

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

**ПАНКРАТОВ ВОЛОДИМИР АНДРІЙОВИЧ**

**УДК 303.732.4:519.816**

**СТРАТЕГІЯ РОЗВИТКУ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ НА  
ОСНОВІ МЕТОДОЛОГІЙ ПЕРЕДБАЧЕННЯ ТА КОГНІТИВНОГО  
МОДЕЛЮВАННЯ**

01.05.04 – Системний аналіз і теорія оптимальних рішень

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2017

**Дисертацією є рукопис**

Роботу виконано у Навчально-науковому комплексі «Інститут прикладного системного аналізу» Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського".

**Науковий керівник:** академік НАН України,  
доктор технічних наук, професор  
**Згуровський Михайло Захарович,**  
Національний технічний університету України  
"Київський політехнічний інститут ім. Ігоря  
Сікорського ", ректор

**Офіційні опоненти:** доктор фізико-математичних наук, професор  
**Міхайленко Віктор Мефодійович,**  
Київський національний університет будівництва  
і архітектури МОН України,  
зав. кафедри інформаційних технологій  
проектування та прикладної математики

доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник  
**Циганок Віталій Володимирович,**  
Інститут проблем реєстрації інформації  
Національної академії наук України,  
завідувач лабораторії  
систем підтримки прийняття рішень

Захист відбудеться 26 травня 2017 р. о 15 годині 00 хвилин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.03 при Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського" за адресою: 03056, м. Київ-56, пр. Перемоги, 37, корп. №35, ауд. 001

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського" за адресою: 03056, м. Київ-56, пр. Перемоги, 37.

Автореферат розіслано 26 квітня 2017 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 26.002.03

В.О.Капустян

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** За умов зламоподібних змін станів соціально-економічних систем (як це мало місце в Україні в 2004-2005 та 2013-2014 роках) майбутнє цих систем не може інтерпретуватися як звичайне продовження минулого (прогнозування), оскільки це майбутнє може набувати принципово відмінних форм та структур порівняно з тими, що були відомі в минулому. За цих умов репрезентувати майбутнє таких систем можливо лише шляхом застосування методологій передбачення та когнітивного моделювання, заснованих на експертному оцінюванні їх станів на час дослідження і побудови альтернатив сценаріїв та шляхів їх розвитку на заданих часових горизонтах у майбутньому.

На переломному етапі економічного розвитку в останній третині минулого століття виникла необхідність у нових підходах визначення пріоритетів науково-технічного розвитку, що передбачають розгляд не тільки науково-технічних, а й соціально-економічних факторів. З'являється практична потреба в якісно нових, системно погоджених принципах, підходах, методах виявлення можливостей й оцінювання перспектив і тенденцій розвитку як цивілізації та світової економіки в цілому, так і напрямків та перспектив інноваційного розвитку країни зокрема.

Актуальність напрямку досліджень полягає у виявленні нових тенденцій, трендів, стратегічних наукових напрямів, технологічних досягнень і т.д., які в довгостроковій перспективі зможуть зробити істотний вплив на економічний і соціальний розвиток в майбутньому. З цією метою в процесі реалізації процедури формування альтернатив сценаріїв при вирішенні задач передбачення виникає необхідність у залученні методів експертного оцінювання, серед яких головним чином виділяються методи SWOT аналізу, методи Делфі та морфологічного аналізу. Для побудови сценаріїв щодо обраних альтернатив залучається когнітивне моделювання, що надає можливість на основі запропонованого математичного апарату з практичною достовірністю отримати обґрунтований сценарій для прийняття рішення.

Для вирішення поставлених завдань стає актуальним створення і інтенсивний розвиток сучасних концепцій, моделей, підходів до об'єднання методологій передбачення та когнітивного моделювання з метою визначення економічних перспектив соціально-економічних систем та шляхів їх реалізації.

Аналіз досліджень і публікацій з методології передбачення та когнітивного моделювання свідчить про стадію їх інтенсивного розвитку. Методологія передбачення докладно викладена в роботах М.З. Згуровського, в працях ЮНІДО. Методи якісного аналізу, що застосовуються в процесі передбачення, розглядаються в роботах Т.Сааті, Ф.Цвікі, В.М. Одріна, С.С. Картавова, Т. Річі, Дж. Х.Лінстона та М.Турофа, Т. Гордона, О. Хелмера, Н. Долкі, Х. Сакмана, та ін. Методології когнітивного моделювання присвячено роботи Н.А. Абрамової, З.К.Авдеевої, Г.В Горелової, С.В Ковриги., В.В. Кульби, Д.Пиблеса та ін.

Дане дисертаційне дослідження спрямоване на розробку математичного та програмного забезпечення розв'язання задач розвитку соціально-економічних систем на основі синтезу методологій передбачення та когнітивного

моделювання, що для ефективного застосування потребує розробки формалізації та обґрунтованої побудови сценарію у вигляді стійкої когнітивної карти.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертаційна робота виконана у Навчально-науковому комплексі «Інститут прикладного системного аналізу" Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського" (ІПСА) відповідно до планів наступних науково-дослідних тем:

- «Розробка теоретичних засад прийняття рішень на основі методології передбачення», № держреєстрації 0112U000558, 2012-2016 рр.
- «Синтез методологій передбачення і когнітивного моделювання щодо розробки стратегії інноваційного розвитку регіону», № держреєстрації 0114U004076, 2014-2015 рр.
- «Розробка інформаційної системи супроводження процесу передбачення», № держреєстрації 0112U003164, 2012 -2013 рр.
- «Розробка платформи сценарного аналізу в межах сталого розвитку», № держреєстрації 0110U002364, 2010–2011 рр.
- «Розробка та дослідження теоретичних основ методології сценарного аналізу», № держреєстрації 0107U004124, 2007-2011 рр.

*Метою дослідження* є розробка стратегії розвитку соціально-економічних систем на основі математичного забезпечення одночасного застосування методологій передбачення щодо створення альтернатив сценаріїв та когнітивного моделювання для побудови сценаріїв розвитку бажаного майбутнього та шляхів їх реалізації.

Для досягнення мети дослідження поставлені і розв'язані такі завдання:

- виконано аналіз існуючих методів передбачення та когнітивного моделювання;
- розроблено системний підхід до розв'язання проблем розвитку соціально-економічних систем на основі залучення методологій передбачення та когнітивного моделювання;
- розроблено формалізацію процесу когнітивного моделювання;
- досліджено стійкість когнітивних карт;
- запропоновано метод побудови інтегрованого показника даних;
- розроблено програмне забезпечення розв'язання задач соціально-економічних систем на основі синтезу методологій передбачення та когнітивного моделювання;
- на основі запропонованого системного підходу до розв'язання задач соціально-економічних систем розв'язано низку соціально-економічних задач.

*Об'єктом дослідження* є процес розвитку в майбутньому складних соціально-економічних систем різної природи

**Предмет дослідження** – математичне та програмне забезпечення розв’язання задач розвитку соціально-економічних систем на основі синтезу методологій передбачення та когнітивного моделювання.

