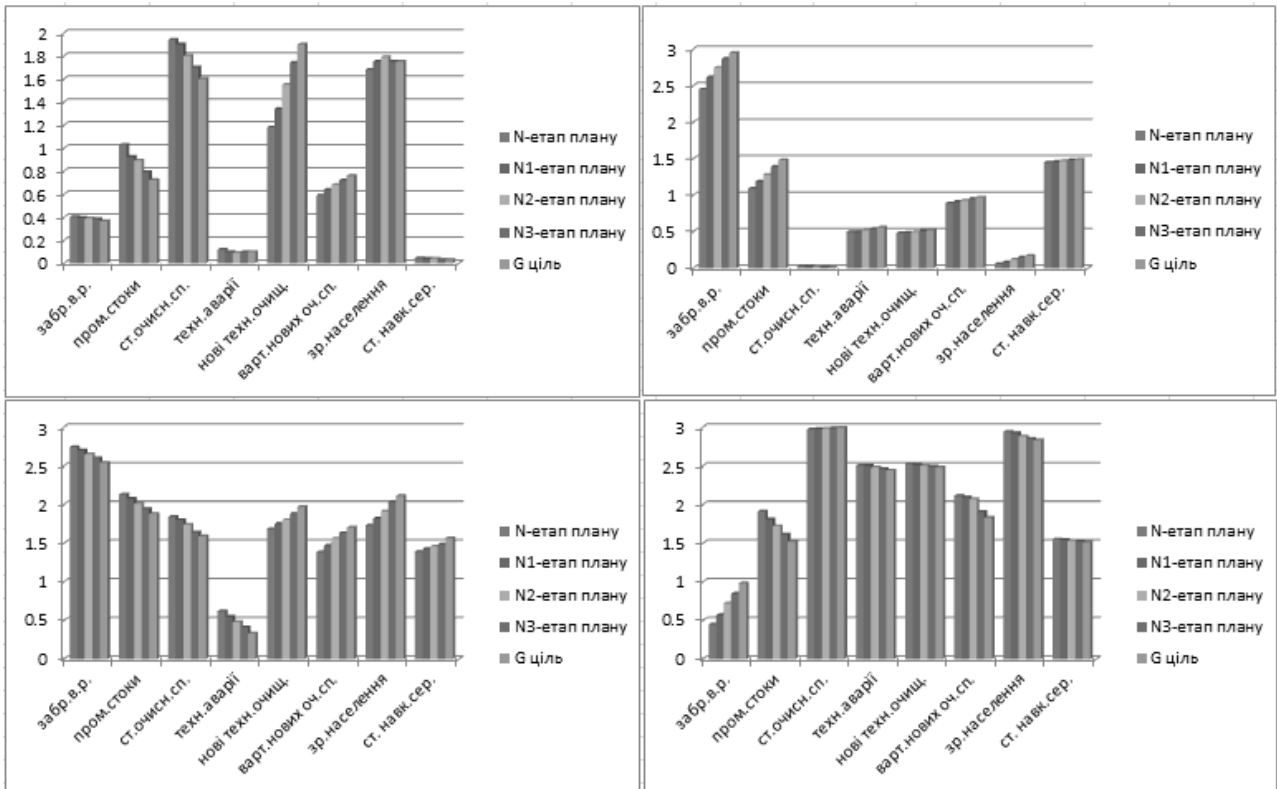


Рисунок 5 – Результати аналізу НКК: 1) консонанс c_i ; 2) дисонанс d_i ;
3) вплив системи на концепт \vec{P}_i ; 4) вплив концепта на систему \overleftarrow{P}_j

Під час розв'язання задач планування використано два методи розрахунку VaR: дельта-нормальний VaR і дельта-гама VaR.

Дельта-нормальний VaR дозволяє отримати оцінку VaR у замкнутому вигляді. У його основі міститься припущення про нормальний закон розподілу логарифмічних дохідностей факторів ризику.

$$Rs = P_{t-1}(e^{\mu - k_{1-\alpha}\sigma} - 1) \approx P_{t-1}(\mu - k_{1-\alpha}\sigma), \quad (12)$$

де: P_t , P_{t-1} – обсяги витрат на план на початку й наприкінці періоду відповідно; μ , σ – математичне сподівання й дисперсія прибутковості активу, відповідно; $k_{1-\alpha}$ – квантиль нормального розподілу ймовірностей, що показує, на яке число стандартних відхилень по відношенню до середнього може максимально відхилитися значення випадкової величини з довірчою ймовірністю $1 - \alpha$. Звідси визначається найбільша зміна ціни активу Rs за період t з довірчою ймовірністю $1 - \alpha$. Отже, знаючи поточну вартість активу P_{t-1} , його очікувану прибутковість μ і волатильність σ за горизонт розрахунку Rs , можна за формулою знайти значення ризикової вартості плану Rs із часовим горизонтом t і довірчим інтервалом $1 - \alpha$.

У випадку з довільним часовим горизонтом припустимо, що необхідно оцінити R_s для плану з горизонтом 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 у конкретний момент часу й у подальшому змінюється під впливом новин, що не були заздалегідь прогнозовані. У 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 – пропорційною квадратному кореню від T :

$$R_s = P_{t-1} \left(\mu \frac{T}{t} - k_{1-\alpha} \sigma \sqrt{\frac{T}{t}} \right). \quad (13)$$

Для оцінювання ризику окремих показників плану пропонується такий метод. Першим кроком методу оцінювання є процедура декомпозиції елементів плану за факторами ризику. Вартість кожного такого елемента плану представляється у вигляді аналітичної залежності від множини факторів ризику. При цьому передбачається, що прибутковості факторів ризику підпорядковані спільному нормальному розподілу ймовірностей. Виділені фактори ризику можуть чинити різний вплив одночасно на кілька елементів плану. У зв'язку з цим виділяються так звані стандартизовані позиції. Другим кроком є визначення вартості показників плану, які подаються у вигляді алгебраїчної суми таких позицій. Кожна зі стандартизованих позицій повинна являти собою функцію лише тільки одного фактора ризику й мати таку ж дельта-чутливість до факторів ризику, як весь план. Під дельта-чутливістю визначається величина зміни вартості показника за нескінченно малої зміни фактору ризику. За такого вибору стандартизованих позицій дельта-чутливості показників плану стандартизованих позицій до кожного з факторів ризику виявляються рівними.

Використовуючи правило виділення стандартизованих позицій, а також розкладання функції вартості плану (V) у ряд Тейлора в межах її поточного значення, запропоновано такі співвідношення:

$$\Delta V \approx \sum_{i=1}^n \frac{\partial V(r_1, \dots, r_n)}{\partial r_i} \Delta r_i = \sum_{i=1}^n \frac{\partial S_i(r_i)}{\partial r_i} \Delta r_i, \quad (14)$$

де: ΔV , Δr_i – прирости вартості плану та i -го фактору ризику відповідно; r_1, r_2, \dots, r_n – виділені фактори ризику; S_1, S_2, \dots, S_n – виділені стандартизовані позиції (стани системи під час планування); $V = S_1 + S_2 + \dots + S_n$ – вартість плану.

Для оцінювання невизначеностей у задачах динамічного планування було використано поняття ситуаційної невизначеності, для оцінювання інших типів невизначеностей – ймовірнісні-статистичні методи. Типи невизначеностей і методи їх подолання представлено в таблиці 2.

| № | Тип невизначеності | Метод подолання |
|---|---|---|
| 1 | Ситуаційна невизначеність | Експертні методи (ймовірнісна оцінка) |
| 2 | Статистичні невизначеності | Фільтр Калмана |
| 3 | Невизначеність через відсутність спостережень | <ul style="list-style-type: none"> – 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 та їхніх параметрів, які визначаються на основі наявної частини вибірки даних; – використання методів оптимізації; – відповідні форми ЕМ-алгоритмів; – експоненціальне згладжування |
| 4 | Невизначеність параметрів моделі | Метод Монте-Карло, Ланцюги Маркова |
| 5 | Структурна невизначеність | AR, ARMA, статистичні критерії, адаптивна оцінка часу затримки й типу розподілу даних та його параметрів; опис виявлених нелінійностей процесів за альтернативними аналітичними формами з подальшою оцінкою адекватності моделі та якості прогнозів |
| 6 | Невизначеність амплітудного типу | Методи обробки нечіткої інформації |
| 7 | Ймовірнісні невизначеності | Мережі Байеса, динамічні мережі Байеса (ДБМ), приховані моделі Маркова (дискретні й безперервні), фільтри Калмана |

Розроблено метод аналізу й оцінювання ризиків та невизначеностей у процесі моделювання ситуацій та оцінювання, а також для вибору варіантів розвитку ситуації (рисунок 6). Метод полягає в тому, що під час аналізу й оцінювання ситуації на кожному етапі плану визначається тип і величина ризиків, а також оцінюються і враховуються ступінь і тип невизначеності для вибору варіанта розвитку ситуації. Оцінка ситуації плану з урахуванням величин ризиків і невизначеностей має такі вигляд:

$$F(n) = \sqrt{Rs_n * \sum Rs_i + Us_n * \sum U_i}, \quad (15)$$

де $F(n)$ – значення оцінки n -ї ситуації; Rs_n – ситуаційний ризик (ймовірність ненастання ситуації), Rs_i – ризики, які притаманні певній ситуації, Us_n – ситуаційна невизначеність (ймовірність настання ситуації), U_i – невизначеності, притаманні ситуації. Процедура врахування ризиків та невизначеностей під час побудови динамічного плану є ітераційною та багатокроковою й використовується залежно від кількості етапів плану й кількості ситуацій, які потрібно оцінити.