**Методи дослідження** ґрунтуються на використанні методологій системного аналізу, передбачення, когнітивного моделювання, методів сценарного аналізу, теорії стійкості когнітивних карт.

### **Наукова новизна одержаних результатів**

Проведені у дисертаційній роботі дослідження дозволили суттєво вдосконалити процес розв’язання складних слабкоструктурованих принципово неформалізованих задач на основі залучення методологій передбачення та когнітивного моделювання щодо розвитку соціально економічних систем. Наукова новизна роботи визначається наступними теоретичними і практичними результатами, отриманими автором:

#### **Уперше:**

- запропоновано застосування синтезу методологій передбачення та когнітивного моделювання щодо розв’язання проблем розвитку соціально-економічних систем;
- розроблено системний підхід до розв’язання проблем розвитку соціально-економічних систем у вигляді двоетапної моделі на основі об’єднання методологій передбачення та когнітивного моделювання, який відрізняється від існуючих використанням в якості вихідних даних для когнітивного моделювання результатів, що отримані на етапі передбачення;
- запропоновано доведення чисельної стійкості когнітивних карт, що базується на матричному представленні збурень та їх значень.

#### **Удосконалено:**

- формалізацію процесу когнітивного моделювання, що надає можливість у якості вихідних даних для початкової ітерації когнітивного моделювання використовувати результати, що отримані на етапі передбачення;
- метод формалізації інтегрованого показника даних, що надає можливість формувати логічні групи та інтегрувати їх у агреговане значення, обґрунтовано робити декомпозицію вершини графу на декілька вершин.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у створенні послідовної, формалізованої методики та інструментальних засобів застосування системного підходу до розв’язання задач розвитку соціально-економічних систем на основі синтезу методологій передбачення та когнітивного моделювання. Для вирішення цієї проблеми залучається об’єднання можливостей методології передбачення з методологією когнітивного моделювання, що відкриває унікальну можливість в рамках єдиного програмно-аналітичного комплексу вирішувати завдання стратегічного планування та оперативного реагування. На основі розробленого програмного забезпечення розв’язана низка задач щодо розвитку соціально-економічних систем.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес кафедри

«Математичні методи системного аналізу» ІІСА та МВС України.

### **Особистий внесок здобувача**

Всі основні наукові положення та результати, що складають основний зміст роботи та становлять наукову новизну, отримані автором самостійно. Основні теоретичні положення дисертації розроблені здобувачем із використанням методології когнітивного моделювання і методологій системного аналізу та передбачення, запропонованої у роботах наукового керівника – академіка НАН України, доктора технічних наук, професора М.З. Згуровського. У працях, написаних у співавторстві, здобувачеві належать: розробка формалізації процесу когнітивного моделювання; доведення і дослідження стійкості когнітивних карт [4,12]; розробка формалізації інтегрованого показника даних, що надає можливість обґрунтовано проводити декомпозицію та агрегування вершин та дуг когнітивної карти [2,6,9].

### **Апробація результатів дисертації**

Матеріали дисертації доповідались на наукових конференціях та семінарах:

- міжнародних конференціях «Системний аналіз та інформаційні технології» (м. Київ, 2007-2017 рр);
- міжнародних конференціях «VIII, IX, X Szkola Geomechaniki» (Gliwice-Ustron, 2007, 2009, 2011);
- «XIII, XIV Miedzynarodowe Sympozjum Geotechnika-geotechnics (Gliwice-Ustron, 2008, 2012);
- 21-st International CODATA Conference. Scientific informayionfor society – from today to the future ( Kiev, 2008);
- науково-практичній конференції «Ольвійський форум-2008: Стратегії України в геополітичному просторі» (м. Ялта, Крим, 2008);
- 4th international conference on intelligent systems and knowledge engineering (ISKE2009), (Hasselt, Belgium, 2009)»;
- всеукраїнській науково-практичній конференції "Информационно-компьютерные технологии в экономике, образовании и социальной сфере" (м. Симферополь, 2010);
- міжнародній науково-практичній конференції «Управление большими системами»: «Когнитивное моделирование–2011» (Москва, 2011);
- міжнародних науково-практичних конференціях ІТНЕА (м. Варна, 2013, 2014);
- міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології, економіка та право: стан та перспективи розвитку» (Чернівці, 2015);
- науковому семінарі при Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» КПІ ім. Ігоря Сікорського (Україна, Київ, 07 грудня 2016 року).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 27 друкованих наукових праць, серед них 2 у провідних наукових фахових виданнях,

3 у зарубіжних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних, 7 статей у рецензованих зарубіжних працях наукових конференцій, 14 тез у матеріалах доповідей міжнародних конференцій, 1 патент на корисну модель.

**Структура дисертаційної роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, переліку умовних позначень, чотирьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел і додатку. Робота викладена на 197 сторінках і містить 178 сторінок основної частини, 52 рисунки, 25 таблиць і список використаних джерел із 130 найменувань. Додаток містить акти впровадження результатів роботи.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність розробки математичного забезпечення розв'язку задач розвитку соціально економічних систем на основі синтезу методологій передбачення та когнітивного моделювання; визначені: мета, об'єкт, предмет і методи дослідження; показано зв'язок з науковими програмами, планами, темами; наведено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів; висвітлено особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** наведено огляд досліджень з питань розв'язання задач розвитку соціально економічних систем з застосуванням методологій передбачення та когнітивного моделювання. Обґрунтовано, що стратегічною метою економічних перетворень в Україні передбачається інноваційний розвиток, який передбачає відмову від традиційних науково-технічних рішень на користь принципово нових прогресивних технологій. Наведений огляд наукових досліджень на основі методологій передбачення та когнітивного моделювання свідчать про важливість зазначених напрямків. Відбір критичних технологій та побудову раціональних альтернатив сценаріїв розвитку стратегічно важливих підприємств, пріоритетних галузей промисловості та індустріального сектора держави доцільно виконувати на засадах проведення комплексу робіт з передбачення. Наведено огляд якісних методів сценарного аналізу, при залученні яких будуються альтернативи сценаріїв бажаного майбутнього. Також наведено огляд розробок та практичного застосування методології когнітивного моделювання, що надає можливість створювати сценарії розвитку соціально-економічних систем. При когнітивному моделюванні має місце суб'єктивність при наданні вихідних даних при побудові моделі когнітивної карти, у процесі декомпозиції та агрегуванні вершин графа, у введенні коефіцієнтів вагових дуг графа.

У даній дисертаційній роботі вперше пропонується використовувати зазначені методології спільно: на першому етапі застосовувати методологію передбачення і отримані результати використовувати в якості вихідних даних на другому етапі - для когнітивного моделювання, що дозволяє запропонувати науково обґрунтовану стратегію реалізації пріоритетної альтернативи сценарію розвитку соціально-економічних систем різної природи, що обумовлює актуальність дисертаційної роботи.