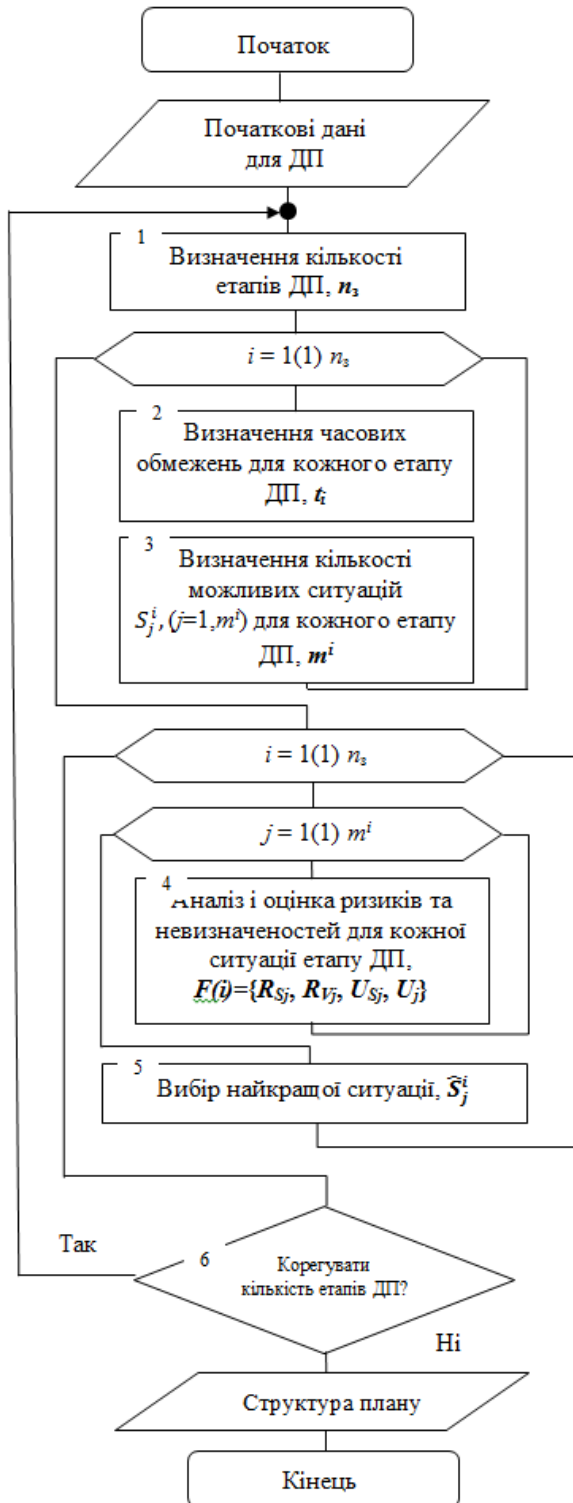


Рисунок 6 – Етапи методу побудови структури динамічного плану

Результати досліджень, наведені в цьому розділі, опубліковано в [3; 9; 12; 19; 20; 23; 27; 31].

У **четвертому розділі** розглядаються питання побудови інформаційних технологій моделювання та побудови динамічних планів. Для розв'язання задачі побудови структури динамічного плану розроблено метод, етапи якого наведено на рисунку 6. Метод базується на результатах оцінювання ризиків і невизначеностей. Показано, що процес розробки плану може бути представлено ситуаційною моделлю у вигляді графа $G = \langle S, R \rangle$, де $S = \{S_j^i\}$ – множина вершин (ситуацій); $R = \{R_{j_1}^{i_1}, R_{j_2}^{i_2}\}$ – множина ребер графа. Кожне ребро визначається парою вершин, що з'єднується. Вибір кожної ситуації в етапі здійснюється на основі методу аналізу й оцінювання ризиків та невизначеностей (рисунок 7).

Для побудови інформаційних технологій моделювання використано різні класи математичних моделей. Класифікацію моделей під час вирішення завдань планування представлено на рисунку 8. Під час використання ймовірно-статистичних моделей спочатку вирішується задача вибору структури моделі. Структура моделі оцінюється наближено на підставі дослідження закономірностей протікання процесу, аналізу кореляційних функцій, візуального аналізу даних. При цьому вибирається кілька найбільш

ймовірних структур (кандидатів). Потім обчислюються оцінки параметрів моделей-кандидатів, обирається краща з них, використовуючи відповідні статистичні характеристики якості моделей.