**Другий розділ** присвячено розробці методологічного та математичного забезпечення системного підходу до розв'язання задач розвитку соціально-економічних систем на основі синтезу методологій передбачення та когнітивного моделювання. Структурна схема системного підходу до розв'язання проблем розвитку соціально-економічних систем у вигляді двоетапної моделі наведена на рис.1. Використання на етапі передбачення методів сканування, STEEP аналізу, мозкового штурму, SWOT аналізу дозволяє за допомогою експертного оцінювання виявити критичні технології в економічних, соціальних, екологічних, технічних, технологічних, інформаційних та інших напрямках. Залучення на наступному кроці передбачення методів якісного аналізу таких як методи Делфі, перехресного аналізу, морфологічного аналізу надає можливість побудувати альтернативи сценаріїв з кількісними значеннями характеристик. Отримані характеристики є вихідними даними для початкової ітерації когнітивного моделювання.

Для обґрунтованої реалізації тієї чи іншої альтернативи сценарію залучається методологія когнітивного моделювання, що дозволяє на підставі знання і досвіду побудувати причинно-наслідкові зв'язки, зрозуміти і проаналізувати поведінку складної системи (СС) на стратегічну перспективу при великій кількості

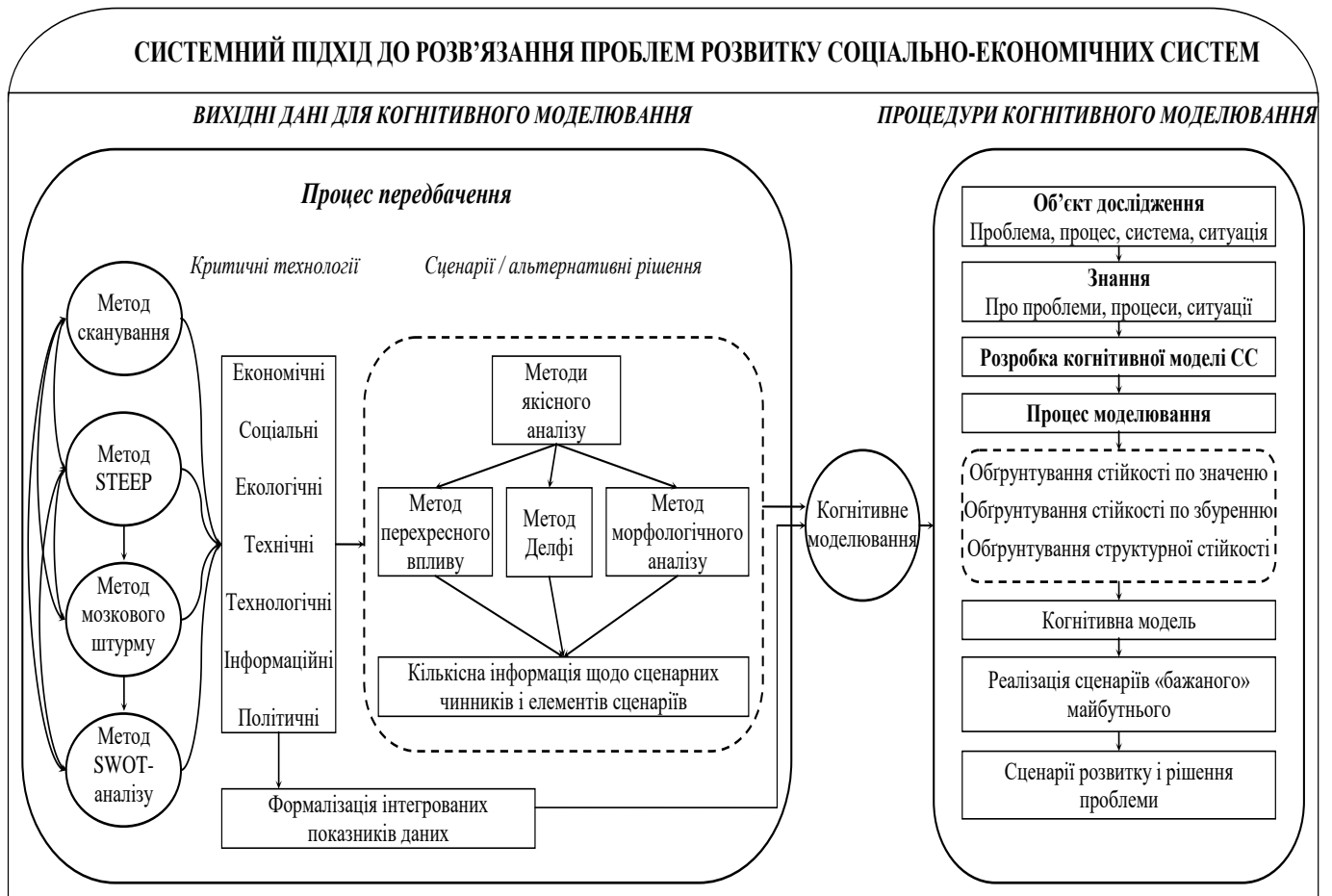


Рис.1. Структурна схема системного підходу до розв'язання проблем розвитку соціально-економічних систем



взаємозв'язків та взаємозалежностей і запропонувати науково обгрунтовану стратегію реалізації пріоритетного сценарію.

Залучаючи основний принцип системного аналізу – декомпозицію, за допомогою якого складна проблема зводиться до формалізованого рівня, виконується процес когнітивного моделювання, який реалізується в інтерактивно-діалоговому режимі. Під когнітивним моделюванням розуміється розв'язання взаємопов'язаних проблем: побудова когнітивної моделі (карти), обгрунтування на кожному етапі моделювання стійкості за значенням і по збуренню, структурної стійкості, невизначеності різної природи, розробка сценарію розвитку бажаного майбутнього. Таким чином, технологія когнітивного моделювання полягає в тому, щоб на основі когнітивних моделей визначити можливі й раціональні шляхи управління ситуацією з метою переходу від вихідних станів до бажаних. Перевагою когнітивної моделі є те, що вона дозволяє бачити як всю картину в цілому, так і деталі, інтегрувати логіку і фантазію, знання і досвід.

Для моделювання розвитку соціально-економічних систем використовується когнітивна модель у вигляді зваженого орієнтованого графа. Формальна когнітивна карта – це граф  $G = \langle V, E \rangle$ , в якому:  $V = \{v_i \mid v_i \in V, i = 1, 2, \dots, k\}$  множина вершин, які є елементами досліджуваної системи;  $E$  - множина дуг, дуги  $e_{ij} \in E, i, j = 1, 2, \dots, N$  відображають взаємозв'язок між вершинами  $V_i$  і  $V_j$ ; вплив  $V_i$  на  $V_j$  у досліджуваній ситуації може бути позитивним, коли збільшення (зменшення) одного фактора приводить до збільшення (зменшення) іншого, негативним, коли збільшення (зменшення) одного фактора приводить до зменшення (збільшення) іншого, або бути відсутнім (0). Когнітивна карта  $G$ , крім графічного зображення графа, може бути представлена матрицею відносин  $A_G$ . Матриця  $A_G$  - це квадратна матриця, рядки і стовпці якої позначені вершинами графа  $G$ , а на перетині  $i$ -рядка,  $j$ -стовпця стоять (чи ні) вагові коефіцієнти, якщо існує (не існує) відношення між елементами  $V_i$  і  $V_j$ .