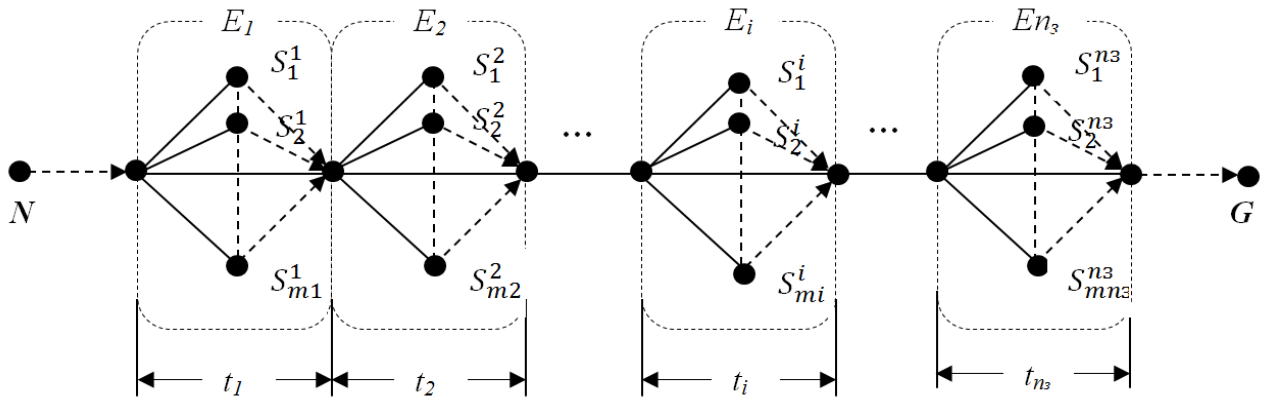


Рисунок 7 – Ситуаційна модель динамічного плану

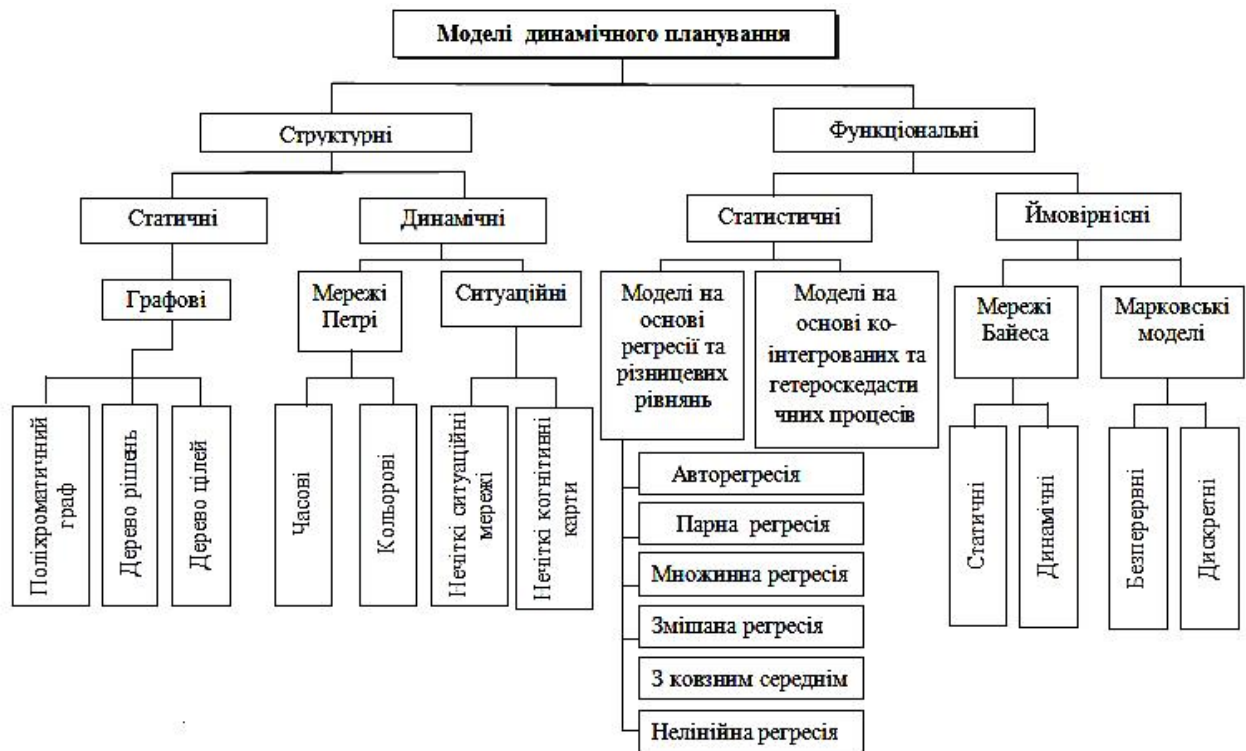


Рисунок 8 – Класифікація моделей під час вирішення завдань планування

Під час використання ймовірнісно-статистичних методів застосовуються моделі в просторі станів. Для неперервного часу лінійна модель у просторі станів має такий вигляд:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}(t)\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}(t)\mathbf{u}(t) + \mathbf{w}(t), \quad (16)$$

$$\mathbf{z}(t) = \mathbf{H}(t)\mathbf{x}(t) + \mathbf{v}(t), \quad (17)$$

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 в 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.

Модель у просторі станів для дискретного часу має такий же вигляд, як і (16), (17), але методи отримання матриць \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{H} інші. Модель має такий вигляд:

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{F}\mathbf{x}(k) + \mathbf{w}(k), \quad (18)$$

$$\mathbf{z}(k) = \mathbf{A}^T \mathbf{u}(k) + \mathbf{H}^T \mathbf{x}(k) + \mathbf{v}(k), \quad (19)$$

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) розмірності $[p \times 1]$. $\mathbf{w}(k)$, $\mathbf{v}(k)$ – вектори збурень стану й 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:

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

Однією з проблем під час визначення структури моделі є встановлення факту наявності нелінійностей у досліджуваному процесі та типу нелінійностей. Для розв'язання цієї проблеми використовується візуальний аналіз даних та формальні тести на наявність нелінійностей. Необхідно оперативно виявити наявність відрізків із лінійним або нелінійним трендом, наявність гетероскедастичності та значних імпульсних викидів (екстремальних значень), які можуть суттєво впливати на якість моделі.

Для аналізу нелінійностей запропоновано й використано тест на наявність нелінійності. Тест використовується у випадку, коли можна набрати кілька груп (реалізацій) спостережень для одного й того ж процесу:

$$\hat{F} = \frac{\frac{1}{m-2} \sum_{i=1}^m n_i (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2}{\frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}, \quad (20)$$

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.

Для вирішення завдань динамічного планування застосовуються моделі на основі регресії. Основні типи регресійних моделей такі: моделі на основі авторегресії, парної, множинної регресії, моделі нелінійні стосовно параметрів, моделі гетероскедастичних і коінтегрованих процесів.

У випадках наявності системної невизначеності, що пов'язана з нечіткими, неточними, розпливчастими властивостями систем і процесів, що моделюються, використовуються підходи до формального опису невизначених, неточних і ненадійних факторів, зокрема до формального представлення якісних експертних оцінок. Найбільш ефективними та системними для задач планування є нечіткі ситуаційні моделі та нечіткі когнітивні моделі.

Розроблено метод ситуаційного моделювання на основі нечітких ситуаційних мереж із часовими обмеженнями. Ситуаційні моделі на основі нечітких ситуаційних мереж ґрунтуються на представленні сукупності типових станів системи у вигляді вузлів графа, переходи якого відповідають керуючим рішенням. 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 нечіткій ситуаційній мережі. Набір нечітких, управляючих рішень, необхідних для виводу рішень по поточній ситуації, а також їхня послідовність для досягнення цільової ситуації визначаються стратегією управління – нечітким маршрутом у нечіткій ситуаційній мережі між поточною та цільовою ситуаціями.

Метод складається з таких кроків:

1. Визначення множини типових станів для ситуації s_n .
2. Визначення керуючих рішень r .
3. Установлення ступенів переваг α_i і часових переваг τ_i для кожної ситуації.
4. Визначення остаточної множини керуючих рішень.
5. Визначення остаточного варіанта ситуаційної моделі.

Модель на основі нечіткої ситуаційної мережі з часовими обмеженнями має такий вигляд:

$$G = (S, R, \alpha_i, \tau_i), \quad (21)$$

де $S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ – вершини нечіткої ситуаційної мережі, які відповідають еталонним нечітким ситуаціям; R – множина ребер між вершинами, які представляють можливі керуючі рішення; $\alpha_i(s_i, R_j)$ – ступінь переваги застосування керуючого рішення R_j у ситуації S_j , порівняно з іншими рішеннями з множини R ; τ_i – часові обмеження на i -у ситуацію. Було розроблено ситуаційні моделі на основі нечітких ситуаційних мереж із часовими обмеженнями для розв'язування завдань розподілу ресурсів і планування польотів БПЛА.

Для побудови динамічних ситуаційних моделей запропоновано використання кольорових мереж Петрі.

Метод побудови динамічних ситуаційних моделей на основі кольорових мереж Петрі полягає в такому:

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. Задати F та 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, й умови ініціалізації переходів Itn (часові).

5. Побудувати ситуаційну модель.

Динамічна модель ситуації у вигляді кольорової мережі Петрі має вигляд:

$$DSM = (S, T, F, M_0, Tr, Tm, Itn) \quad (22)$$

Приклади побудови динамічних моделей за допомогою кольорових мереж Петрі представлено на рисунку 9.

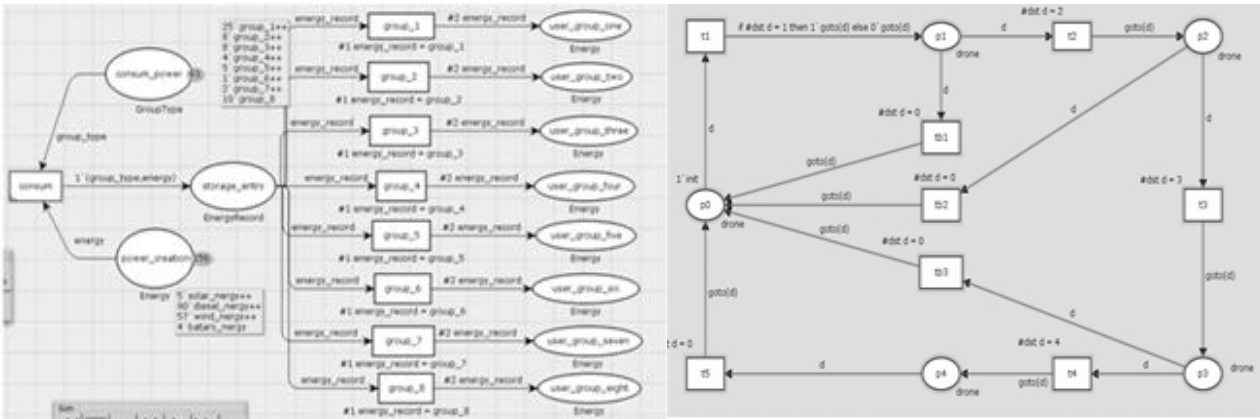


Рисунок 9 – Динамічні ситуаційні моделі на основі кольорових мереж Петрі:
а) модель енергетичної системи; б) модель плану польоту БПЛА

На основі методів моделювання, що ґрунтуються на теорії часових рядів, методів нечіткого моделювання, а також методів моделювання на базі кольорових і часових мереж Петрі розроблено інформаційну технологію моделювання.

Результати досліджень, наведені в цьому розділі, опубліковано в роботах [1; 2; 4; 10; 12; 29; 37; 39].

У **п'ятому розділі** досліджено питання розробки інформаційної технології прогнозування для вирішення задач динамічного планування на основі використання різних методів.