Для оцінки стійкості розвитку об'єкту дослідження приймається система критеріїв:

1-й критерій: невихід траєкторії розвитку системи на прогнозованому інтервалі часу з деякої множини безпечних станів;

2-й критерій: майже монотонне зростання показників - індикаторів розвитку об'єкту на певному інтервалі часу з подальшим збереженням їх в заданих інтервалах допустимих значень;

3-й критерій: попадання траєкторії розвитку за певний час в цільову множину станів;

4-й критерій: стійкість до збурення, в тому числі, асимптотична стійкість програмної траєкторії і структурна стійкість системи.

Оцінка стійкості розвитку об'єкту здійснюється на підставі перших двох критеріїв. Для розробки рекомендацій щодо стратегії сталого розвитку використовується третій і четвертий критерії. Ці критерії диктують вибір певних

показників економічної стійкості об'єкта дослідження. Показники, за яким визначені порогові значення, виступають системою показників економічної стабільності та безпеки. В ідеальному випадку стійкість досягається за умови, що весь комплекс показників перебуває в допустимих межах своїх порогових значень, а порогові значення кожного показника досягаються не на шкоду іншим.

При дослідженні стійкості зваженого орієнтовного графа - когнітивної карти - досліджується стійкість за значенням і стійкість по збуренню системи в міру її еволюції, а також структурна стійкість.

Стійкість графа по збуренню і за значенням ґрунтується на понятті процесу поширення збурення по графу. Позначимо значення  $u$  у вершині  $v_i$  в момент часу  $t$  через  $u_i(t)$ ,  $i \in [1, n]$ ,  $t = 0, 1, \dots$ . Припустимо, що значення  $u_i(t+1)$  залежить від  $u_i(t)$  і від вершин, суміжних з  $v_i$ . Таким чином, якщо вершина  $v_j$  суміжна з  $v_i$  і якщо  $p_j(t)$  представляє зміну  $v_j$  в момент часу  $t$  то слід прийняти, що вплив цієї зміни на  $v_i$  в момент часу  $t+1$  буде описуватися функцією  $f(v_j, v_i)p_j(t)$ , де через  $f(v_j, v_i)$  позначена вагова функція зв'язку між вершинами  $v_j$  і  $v_i$ . Таким чином, маємо наступне правило поширення збурення:

$$u_i(t+1) = u_i(t) + \sum_{j=1}^N f(v_j, v_i)p_j(t) \quad \forall i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

$$p_j(t+1) = u_j(t+1) - u_j(t).$$

Вершина називається стійкою по збуренню, якщо послідовність  $\{ |p_j(t)| \}_{t=1}^{\infty}$  обмежена, а стійкою за значенням, якщо послідовність  $\{ |u_j(t)| \}_{t=1}^{\infty}$  обмежена. Граф стійкий по збуренню (значенням), якщо стійкі всі його вершини. Розглядаючи вираз (1) в матричному вигляді і виконуючи ряд перетворень, отримуємо, що стійкість за значенням звелася до обмеженості матричного ряду  $\sum_{t=0}^{\infty} A^t$ , а стійкість по збуренню - до обмеженості матричної послідовності

$$M_t = \{ A^t \}_{t=1}^{\infty}.$$

Сформулюємо і обґрунтуємо критерій стійкості по збуренню. Система у вигляді зваженого орієнтованого графа  $G$  з матрицею суміжності  $A$  стійка по збуренню тоді і тільки тоді, коли (т.т.т.к.) спектральний радіус матриці суміжності  $\rho(A) = \max_i |\lambda_i| \leq 1$ , де  $\{\lambda_i\}_{i=1}^M$  - власні числа  $A$ , і являє базис з власних векторів, тобто всі власні числа матриці по модулю менше або рівні 1 і жорданова форма матриці діагональна. Наведемо доказ цього критерію. Нехай  $U_J$  жорданів базис  $A$ , тоді  $A = U_J^{-1} A_J U_J$ , де  $A_J$  - жорданова форма  $A$ . Запишемо матрицю  $A$  у жордановому базисі:

$$A_J = \begin{bmatrix} J_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & J_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & J_m \end{bmatrix},$$

де  $J_i, i=1,2,\dots,m$  — жорданові клітини розмірності  $m \times m$  виду

$$J_i = \begin{bmatrix} \lambda_i & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_i & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 1 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & \lambda_i & 1 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \lambda_i \end{bmatrix}$$

відповідні елементарним дільникам

$(\lambda - \lambda_1)^{p_1}, (\lambda - \lambda_2)^{p_2}, \dots, (\lambda - \lambda_u)^{p_m}, (p_1 + p_2 + \dots + p_m = n)$ . Тоді

$$A_J^t = \begin{bmatrix} J_1^t & 0 & \dots & 0 \\ 0 & J_2^t & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & J_m^t \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Звідси випливає, що обмеженість  $\{A^t\}_{t=1}^{\infty}$  еквівалентна обмеженості  $\{J_1^t\}_{t=1}^{\infty}$  для всіх жорданових клітин матриці  $A$ . Згідно (2), для жорданової клітини маємо:

$$J^t = \begin{bmatrix} \lambda^t & \frac{t\lambda^{t-1}}{1!} & \frac{t(t-1)\lambda^{t-2}}{2!} & \dots & \frac{t!\lambda^{t-n+1}}{(t-n+1)!(n-1)!} \\ 0 & \lambda^t & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \frac{t\lambda^{t-1}}{1!} & \frac{t(t-1)\lambda^{t-2}}{2!} \\ 0 & \ddots & 0 & \lambda^t & \frac{t\lambda^{t-1}}{1!} \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \lambda^t \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \lambda^t & C_t^1 \lambda^{t-1} & C_t^2 \lambda^{t-2} & \dots & C_t^{n-1} \lambda^{t-n+1} \\ 0 & \lambda^t & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & C_t^1 \lambda^{t-1} & C_t^2 \lambda^{t-2} \\ 0 & \ddots & 0 & \lambda^t & C_t^1 \lambda^{t-1} \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \lambda^t \end{bmatrix},$$

тобто повинні бути обмежені послідовності  $\{C_t^i \lambda^{t-i}\}_{t=0}^{\infty} \forall i = 0, 1, \dots, n-1$ . Тоді

- якщо  $|\lambda| < 1$ , то  $|C_t^i \lambda^{t-i}| \xrightarrow[t \rightarrow \infty]{} 0 \quad \forall i = 0, 1, \dots, n-1$ , оскільки многочлен зростає повільніше, ніж спадає ступенева функція. Тому послідовності  $\forall i = 0, 1, \dots, n-1$  обмежені;
- якщо  $|\lambda| > 1$ , то  $|C_t^i \lambda^{t-i}| \xrightarrow[t \rightarrow \infty]{} \infty \quad \forall i = 0, 1, \dots, n-1$ . Тому послідовності не обмежені  $\forall i = 0, 1, \dots, n-1$ ;
- якщо  $|\lambda| = 1$ , то  $\begin{cases} |C_t^i \lambda^{t-i}| \xrightarrow[t \rightarrow \infty]{} \infty \quad \forall i = 1, 2, \dots, n-1, \\ |C_t^i \lambda^{t-i}| = |\lambda^t| = 1 \quad \text{при } i = 0. \end{cases}$