Використання існуючих методів прогнозування в задачах планування, які ґрунтуються на аналітичних процедурах, логічних правилах та раціональному експертному оцінюванні, у багатьох випадках не дають бажаного результату стосовно якості оцінок прогнозів, а тому виникає проблема системного використання альтернативних методів прогнозування для підвищення якості оцінок.

У розділі розроблено концепцію адаптивного прогнозування процесів довільної природи для розв'язання задач динамічного планування на основі методології системного аналізу, яка передбачає ієрархічний аналіз процесів моделювання та прогнозування, урахування невизначеностей структурного параметричного та статистичного характеру, адаптування структури й параметрів моделей до змін у процесах та застосування альтернативних методів

оцінювання параметрів моделей з метою пошуку кращих оцінок прогнозів за допомогою множини числових критеріїв їхньої якості (рисунок 10).

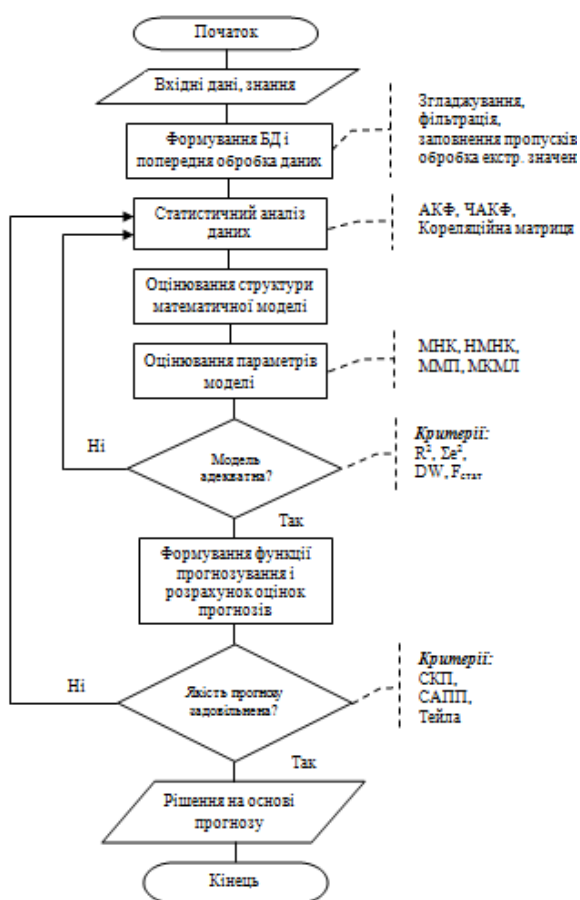


Рисунок 10 – Адаптивний підхід до прогнозування

Досліджено питання прогнозування динаміки розвитку процесів. Прогнозування стосується таких складових процесу: детермінованого тренду як показника довгострокових змін досліджуваного процесу; нерегулярного тренду як показника коротко- та середньострокових змін – випадкова складова тренду; прогнозування коливань або відхилень, що накладаються на тренд – це короткострокові зміни; оцінювання прогнозів сезонних ефектів; аналіз та прогнозування приростів або швидкості змін процесу в часі, які визначаються першими різницями; оцінювання прогнозу дисперсії або її стандартного відхилення (як міри розсіювання); прогнозування якісних змінних за допомогою нечітких множин, мереж Байеса; оцінювання комбінацій прогнозів згаданих елементів досліджуваних процесів.

У таблиці 3 представлено складові прогнозування динаміки для математичного опису складових процесів різної природи.

Таблиця 3

Складові прогнозування 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, коротко-часових 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 в | Прогнозування дисперсії |

| | | | |
|--|--|---|--|
| | | 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 | |
|--|--|---|--|

Для моделювання причинно-наслідкових зв'язків під час оцінювання прогнозів та для подолання невизначеностей було використано мережі Байєса. Мережа Байєса (МБ) представляється трійкою $N = \langle V, G, J \rangle$, першою компонентою якої є множина змінних V ; другою – спрямований ациклічний граф G , вузли якого відповідають випадковим змінним модельованого процесу; J -спільний розподіл ймовірностей змінних $V = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$.

Запропоновано процедуру побудови БМ, яка складається з таких етапів:

Етап 1. Скорочення розмірності задачі моделювання.

Етап 2. Масштабування розподілів даних з метою їх приведення до зручної для подальшого використання форми й дискретизація неперервних змінних.

Етап 3. Формулювання семантичних обмежень.

Етап 4. Пошук структур моделей-кандидатів. На цьому кроці з множини можливих структур моделей вибирається декілька кращих моделей-кандидатів за допомогою відповідних критеріїв якості та оцінюються їх параметри.

Етап 5. На цьому етапі виконується порівняння характеристик ймовірнісних моделей-кандидатів з метою вибору кращої для опису досліджуваного процесу.

Розроблено метод прогнозування на основі адаптивного підходу з комбінованим використанням регресійних та ймовірнісно-статистичних моделей у формі мереж Байєса, який дає можливість зменшити обсяги 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 із надходженням нових свідчень (вимірів). Ймовірнісний висновок на основі ДММ являє 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:

$$p(Y = y | X_1, \dots, X_m) = \begin{cases} \sum_{i=1}^l \alpha_i p(Y = y | \mathbf{X}_i, \mathbf{X}_{j \neq i} = x_j^*), & \text{якщо } y \neq y^*; \\ 1 - \sum_{y' \neq y^*} p(Y = y' | \mathbf{X}_1, \dots, \mathbf{X}_l), & \text{якщо } y = y^*, \end{cases} \quad (23)$$

де y^* – стани залежної змінної, які відповідають окремим впливам змінних $\mathbf{X}_i, i=1, \dots, l$; $\alpha_i \geq 0, i=1, \dots, l$ – параметри моделі, які повинні задовольняти умову:

$$\sum_{i=1}^k \alpha_i p(Y | X_i, X_{j \neq i} = x_j^*) \leq 1.$$

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:

$$E(y(k) | \mathbf{X}(k), \dots, \mathbf{X}(k-l)) = \sum_{i=0}^l f_i(\mathbf{X}(k-i)), \quad (24)$$

де $f_i(\cdot)$ – довільні функції.

Етап 4. Формування динамічної мережевої моделі, за якою буде обчислюватись прогноз. Головною особливістю 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 ймовірнісної моделі:

$$p(Y(k)=y | \mathbf{X}(k), \dots, \mathbf{X}(k-l)) = \begin{cases} \sum_{i=1}^l \alpha_i(k) p(Y(k)=y | \mathbf{X}(k-i), \mathbf{X}_{j \neq i}(k-j) = x^*(k-j)), & \text{якщо } y \neq y^*; \\ 1 - \sum_{y' \neq y^*} p(Y(k)=y' | \mathbf{X}(k), \dots, \mathbf{X}(k-l)), & \text{якщо } y = y^*. \end{cases} \quad (25)$$

Етап 6. Отримання остаточного результату. На основі моделі розглянутого типу за узагальненим алгоритмом формується ймовірнісний висновок. Алгоритм складається з таких кроків:

1. Виконується адитивна декомпозиція БМ на окремі складові загальної мережі.
2. Вивід окремих підмножин вузлів основної моделі виконується за L – S алгоритмом.
3. 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 рекурсивно до тих пір, поки розмірність найбільшої підмножини кожної підмережі не стане меншою від вибраного порогового значення. Отримане в такий спосіб дерево підмереж містить підмережі, на яких і формується ймовірнісний висновок із використанням вагових коефіцієнтів α_i .

На рисунку 11 представлено результати прогнозування, отримані за допомогою динамічної мережної моделі, порівняно з результатами, отриманими за допомогою логістичної регресії в комбінації з множинною регресією.