Таким чином послідовності  $\{C_t^i \lambda^{t-i}\}_{t=0}^{\infty}$  будуть обмежені  $\forall i = 0, 1, \dots, n-1$ , т.т.т.к.  $n=1$ , тобто жорданова клітина має розмірність 1. З цього випливає, що послідовність  $\{A^t\}_{t=1}^{\infty}$  обмежена т.т.т.к. всі власні числа матриці  $A$  по модулю менше 1 або не перевищують 1 і жорданова форма матриці діагональна. Таким чином, граф стійкий по збуренню т.к.  $\rho(A) = \max_i |\lambda_i| \leq 1$ , що й потрібно було довести.

Аналогічно у дисертації наведено доказ стійкості по початковому значенню, тобто граф стійкий за значенням т.т.т.к.  $\rho(A) = \max_i |\lambda_i| < 1$  або  $\rho(A) = 1$ .

Основним завданням дослідження структурної стійкості є виявлення якісних змін у траєкторії руху системи при змінах структури самої системи. Тобто, вивчається поведінка системи по відношенню до всіх «близьких» до неї аналогічних систем. Систему називають структурно стійкою, якщо топологічний характер траєкторій всіх близьких до неї систем такий самий, як у стандартної. Таким чином, властивість структурної стійкості полягає в тому, що розглянута система веде себе майже так само, як і близькі до неї, у протилежному випадку - система структурно нестійка. Центральним елементом поняття «структурної стійкості» є виділення та аналіз якісних змін у траєкторії руху системи в фазовому просторі при зміні структури самої системи. Структурна стійкість системи встановлюється шляхом аналізу циклів когнітивної карти. При аналізі когнітивної карти шляхом виділення в ній циклів використовують поняття парних і непарних циклів. Парний цикл (позитивний зворотній зв'язок) має позитивний добуток знаків усіх дуг, що входять у нього, непарний (негативний зворотній зв'язок) -

негативний. Парний цикл є найпростішою моделлю структурної нестійкості, так як будь-яка початкова зміна параметру в будь-якій його вершині призводить до необмеженого росту модуля параметрів вершин циклу. Будь-яка зміна параметра будь-якої вершини непарного циклу призводить лише до осциляції параметрів вершин.

У ряді випадків, коли вихідна інформація для когнітивного моделювання задається у статистичній формі у вигляді окремих логічних груп, пропонується метод побудови інтегрованого показника даних, що полягає в розбитті підмножини вихідних факторів на уточнюючі фактори. Структурна схема побудови інтегрованого показника даних наведена на рис.2. Це надає можливість агрегувати усі групи в інтегрований показник даних при залученні запропонованої методики відновлення функціональних закономірностей по дискретно заданих вибірках, або проводити декомпозицію інтегрованих даних в окремі предметні групи з подальшою декомпозицією на логічну послідовність характеристик. Тобто при побудові когнітивної карти обґрунтовано додавати чи вилучати її вершини, розбивати вершини на взаємопов'язану послідовність вершин.

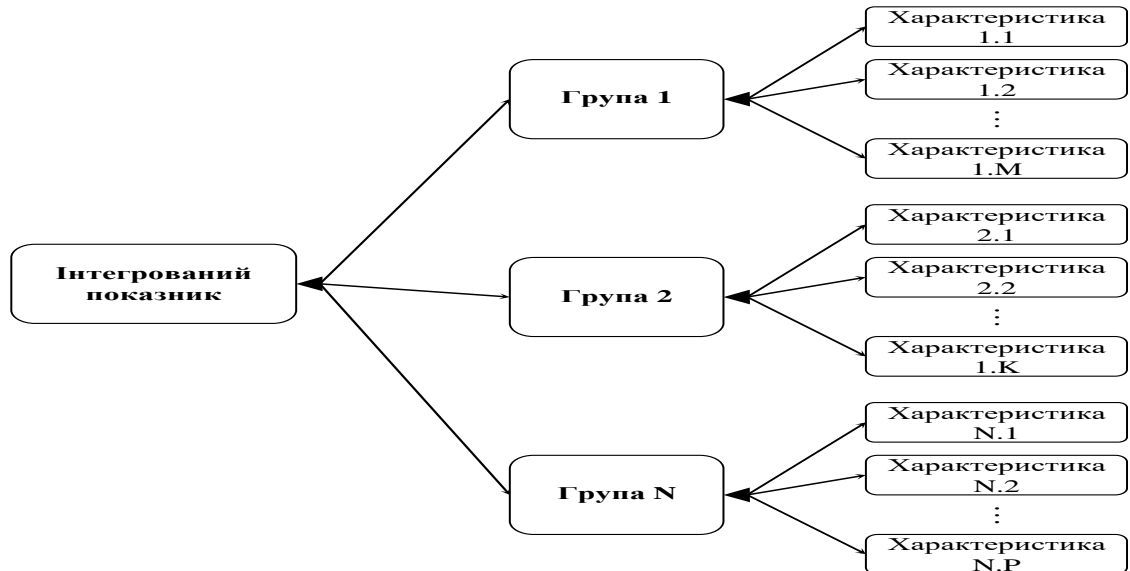


Рис.2. Структурна схема побудови інтегрованого показника даних

Відновлення функціональних закономірностей за дискретно заданими вибірками полягає у поетапному, а точніше у ієрархічному відновленні значення вихідної функції. Математичний вираз для побудови інтегрованого показника даних розраховується за допомогою функціональних наближень, що на першому рівні подають у наступному вигляді:

$$\Phi_i(x_1, x_2, x_3) = c_{i1}\Phi_{i1}(x_1) + c_{i2}\Phi_{i2}(x_2) + c_{i3}\Phi_{i3}(x_3), i = \overline{1, m}, \quad (3)$$

де функції  $\Phi_{i1}(x_1)$ ,  $\Phi_{i2}(x_2)$ ,  $\Phi_{i3}(x_3)$  являють собою характеристики певної групи, що була обрана на другому кроці формування інтегрованого показника даних. На другому рівні формуються моделі, які визначають залежність функцій наближення від компонентів змінних  $x_1, x_2, x_3$ . Для цього потрібно перейти від функцій векторів до суперпозиції функцій компонентів цих векторів.