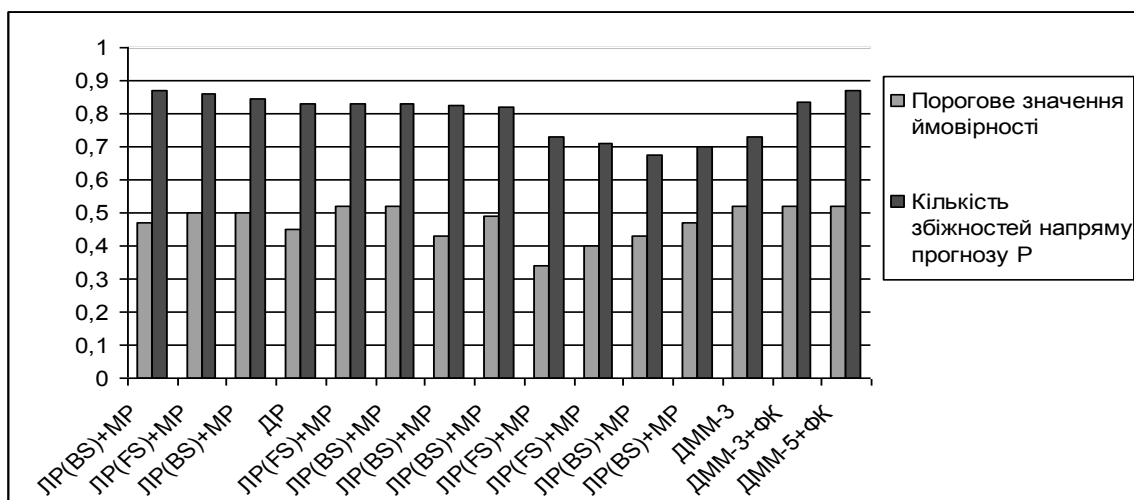


Рисунок 11 – Результати прогнозування ДММ, порівняно з іншими методами прогнозування

Оцінювання якості прогнозів, обчислених за побудованими моделями, здійснюється на основі процедури автоматизованого вибору кращої прогнозної моделі, у якій для вибору було використано інтегральний критерій якості:

$$IK = e^{1-R^2} + \frac{SSE}{N} + \begin{cases} \ln(AIC + BSC), & \text{якщо } AIC + BSC > 0 \\ e^{AIC+BSC}, & \text{якщо } AIC + BSC \leq 0 \end{cases} + e^{2-DW} + \ln(SKП) + \ln(CAПП) + e^U, \quad (26)$$

де $SKП$ – середньоквадратична похибка однокрокового прогнозу на навчальній (історичній) вибірці; $CAПП$ – середня абсолютна похибка прогнозу в процентах; U – коефіцієнт Тейла; DW – статистика Дарбіна-Уотсона; R^2 – коефіцієнт множинної детермінації; AIC – інформаційний критерій Акайке; BSC – статистика Байеса – Шварца; $\sum e^2(k)$ – сума квадратів похибок моделі; F – статистика Фішера.

Процес прогнозування вдосконалено за рахунок використання оцінок комбінованих прогнозів. Він характеризується зменшенням обчислювальних ресурсів та алгоритмічної складності процедур її використання в процесах планування з визначеним рівнем якості прогнозів. Під час використання комбінованих прогнозів використовуються такі методи комбінування оцінок прогнозів: усереднення прогнозів, зважене усереднення прогнозів та методи оптимізаційного типу.

Результати досліджень, наведені в цьому розділі, опубліковано в роботах [1; 6; 7; 21; 25; 30]

У шостому розділі вирішуються завдання побудови інформаційних технологій прийняття рішень на основі різних підходів і методів для вирішення завдань динамічного планування.

Створено СППР на основі методів групового прийняття рішень. Для цього використано такі методи: метод Кондорсе, метод Борда, методи Копленда й голосування.

Розглянуто питання створення СППР на основі багатоцільових методів. Досліджено, що складність багатоцільового вибору полягає в першу чергу в 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 задачу за допомогою багатьох методів і, порівнюючи результати досліджень, обирати раціональне рішення.

Удосконалено метод розв'язання багатоцільових задач за рахунок використання методу аналізу співвідношень. Метод складається з таких кроків: Крок 1. Визначаються цілі планування та альтернативні варіанти їх досягнення. Крок 2. Побудова системи співвідношень. Будується матриця відношень різних альтернатив до різних цілей X . Крок 3. Обчислення відношення альтернативи до цілі $x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}}$. Крок 4. Визначення нормованої оцінки варіанта $y_j^* = \sum_{i=1}^{j=g} x_{ij}^* - \sum_{i=g+1}^{j=n} x_{ij}^*$. Крок 5. Визначення наближення до цілі $R_{ij} = (r_i - x_{ij}^*)$ (визначення відхилень від цілей і кореляція з відхиленнями від початкової точки). Крок 6. Визначення найкращого варіанта рішення.

Розглянуті питання побудови СППР на основі методу аналізу співвідношень. Представлено результати розробки СППР та її використання для розв'язання багатоцільових задач.

Розроблено метод розв'язування багатокритеріальних завдань на основі еволюційних та генетичних алгоритмів. Метод складається з послідовного використання таких алгоритмів: NSGA-II, AMGA-2 та E-MOEA для розв'язання прикладної задачі й вибору рішення з множини найкращих. Вибір алгоритмів зумовлений об'єктивними характеристиками, перевагами і властивостями цих алгоритмів, які наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

| Тип алгоритму | Властивості алгоритму |
|---------------|--|
| NSGA-II | <ol style="list-style-type: none"> 1. Зменшення складності алгоритму до $O(mN^2)$ шляхом використання оптимальних структур даних. 2. Використання зовнішнього архіву з елітарними розв'язками. 3. Реалізація розділення придатності без використання додаткових параметрів. 4. Підтримка розмаїття 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. |
| E-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. |

Розроблено СППР на основі багатокритеріальних еволюційних та генетичних алгоритмів. Аналіз результатів обчислювальних експериментів свідчить про те, що алгоритм NSGA-II вимагає для роботи більше часу, порівняно з іншими алгоритмами, але всі результуючі рішення є потенційно оптимальними. AMGA-2 вимагає трохи менше часу, але в результаті певна кількість розв'язків відсікається. ε-МОЕА виявився найшвидшим, але спостерігається тенденція пропускати розв'язки.

За допомогою розробленої СППР проведено моделювання й розрахунок сезонного плану вироблення енергетичних ресурсів в автономній енергетичній системі з використанням альтернативних джерел енергії (вітроенергетичної установки ВЕУ-250, сонячних батарей).

Розроблено й побудовано СППР, за допомогою якої вирішуються задачі прогнозування. СППР має ієрархічну структуру для аналізу даних у вигляді часових рядів. Під час розв'язання задач планування в дослідженні динамічних процесів головним питанням є обробка статистичних даних. Обробка статистичних даних, представлених часовими рядами, як правило, супроводжується невизначеностями різного типу. Зокрема, це невизначеності структурні, статистичні й параметричні. Процес обробки даних та врахування невизначеностей різного типу, ієрархічність організації системи обробки даних, а також необхідність функціональної повноти СППР вимагають застосування системного підходу, що забезпечує можливість вирішення багатьох задач, які виникають у статистичному аналізі даних під час побудови моделі, оцінювання прогнозів та генерування альтернативних рішень. Системною властивістю СППР є й те, що вона використовує окремі множини статистичних критеріїв для аналізу якості даних, адекватності побудованої моделі та якості оцінок прогнозів, згенерованих за моделлю. Якщо прогнози використовуються для генерування альтернативних рішень, то включається ще один набір критеріїв для перевірки якості прийняття рішень.

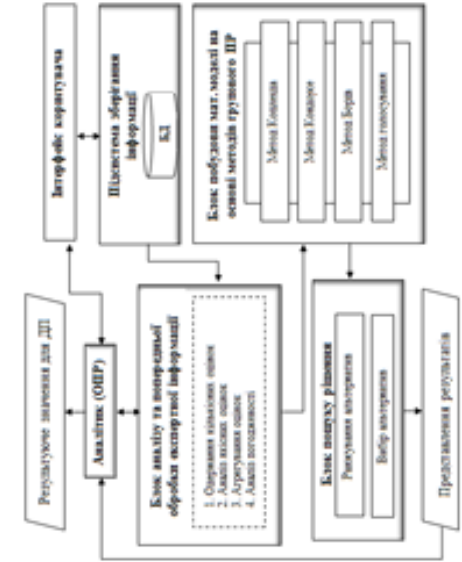
На основі запропонованих і досліджених методів та розроблених СППР запропонована інформаційна технологія прийняття рішень (рисунок 12).

Результати досліджень, наведені в цьому розділі, опубліковано в роботах [6; 7; 8; 13; 18; 24; 32; 35; 36; 38; 40; 41; 43; 45; 48].

У сьомому розділі наведено результати практичного використання розроблених моделей і методів інформаційних технологій для вирішення практичних задач динамічного планування.

Розв'язано задачу планування розподілу енергетичних ресурсів в автономній енергетичній системі. Для вирішення проблеми оптимального розподілу енергії від різних джерел до різних груп споживачів визначено джерела енергії, системи постачання та споживачі енергії. Побудовано ситуаційні моделі процесу для детального визначення та дослідження ключових параметрів системи. Побудовано плани розподілу енергоресурсів. Автономна енергетична система являє собою систему, яка складається з джерел енергії, підсистем, які генерують енергію, та системи споживачів енергії. Розглядаються три типи ресурсів енергії: енергія вітру, електричний струм та сонячна енергія. Крім цього, існують чотири типи енергетичних потреб: в охолодженні, обігріві, прісній воді та електричному струмі.

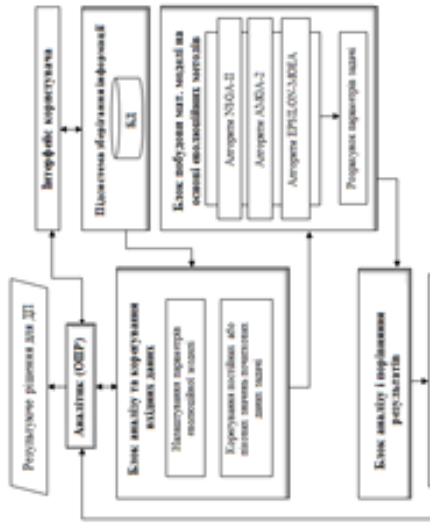
СППР на основі методів групового ПР



СППР на основі багатокритеріальних методів



СППР на основі еволюційних методів і алгоритмів



СППР на основі методів прогнозування

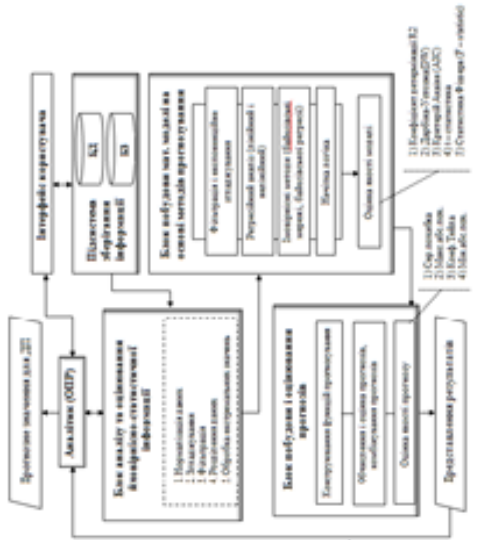


Рисунок – 12. Інформаційна технологія прийняття рішень

Головне завдання полягає в розробці планів сезонного оптимального розподілу електричної енергії між споживачами, яка виробляється за допомогою вітрового генератора, сонячних батарей та дизель-генератора. Для моделювання ситуацій під час розподілу енергії було використано кольорові мережі Петрі. Побудовано ситуаційні моделі сезонного розподілу електроенергії. Для вирішення задач планування розподілу енергії було використано СППР для вирішення багатокритеріальних і багатоцільових задач на основі алгоритмів NSGA-II, AMGA-2 та ϵ -MOEA. У результаті використання СППР обчислено річне завантаження для джерел енергії в енергетичній системі (рисунок 13), що дозволило підвищити ефективність планування й керування розподілом та використанням енергетичних ресурсів у системі.

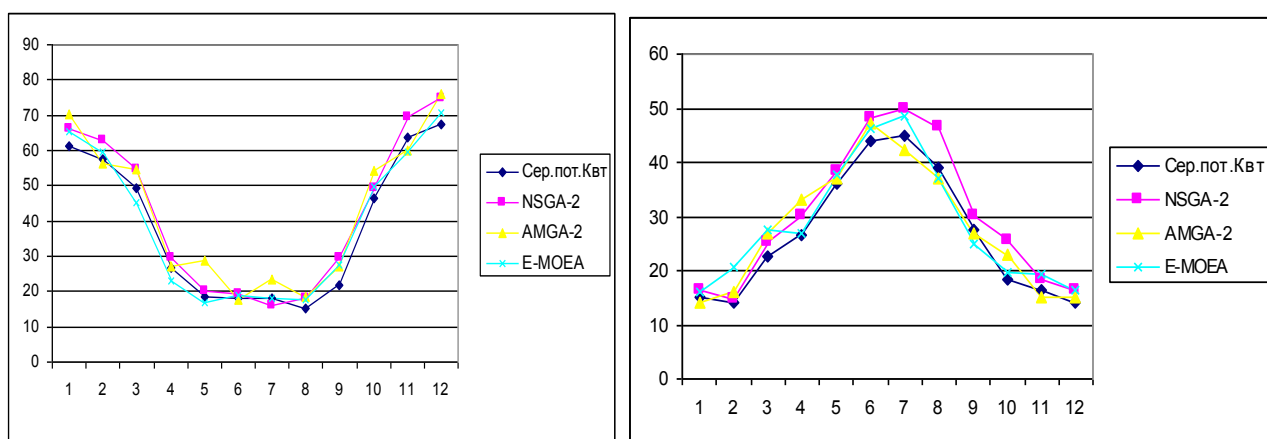


Рисунок 13 – Результати обчислення річного завантаження компонентів енергетичної системи: а) вітроенергетичної установки (ВЕУ); б) сонячних батарей

Наступним прикладом використання розроблених інформаційних технологій є розв'язання задачі розробки плану польоту під час управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА), під час вирішення задач спостереження та моніторингу. Для визначення оптимального плану польоту за визначених ризиків та обмежень було розроблено СППР, яка будує план на основі евристичного та генетичного алгоритмів. У ролі функції оцінки ситуації використовується значення ризику при виконанні плану польоту. СППР надає можливість обирати тип місії, встановлювати параметри польоту, шукати необхідну місцевість на цифровій карті, встановлювати точки обльоту та будувати маршрут. У результаті використання картографічних сервісів мережі Internet маршрут може бути прокладено в режимі реального часу. Розроблений програмний комплекс впроваджено у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності для моделювання планів польоту БПЛА.

Третім прикладом практичного використання розроблених інформаційних технологій було дослідження та прогнозування економічних показників підприємства тепlopостачання для оцінювання діяльності підприємства та планування розвитку. Основними показниками, що описують діяльність

підприємства, відображають інвестиційну складову, є такі: ліквідність, рентабельність, загальне співвідношення доходів та витрат. Було проведено дослідження показників на наявність трендів та сезонних ефектів. На їхній основі виконано прогнозування фінансових показників підприємства для подальшого вирішення завдань планування. Було використано такі моделі: авторегресія, ARMAX, ARIMA, ARFIMA, GARCH. Ці моделі було реалізовано в СППР. Для прогнозування розвитку підприємства виконано моделювання на основі мережі Байєса. Розроблене програмне забезпечення впроваджено в комунальному підприємстві теплопостачання.

Четвертим прикладом практичного використання розроблених інформаційних технологій є аналіз соціально-економічної ситуації в прикордонному регіоні. Аналіз проводився на основі нечіткого когнітивного моделювання. Для моделювання та планування розвитку ситуації на основі даних про ситуацію використано мережу Байєса. Розроблене програмне забезпечення впроваджено в Центрі досліджень українського прикордоння.

Результати досліджень, подані в цьому розділі, опубліковано в роботах [4; 5; 15; 28; 29; 34].

У **додатках** подано методи побудови Байєсівських мереж, методи оцінювання прогнозів, аналіз характеристик багатокритеріальних еволюційних і генетичних алгоритмів, архітектури розроблених інструментальних засобів, а також акти впровадження результатів дисертаційного дослідження.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вирішено важливу науково-прикладну проблему в галузі інформаційних технологій – підвищення ефективності планування та прийняття рішень у системах різного призначення засобами сучасних інформаційних технологій

При цьому отримано такі нові результати:

1. Виконано аналіз сучасного стану досліджень у галузі динамічного планування та прийняття рішень. Проаналізовано такі сучасні методи планування: стратегічне планування, сценарне та інтелектуальне планування, що дало змогу виявити найбільш загальні задачі 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 й багатокритеріального підходів та інтеграції різнотипової інформації, який засновано на системному використанні методів аналізу та інтегрування різнотипної інформації, методів моделювання, прогнозування та багатокритеріального прийняття рішень. Метод відрізняється можливістю автоматизованого інтегрування інформації, врахування динаміки процесів, що досліджуються.

3. Отримав подальший розвиток метод аналізу інформації на основі теорії нечіткого когнітивного моделювання, який за рахунок ітеративного обчислення

системних показників дає можливість дослідити зміни інформації в середовищі, забезпечує необхідну повноту аналізу та забезпечує підвищення якості аналізу експертної інформації за рахунок зменшення суб'єктивності й ітеративного обчислення системних показників.

4. Розроблено метод оцінювання ризиків та невизначеностей у процесі ситуаційного моделювання та під час побудови динамічного плану на основі процедури оцінювання й 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 із 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 та 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 під час розв'язання задач динамічного планування та надає можливість дослідити динаміку плану, що розробляється.