Враховуючи, що компоненти кожного вектора різнорідні за фізичним змістом, доцільно для доданків функцій (3) вибрати клас узагальнених поліномів і представити їх у вигляді

$$\Phi_{i1}(x_1) = \sum_{j_1=1}^{n_1} a_{i j_1}^{(1)} \Psi_{1 j_1}(x_{1 j_1}), \quad \Phi_{i2}(x_2) = \sum_{j_2=1}^{n_2} a_{i j_2}^{(2)} \Psi_{2 j_2}(x_{2 j_2}),$$

$$\Phi_{i3}(x_3) = \sum_{j_3=1}^{n_3} a_{i j_3}^{(3)} \Psi_{3 j_3}(x_{3 j_3}).$$

Пропонується для всіх  $i = \overline{1, m}$  по кожній змінній  $x_{1 j_1}, x_{2 j_2}, x_{3 j_3}$  обирати відповідні однотипні функції  $\Psi_{1 j_1}, \Psi_{2 j_2}, \Psi_{3 j_3}$ , що дозволяє спростити подальший розв'язок задачі та реалізацію методу загалом.

На наступному (третьому) рівні ієрархії формуються моделі, які визначають функції  $\Psi_{1 j_1}, \Psi_{2 j_2}, \Psi_{3 j_3}$ . В даному випадку найважливішою задачею є вибір структури  $\Psi_{1 j_1}, \Psi_{2 j_2}, \Psi_{3 j_3}$ . Представимо ці функції у вигляді наступних узагальнених поліномів. Хоча різні групи даних мають різну фізичну природу для простоти обчислення рекомендується використовувати поліноми одного виду для усіх груп

$$\Psi_{s j_s}(x_{j_s}) = \sum_{p=0}^{P_{j_s}} \lambda_{j_s p} \varphi_{j_s p}(x_{j_s}), \quad s = 1, 2, 3.$$

В якості функцій  $\varphi_{j_s p}$  вибираються зміщені поліноми Чебишева  $T_{j_s p}(x_{j_s p}) \in [0, 1]$ , а як критерій — чебишевський критерій. Тоді знаходження наближаючих функцій (3) виконується на основі послідовності  $\Psi_1, \Psi_2, \Psi_3 \rightarrow \Phi_{i1}, \Phi_{i2}, \Phi_{i3} \rightarrow \Phi_i$ , що дозволить отримати кінцевий результат шляхом агрегації відповідних рішень. Такий підхід дозволяє звести процедуру формування функцій (3) до послідовності чебишевських задач наближення для несумісних систем лінійних рівнянь. Таким чином, побудова інтегрованого показника даних у вигляді ієрархії дозволяє створити ієрархічну структуру пов'язаних між собою даних. Такий підхід дозволяє відстежити взаємозв'язки між параметрами на окремих рівнях взаємодії. Такий результат досягається через відновлення основної функціональної залежності на основі не початкових даних, а уже на основі характеристик груп, що дозволяє робити обґрунтовану декомпозицію та агрегацію вершини  $v_j$  в момент часу  $t$ .

**Третій розділ** присвячено розробці алгоритмічного та програмного забезпечення застосування запропонованого системного підходу до розв'язання задач розвитку соціально-економічних систем на основі синтезу методологій передбачення та когнітивного моделювання. Реалізація системного підходу представлена у вигляді двоетапної моделі (рис.1), де на етапі передбачення будуються альтернативи сценаріїв розвитку бажаного майбутнього систем, що досліджуються. По-перше залучаються методи сканування, STEEP аналізу, мозкового штурму, SWOT аналізу, що дозволяє за допомогою експертного

оцінювання виявити критичні технології в економічних, соціальних, екологічних, технічних, технологічних, інформаційних та інших напрямках. Так, зокрема, розроблено обчислювальний алгоритм та програмний модуль для проведення SWOT - аналізу об'єкта. На наступному кроці передбачення залучаються методи якісного аналізу, такі як методи Делфі, перехресного аналізу, морфологічного аналізу, обчислювальні алгоритми для яких представлені у складі «Інформаційної платформи сценарного аналізу», що побудована в ПСА. Розроблено програмні модулі, при залученні яких отримано кількісні характеристики, які є вихідними даними для початкової ітерації когнітивного моделювання. Наведено обчислювальний алгоритм та програмний модуль побудови інтегрованого показника даних у вигляді ієрархії моделей, що доцільно застосовувати, коли вихідна інформація для когнітивного моделювання задається у статистичній формі у вигляді окремих логічних груп.

На другому етапі запропонованої моделі для побудови шляхів реалізації тієї чи іншої альтернативи сценарію залучається методологія когнітивного моделювання. Для побудови когнітивної карти відібрано наступні фактори, які можна розподілити за змістом на п'ять груп: базові фактори, зовнішні фактори соціально-економічної сфери, керуючі фактори, фактори-наслідки, цільові фактори. Спираючись на результати проведеного у попередньому етапі процесу передбачення, будується матриця суміжності. Після обробки цієї матриці у лівій частині екрану виводяться значення величин: максимальний модуль власного числа матриці; кількість парних циклів; наявність стійкості за значенням, за збуренням та структурної стійкості. Наведено обчислювальний алгоритм та його реалізацію у вигляді програмного комплексу зі зручним та простим користувацьким інтерфейсом, що включає наступні модулі: завантаження та збереження файлів з даними, побудову когнітивної моделі, проведення процедур чисельної та структурної стійкості, додавання та видалення вершин графу, зміну зв'язків між наявними вершинами, а також залучення інтегрованого показника даних.

У **четвертому розділі** досліджено спроможність розробленого математичного та програмного забезпечення розв'язання задач розвитку соціально-економічних систем на основі синтезу методологій передбачення з використанням процедури експертного оцінювання та когнітивного моделювання.

Світовим центром даних з геоінформатики і сталого розвитку (<http://wdc.org.ua/>) Міжнародної Ради з науки (ICSU) при КПІ ім. Ігоря Сікорського та ПСА виконано друге дослідження «Форсайт економіки України на середньостроковому (2015–2020 роки) і довгостроковому (2020–2030 роки) часових горизонтах». Було виявлено та описано галузі, що можуть стати головними драйверами або локомотивами такого розвитку: створення нових речовин і матеріалів, інформаційно-комунікаційні технології, військово-промисловий комплекс, високотехнологічне машинобудування та інші – усього десять позицій. Приймаючи до уваги виявлені галузі, виконано дослідження низки соціально-економічних систем. Розглядалась проблема виявлення основних галузей економіки в умовах майбутньої ситуації в країні і в світі на основі застосування SWOT аналізу, в межах якої визначені наступні критичні для

розвитку України галузі промисловості: оборонний комплекс, машинобудування, розробка й виробництво композитних матеріалів, металургійний комплекс, переведення частини металургійної промисловості на композитні матеріали, зокрема на виробництво пластмас, хімічна промисловість. Залучення когнітивного моделювання з урахуванням у якості вихідних даних результатів, що отримані на основі SWOT аналізу, дозволило виявити шляхи майбутнього металургійної галузі України, що направлено на перехід на композиційні матеріали. Далі доцільно було дослідити розвиток ринку композиційних матеріалів. При виконанні на основі методу Делфі дослідження було виявлено, що пріоритетним напрямком застосування композиційних матеріалів є побутовий сектор. Застосування когнітивного моделювання на основі даних, отриманих за методом Делфі, дозволило побудувати сценарій розвитку побутового сектору з композиційних матеріалів. Прийняття рішення щодо вибору напрямку діяльності компанії в залежності від ситуації в державі в сфері інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) виконано на основі методу морфологічного аналізу. Застосування когнітивного моделювання до сфери ІКТ дозволило побудувати сценарій розвитку ІКТ, що підтвердив позитивний вплив стану економіки на технології зв'язку, розвиток нових приладів, електроніки та програмного забезпечення. Приймаючи до уваги, що одним з головних драйверів економіки є вища освіта, виявлено та досліджено пріоритетні напрямки розвитку вищої освіти в Україні. В результаті проведення когнітивного аналізу запропоновано сценарій розвитку вищої освіти в Україні з направленістю на підготовку та відтворення людського капіталу, що буде сприяти підвищенню конкурентоздатності країни у світі.