8. Розроблено метод розв'язування багатокритеріальних задач прийняття рішень, заснований на використанні еволюційних процедур та генетичних алгоритмах. Метод базується на різних підходах до обробки даних, що дало можливість підвищити точність та ефективність прийняття рішень.

9. Розвинено метод ситуаційного моделювання на основі нечітких ситуаційних мереж за рахунок використання часових обмежень, що підвищує точність моделювання й надає можливість коректно враховувати наявні часові ресурси й 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 та 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 у різних галузях.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. 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.
2. Гожий О. П. Розробка нечітких ситуаційних мереж з часовими обмеженнями для моделювання динамічних систем / О. П. Гожий // Наукові вісті НУ КПП. – К. : НТУУ «КПІ» № 5, 2015. – С. 15–22 (Входить до міжнародних наукометричних баз WorldCat, Google Scholar, OpenAIRE, РІНЦ та EBSCO).
3. Гожий О. П. Підхід до оцінювання невизначеностей в задачах прогнозування / О. П. Гожий // *Электротехнические и компьютерные системы*. – 2015. – № 19(95). – С. 243–247 (Входить до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, Google Scholar, РІНЦ.)
4. Гожий О. П. Моделювання розподілу енергетичних ресурсів на основі кольорових мереж Петрі / О. П. Гожий, В. А. Гожий // *Науково-технічний журнал «Авіаційно-космічна техніка і технологія»*. – Випуск № 8(125). – Харків, 2015. – С. 107–112. (Входить до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar, WordCat).
5. 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 (Входить до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar, WordCat).
6. Bidyuk P. DSS for implementing systemic approach to forecasting / P. Bidyuk, A. Gozhjy, A. Trofymchuk, A. Bidyuk // *International journal of computers & technology*. – 2014. – Vol. 14. – № 5. – P. 5769–5778 (Входить до міжнародних наукометричних баз Ulrich's Periodicals Directory, Google Scholar, iSEEC та ін.).
7. Bidyuk P. Forecasting based on the Bayesian type models / P. Bidyuk, A. Gozhjy, A. Trofymchuk // *International journal of computers & technology*. – 2015. – Vol. 15. – № 3. – P. 6570–6584 (Входить до міжнародних наукометричних баз Ulrich's Periodicals Directory, Google Scholar, iSEEC та ін.).
8. Gozhyi A. Using Multiobjective Genetic Algorithms For Optimal Resource Management In An Autonomous Power System / A. Gozhyi, I. Burlachenko, K. Gromaszek // *Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska*. – 2012. – № 4b. – P. 48–50 (Входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus).
9. Gozhyi A. Information system for a fuzzy cognitive analysis and modeling / A. Gozhyi, I. Kalinina // *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*. – 2014. – № 4(2). – P. 31–33 (Входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus).
10. Kasitskij A. Effective expectation maximization algorithm implementation using multicore computer systems / A. Kasitskij, P. Bidyuk, A. Gozhyi // *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*. – 2014. – № 4(4). – P. 35–37 (Входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus).

11. Гожий О. П. Дослідження ефективності методів аналізу співвідношень при вирішенні задач багатокритеріального вибору / О. П. Гожий, І. А. Кобилінський // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Выпуск № 2(85). – Днепропетровск, 2013. – С. 21–29.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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-виробничий збірник. – Одесса, 2013. – Вип. 1(40). – С. 162–169.

19. 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». – № 7. – Львів, 2013. – С. 13–18 (Входить до міжнародної наукометричної бази Ulrich's Periodicals Directory).

20. 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 : Вид-во НУ «Львівська політехніка». – 2014. – Вип. 800. Серія «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». – С. 98–105 (Входить до міжнародної наукометричної бази Inspec).

21. 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 : Вид-во НУ «Львівська

політехніка». – 2013. – Вип. 751. Серія «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». – С. 257–265.

22. Гожий О. П. Аналіз ефективності багатокритеріальних генетичних алгоритмів в задачах прийняття рішень / О. П. Гожий, О. О. Маленовський // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка». – 2012. – Вип. 732. Серія «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». – С. 247–260.

23. Гожий О. П. Дослідження невизначеностей в задачах сценарного планування / О. П. Гожий // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка». – 2011 – Вип. 710. Серія «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». – С. 60–64.

24. Гожий О. П. Побудова СППР на основі методів багатоцільового прийняття рішень / О. П. Гожий // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка». – 2011. – Вип. 715. Серія «Інформаційні системи та мережі». – С. 97–104.

25. Бідюк П. І. Структурно-параметрична адаптація моделей при прогнозуванні фінансово-економічних процесів / П. І. Бідюк, О. П. Гожий, О. В. Лосева // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка». – 2011. – Вип. 719. Серія «Інформаційні системи та мережі». – С. 105–111.

26. 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. – P. 57–59.

27. Gozhyi O. Development of Information System of Fuzzy Cognstive Modeling / O. Gozhyi // Computer Science and Information Technologis : Materials of the 8th International Scientific and Technical Conference CSIT 2013. – Lviv : Publishing Lviv Polytechnic, 2013. – P. 118–120.

28. 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.

29. Гожий О. П. Особливості використання нечітких ситуаційних мереж для вирішення задач прийняття рішень / О. П. Гожий, І. О. Калініна // Наукові праці : науково-методичний журнал. – Вип. 225. Т. 237. Серія «Комп'ютерні технології». – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2014. – С. 6–13.

30. Бідюк П. І. Байєсівське оцінювання параметрів узагальнених лінійних моделей / П. І. Бідюк, О. П. Гожий, Т. А. Торовець // Наукові праці : науково-методичний журнал. – Вип. 201. Т. 213. Серія «Комп'ютерні технології». – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. – С. 6–13.

31. Калініна І. О. Врахування компетентності експертів в методах багатокритеріального аналізу в задачах раціонального вибору / І. О. Калініна, О. П. Гожий, Г. О. Мусієнко // Наукові праці : науково-методичний журнал. –

Вип. 179. Т. 191. Серія «Комп'ютерні технології». – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2012. – С. 158–167.

32. 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 : науково-методичний журнал. – Вип. 161. Т. 173. Серія «Комп'ютерні технології». – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2011. – С. 88–96.

33. Гожий А. П. Основные аспекты применения информационных технологий в задачах сценарного планирования / А. П. Гожий // Наукові праці : науково-методичний журнал. – Вип. 148. Т. 160. Серія «Комп'ютерні технології». – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2011. – С. 158–167.

34. Гожий А. П. Организация выбора вариантов реинжиниринга информационных систем для предприятия теплоснабжения / А. П. Гожий, Л. М. Дыхта, Н. Е. Краснов // Наукові праці : науково-методичний журнал. – Вип. 130. Т. 143. Серія «Комп'ютерні технології». – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2010. – С. 80–87.

35. Гожий О. П. Застосування еталонного методу агрегування оптимальних оцінок в задачах багатокритеріальної оптимізації / О. П. Гожий, І. І. Бурлаченко // Наукові праці : науково-методичний журнал. – Вип. 121. Т. 134. Серія «Комп'ютерні технології». – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили. – С. 152–161.

36. Гожий О. П. Використання методу «патерн» для вирішення задач багатокритеріального вибору та оцінювання / О. П. Гожий // Наукові праці : науково-методичний журнал. – Вип. 104. Т. 117. Серія «Комп'ютерні технології». – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2009. – С. 80–87.

37. Kobylinskyi I. The Modeling of Emergencies by Using of Petri Nets / I. Kobylinskyi, A. Gozhyi // British Journal of Science, Education and Culture. – 2014. – № 2. – London : «London University Press», 2014. – P. 358–364.

38. Бидюк П. И. Подход к построению СППР для решения задач прогнозирования / П. И. Бидюк, О. П. Гожий // Сб. научных трудов 10-й Международной конференции «Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта». – Железный порт : ХНТУ, 2015. – С. 180–182.

39. Гожий О. П. Використання нечітких ситуаційних мереж для вирішення завдань динамічного планування // Сб. научных трудов 10-й Международной конференции «Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта». – Железный порт : ХНТУ, 2014. – С. 260–263.

40. Самков А. В. Построение системы планирования маршрутов для СППР управления БПЛА / А. В. Самков, А. П. Гожий // Сб. научных трудов 9-й Международной конференции «Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта». – Евпатория : ХНТУ, 2013. – С. 383–387.

41. Гожий О. П. Використання багатокритеріальних генетичних алгоритмів для оптимального керування розподілом ресурсів в автономній енергосистемі / А. П. Гожий, І. С. Бурлаченко // Сб. научных трудов 8-й Международной

конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми висчислювального інтелекту». – Євпаторія : ХНТУ, 2012. – С. 337–338.

42. Гожий А. П. Класифікація інформаційних ситуацій при багатоцільовому прийнятті рішень для рішення задач сценарного планування / А. П. Гожий // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми висчислювального інтелекту : матеріали міжнародної наукової конференції. – Том 2. – Херсон : ХНТУ, 2011. – С. 282–286.

43. Гожий А. П. Застосування методу аналізу відношень для оцінювання сценарних альтернатив / А. П. Гожий // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми висчислювального інтелекту : матеріали міжнародної наукової конференції. – Том 2. – Херсон : ХНТУ, 2010. – С. 243–245.

44. Гожий А. П. Особливості застосування індуктивних алгоритмів для побудови дерев'яних рішень / А. П. Гожий // Сб. наукових праць 5-ї Міжнародної конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми висчислювального інтелекту». – Том 1. – Євпаторія : ХНТУ, 2009. – С. 282–286.

45. Гожий А. П. Групові методи прийняття рішень на основі експертних оцінок в задачах сценарного аналізу / А. П. Гожий // Сб. наукових праць 4-ї Міжнародної конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми висчислювального інтелекту». – Том 1. Частина 1. – Євпаторія : ХНТУ, 2008. – С. 41–45.

46. Гожий А. П. Аналіз і класифікація багатокритеріальних моделей вибору в задачах прийняття рішень // Сб. наукових праць 3-ї Міжнародної конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми висчислювального інтелекту». – Том 2. – Євпаторія : ХНТУ, 2007. – С. 27–31.

47. Гожий А. П. Розробка розподіленої інформаційної системи для рішення задач планування / А. П. Гожий // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Автоматизація: проблеми, ідеї і рішення». – Севастополь, 2012. – С. 196–198.

48. Гожий А. П. Застосування багатоцільових генетических алгоритмів для прийняття рішень в задачах сценарного планування / А. П. Гожий // Труды 4-ї Міжнародної школи-семинара «Теорія прийняття рішень». – Ужгород : УжНУ, 2012. – С. 58–60.

АНОТАЦІЯ

Гожий О. П. Інформаційні технології динамічного планування та прийняття рішень на основі ймовірнісно-статистичних методів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2016.

Дисертацію присвячено вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми підвищення ефективності планування та прийняття рішень у системах

різного призначення засобами сучасних інформаційних технологій з урахуванням динаміки супутніх процесів.

У дисертації розроблено метод синтезу інформаційних технологій для розв'язування задач динамічного планування, який ґрунтується на принципах багатомодельного та багатокритеріального підходів, інтеграції різнотипної інформації, заснований на системному використанні методів аналізу даних, моделювання, прогнозування та прийняття рішень. Науковими результатами досліджень є метод синтезу інформаційних технологій для розв'язування задач динамічного планування; метод аналізу інформації на основі нечіткого когнітивного моделювання, який дає змогу враховувати зміни інформації в динамічному середовищі; метод прогнозування на основі адаптивного підходу зі сумісним використанням регресійних та ймовірнісно-статистичних моделей у формі мереж Байєса; метод оцінювання ризиків та невизначеностей; розв'язування багатокритеріальних задач, який базується на використанні еволюційних процедур та генетичних алгоритмів; метод побудови ситуаційних моделей на основі використання нечітких ситуаційних мереж із часовими обмеженнями та кольорових мереж Петрі; метод прогнозування на основі оцінювання та використання комбінованих прогнозів.

Ключові слова: динамічне планування; оцінювання ризиків та невизначеностей; нечітке когнітивне моделювання; ймовірнісно-статистичні методи; мережі Байєса; нечіткі ситуаційні мережі з часовими обмеженнями; багатокритеріальні еволюційні та генетичні алгоритми; комбіновані прогнози.

АННОТАЦИЯ

Гожий А. П. Информационные технологии динамического планирования и принятия решений на основе вероятностно-статистических методов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Национальный университет «Львовская политехника». – Львов, 2016.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной проблемы повышения эффективности планирования и принятия решений в системах различного назначения средствами современных информационных технологий с учетом динамики сопутствующих процессов.

В первом разделе проведен анализ проблемы создания современных информационных технологий для решения задач динамического планирования и принятия решений. Охарактеризованы задачи планирования и приведена классификация известных типов планирования. Показано, что главными признаками динамического планирования является изменение плана во времени в соответствии с изменениями окружающей среды и наличие возможности обработки неопределенностей различного типа и сопутствующих рисков. Продемонстрировано, что существующие методы и технологии решения задач

динамического планирования не лишены определенных недостатков, что позволяет говорить о возможности улучшения их функционирования, создания новых методов и алгоритмов. Сформулирована научно-прикладная проблема и комплекс задач для её решения, определена методика исследований.

Определены основные аспекты применения информационных технологий для решения задач динамического планирования. Разработана последовательность этапов процесса динамического планирования. Описана математическая структура задачи динамического планирования и принятия решений. Показано, что задачи динамического планирования формально представляются в виде математических структур выбора. Доказано, что проблемы динамического планирования можно представить как задачу многомодельного и многокритериального выбора эффективных решений на множестве математических моделей. Разработан метод построения информационных технологий для решения задач динамического планирования, основанный на интеграции информации разного типа и на системном использовании методов анализа данных, методов моделирования, методов прогнозирования и методов принятия решений.

Представлены методы обработки качественной и количественной информации. Разработана процедура экспертного оценивания. Разработан метод анализа информации на основе нечеткого когнитивного моделирования, который учитывает динамическое изменение среды и динамические показатели плана. Разработан метод оценки рисков и неопределенностей в процессе моделирования ситуаций и для выбора вариантов развития ситуации.

Представлен метод построения структуры динамического плана. Предложена классификация моделей при решении задач динамического планирования. Предложено моделирование динамического плана в пространстве состояний при использовании вероятностно-статистических методов. Для решения задач ситуационного моделирования разработан метод на основе нечетких ситуационных сетей с временными ограничениями. Для построения динамических ситуационных моделей предложен метод на основе цветных сетей Петри.

Разработан метод прогнозирования на основе адаптивного подхода к моделированию с комбинированным использованием регрессионных и вероятностно-статистических моделей в форме сетей Байеса. Разработан метод прогнозирования на основе оценки и использования комбинированных прогнозов.

Разработан метод решения многокритериальных задач на основе использования эволюционных процедур и генетических алгоритмов. Представлена методология решения многокритериальных и многоцелевых задач на основе метода анализа соотношений. Описан комплекс инструментальных средств принятия решений на базе групповых, многокритериальных методов и методов прогнозирования.

Ключевые слова: динамическое планирование; оценка рисков и неопределенностей; нечеткое когнитивное моделирование; вероятностно-статистические методы; сети Байеса; нечеткие ситуационные сети с временными ограничениями; многокритериальные эволюционные и генетические алгоритмы; комбинированные прогнозы.

ABSTRACT

Gozhyi O. P. Information technology dynamic planning and decision making based on probabilistic-and-statistical methods. – The manuscript.

The thesis for scientific degree of doctor of engineering sciences in speciality 05.13.06 – information technologies. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine. – Lviv, 2016.

The thesis studies the solutions of crucial scientific and applied problems of efficiency of planning and decision-making systems for various purposes by means of modern information technology, taking into account the dynamics of the related processes.

The synthesis method of information technologies for solving dynamic planning, based on the principles of the multi-model and multi-objective approaches that integrate different types of information, has been developed. It is based on the systematic use of data analysis, modeling, forecasting techniques and decision-making methods. The following scientific research results have been achieved: method of synthesis of information technologies for solving dynamic planning; information analysis method based on fuzzy cognitive modeling that allows information to consider changes in a dynamic environment; forecasting method based on adaptive approach of sharing regression and probabilistic-and-statistical models in the form of Bayesian networks; evaluating method for risks and uncertainties; method for solving multiple tasks based on the use of evolutionary algorithms and genetic procedures; method of construction of situation models through the use of fuzzy situational networks with time-bound and colored Petri nets; forecasting method, based on the evaluation and use of combined forecasts.

Keywords: dynamic planning; evaluation of risks and uncertainties; fuzzy cognitive modeling; probabilistic-and-statistical methods; Bayesian networks; fuzzy situational network time constraints; multi-objective evolutionary and genetic algorithms; combined forecasts.

Підп. до друку 21.06.2016.
Формат 60x84 ¹/₁₆. Папір офсетний.
Гарнітура «Times New Roman». Друк ризограф.
Умовн. друк. арк. 1,9. Тираж 130 пр. Зам. 5030.

Видавець і виготовлювач: ЧДУ ім. Петра Могили.
54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.
Тел.: (0512)50-03-32, (0512)56-55-81.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3460 від 10.04.2009.