Виявлено пріоритетні галузі і технології військово-промислового комплексу (ВПК) України в умовах майбутньої ситуації в країні і в світі. ВПК України відноситься до галузей, що забезпечують оборонну здатність країни. Система ВПК України знаходиться наразі (виходячи з оцінок експертів) не в стійкому становищі. Проведення когнітивного моделювання дозволило побудувати сценарій, в межах якого показано, що для досягнення стійкості у розвитку ВПК необхідно насамперед активізувати внутрішні реформи, та зробити так, щоб вони йшли «зверху», доносячи до вповноважених осіб факт критичної необхідності структурних змін у галузі та оновлення устаткування; звернути увагу на підготовку управлінців нового типу. До того ж для уповільнення витoku потужного науково-технічного потенціалу з галузі та країни необхідно створювати комфортні робочі місця в галузі, встановити конкурентоспроможні заробітні плати, можливо запровадити додаткові пільги або субсидії за особливі досягнення робітників ВПК. Після досягнення стабільності системи ВПК України для її підтримки необхідно продовжити процес оновлення виробничої бази та інфраструктури та налагоджувати внутрішні та зовнішні шляхи збуту продукції ВПК з метою підвищення об'ємів виробництва. Отже рівень розвитку ВПК використовується вже більше не для ведення бойових дій, а для впливу на міжнародній арені. Тобто чим кращий ВПК країни, тим менша ймовірність того, що хтось домінуватиме над нею.



Запропоновані рішення дають можливість скоротити фінансові витрати, запропонувати раціональні обґрунтовані сценарії для прийняття рішення на рівні великих компаній, регіонів, держави у цілому.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена проблема розробки стратегії розвитку соціально-економічних систем на основі математичного забезпечення одночасного застосування методологій передбачення щодо побудови альтернатив сценаріїв та когнітивного моделювання з метою побудови сценаріїв розвитку бажаного майбутнього та шляхів їх реалізації.

Результати досліджень використовуються в навчальному процесі кафедри Математичних методів системного аналізу КПІ ім. Ігоря Сікорського, зокрема при викладанні дисципліни “Основи системного аналізу” (акт впровадження від 05.12.2016). Впровадження запропонованої методології та програмних засобів в МВС України (акт впровадження від 09.12.2016) дали можливість, зокрема, побудувати та запропонувати замовнику для прийняття рішень сценарії розвитку соціальних лих.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. На основі аналізу дослідження проблем розвитку соціально-економічних систем та їх розв’язання зроблено висновок про доцільність розробки математичного забезпечення на основі синтезу методологій передбачення та когнітивного моделювання. Проблема зумовлена тим, що на етапі передбачення будуються лише альтернативи сценаріїв. Залучення когнітивного моделювання надає можливість обґрунтовано побудувати сценарії розвитку бажаного майбутнього та шляхи їх реалізації.
2. Вперше запропоновано системний підхід до побудови стратегії розвитку соціально-економічних систем у вигляді двоетапної моделі на основі синтезу методологій передбачення та когнітивного моделювання, де результати передбачення є вихідними даними для начального етапу когнітивного моделювання.
3. Розроблено формалізацію процесу когнітивного моделювання, що включає наступні взаємопов’язані проблеми: побудова когнітивної моделі (карти), обґрунтування на кожному етапі моделювання стійкості за значенням і по збуренню, структурної стійкості, розробка сценарію розвитку бажаного майбутнього.
4. Наведено доведення чисельної стійкості когнітивних карт на основі представлення значень та збурень у вершинах графу у матричному вигляді.
5. Запропоновано метод побудови інтегрованого показника даних, що полягає в розбитті підмножини вихідних факторів на уточнюючі фактори на основі методики відновлення функціональних залежностей за дискретно заданими вибірками. Підхід надає можливість формувати логічні групи та інтегрувати їх у агреговане значення, обґрунтовано в процесі когнітивного моделювання робити декомпозицію вершини графа на декілька вершин.

6. Побудовано технологію когнітивного моделювання щодо визначення можливих й раціональних шляхів управління ситуацією з метою переходу від вихідних станів до бажаних.
7. Застосовано розроблений системний підхід у вигляді моделей, методів та програмно-обчислювальних комплексів до розв'язання розвитку ряду практичних соціально-економічних задач. Розглянуті такі задачі, як виявлення основних галузей економіки України; виявлення шляхів розвитку майбутнього металургійної галузі України, який направлено на перехід на композиційні матеріали; дослідження розвитку ринку композиційних матеріалів; вибір напрямку діяльності компанії в залежності від ситуації в державі в сфері ІКТ; виявлення пріоритетних галузей і технологій військово-промислового комплексу України; виявлення та дослідження пріоритетних напрямків розвитку вищої освіти в Україні.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Панкратов В.А. Математические модели системного анализа нестационарных процессов //Наукові праці. Науково-методичний журнал. Миколаївський державний гуманітарний університет ім. Петра Могили комплексу «Київська Могилянська академія». Серія «Комп'ютерні технології». - Вип. 77, т.90 - 2008. –С.87-95, що входить до наукометричної бази Index Copernicus.
2. Pankratova N.D, Beznosik A.Yu., Pankratov V.A. Definition of Indicators of Sustainable Development of the Coastal Zone of the Crimea Autonomous Republic with the Context of Regional Priorities // Journal of control problems and informatics. –Vol.41, № 9.-2009. P.80-89, що входить до наукометричної бази Scopus, ISI. Дисертантом запропоновано чотирьохрівневу ієрархічну систему дослідження екологічного стану ПБК.
3. Pankratov V. The creation of strategy for innovation development of socio-economic systems //International Journal. «Information technologies&knowledge». ITHEA. SOFIA, v.3, №1. - 2014. –P. 84-99, що входить до наукометричних баз Worldcat, ROAD Directory of Open Access scholarly Resources, Google Scholar, CiteseerX and ITHEA.
4. Згуровский М.З., Панкратов В.А Стратегия инновационного развития региона на основе синтеза методологий предвидения и когнитивного моделирования //Системні дослідження та інформаційні технології. №2. – 2014. - С.7-17, що входить до наукометричних баз DOAJ, Index Copernicus, РІНЦ та ін. Дисертантом запропоновано доведення стійкості когнітивної моделі, що представлено на прикладі.
5. Pankratov V. Development of the approach to formalization of vector's indicators of sustainable development // International Journal "Information Technologies & Knowledge". ITHEA. SOFIA,v.8, №.3 - 2014. –P.203-211, що

входить до наукометричних баз Worldcat, ROAD Directory of Open Access scholarly Resources, Google Scholar, CiteseerX and ITHEA.

6. Панкратова Н.Д., Радюк А.М., Панкратов В.Д. Патент на корисну модель №87006 Інформаційна система технічної діагностики функціонування складних технічних систем, 10.01.2014. Дисертантом запропоновано модуль побудови інтегрованого показника даних.

Дисертантом робились доповіді на зарубіжних конференціях та рецензовані статті були опубліковані у їх працях:

7. Pankratov V. The approach to system estimation of the non-stationary ecological processes //Proceed. Intern. Conf “VIII Szkola Geomechaniki”. Materialy Naukowe, Gliwice-Ustron, 16-20 pazdziernika 2007. – 2007. – P. 139-146.
8. Pankratov Vladimir To estimation of system problems on the basis of qualitative information analysis //XIII Miedzynarodowe Sympozjum Geotechnika-geotechnics 2008. Materialy Naukowe, Gliwice-Ustron, - 14-17 pazdziernika. – 2008. – P.159-166.
9. Pankratova N., Beznosyk A., Pankratov V. The scenarios construction of the sustainable development of the crimean region using cognitive modelling //Proceeding 4th international conference on intelligent systems and knowledge engineering (ISKE2009), Hasselt, Belgium, November. 27-28, 2009. –P.667-672. Дисертантом запропоновано застосування когнітивного моделювання до дослідження сталого розвитку регіону.
10. Pankratov Vladimir To estimation of sustainable development of the Crimean region on the cognitive modeling basis //Intern. Conf “IX Szkola Geomechaniki 2009”. Materialy Naukowe, Gliwice-Ustron, 20-23 pazdziernika 2009. – 2009. – P. 147-154.
11. Pankratov V. To the estimation of cognitive maps sustainability // Intern. Conf “X Szkola Geomechaniki 2011”. Materialy Naukowe, Gliwice-Ustron, V-2, 18-21 pazdziernika 2011. – 2011. – P. 119-128.
12. Згуровский М.З., Панкратов В.А. К оцениванию устойчивости когнитивных карт для сложных систем //Международная научно-практическая мультikonференция «Управление большими системами»: «Когнитивное моделирование– 2011» (УИ), Москва, 14-16 ноября 2011 года. Дисертантом запропоновано методику дослідження стійкості когнітивних карт.
13. Pankratov V. Application of cognitive modeling to solving of foresight problems // XIV Miedzynarodowe Sympozjum Geotechnika-Geotechnics 2012”. Materialy Naukowe, Gliwice-Ustron, 23-26 pazdziernika 2012. – 2012, -P.56-65.

Дисертантом робились доповіді на міжнародних наукових конференціях:

14. Панкратов В.А. Подход к формированию системной обработки информации нестационарных экологических процессов // Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції «Системний аналіз та інформаційні технології», м. Київ, 15 – 19 травня 2007 року. Київ 2007. –С.21.
15. Панкратов В.А. К разработке модели автоматизации бизнес-процессов // Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «Системний

- аналіз та інформаційні технології», м. Київ, 20 – 24 травня 2008 року. Київ 2008. –С.114.
16. Панкратов В.А. Математические модели системного анализа нестационарных процессов // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Ольвійський форум-2008: Стратегії України в геополітичному просторі». м. Ялта, Крим, Україна, 05 – 08 червня 2008 року. 2008. –С.99-101.
  17. Pankratov Vladimir Revelation of regularities with estimation of the non-stationary ecological processes //21-st International CODATA Conference. Scientific informayionfor society – from today to the future. 3-8 October 2008. NTUU “KPI”, Kiev, 2008. – P.91
  18. Панкратов В.А. К разработке модели устойчивого развития региона АР Крым // Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції «Системний аналіз та інформаційні технології», м. Київ, 26 – 29 травня 2009 року. Київ 2009. –С.174.
  19. Панкратов В.А К анализу социально-экономического потенциала рекреационной системы АР Крым //Тезисы докладов V Всеукраинской научно-практической конференции «Информационно-компьютерные технологии в экономике, образовании и социальной сфере», Симферополь. – 2010. С. 62-64.
  20. Панкратов В.А. Системный подход к оцениванию устойчивого развития // Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції «Системний аналіз та інформаційні технології», м. Київ, 25 – 29 травня 2010 року. Київ. – 2010. –С.133.
  21. Панкратов В.А. Выделение кластеров для управления рекреационной сферой АР Крым на основе методики Портера // Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Системний аналіз та інформаційні технології». 24 – 29 травня 2011 року, Київ, Україна. - Київ 2011. –С.133-134.
  22. Панкратов В.А. Моделирование системы показателей текущего состояния окружающей среды Южного берега АР Крым//Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції «Системний аналіз та інформ. технології», ІПСА НТУУ «КПІ», 24– 29 травня, м. Київ. -2012. -С.99-100.
  23. Панкратов В.А. К реализации стратегии инновационного развития на основании когнитивного моделирования //Матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції «Системний аналіз та інформ. технології», ІПСА НТУУ «КПІ», 27–31 травня, м. Київ. -2013. -С.150-151
  24. Панкратов В.А. Розробка формалізації показників вектору сталого розвитку //Матеріали XVI Міжнародної науково-технічної конференції «Системний аналіз та інформ. технології», ІПСА НТУУ «КПІ», 24– 29 травня, м. Київ. - 2014. -С. 132.
  25. Панкратов В.А. Выявление основных отраслей экономики Украины до 2020 г. //Матеріали XVII Міжнародної науково-технічної конференції «Системний аналіз та інформ. технології», ІПСА НТУУ «КПІ», 22– 25 червня, м. Київ. -2015. -С. 93.

26. Панкратов В.А. Побудова стратегії розвитку соціо-економічних систем на основі синтезу методологій передбачення та когнітивного моделювання //Інформаційні технології, економіка та право: стан та перспективи розвитку. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Вип. 12. Чернівці. -2015. -С. 194-196.
27. Панкратов В.А. Развитие будущего металлургической промышленности Украины //Матеріали XVIII Міжнародної науково-технічної конференції «Системний аналіз та інформ. технології», ІІСА НТУУ «КПІ», 30 травня – 2 липня, м. Київ. -2016. -С.129-130.

## АНОТАЦІЯ

**Панкратов В.А.** Стратегія розвитку соціально-економічних систем на основі методологій передбачення та когнітивного моделювання. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.04 – системний аналіз і теорія оптимальних рішень. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2017 р.

Дисертаційна робота полягає у розробці стратегії розвитку соціально-економічних систем на основі математичного забезпечення одночасного застосування методологій передбачення та когнітивного моделювання. У даній роботі пропонується використовувати зазначені методології спільно: на першому етапі застосовувати методологію передбачення і отримані результати використовувати на другому етапі в якості вихідних даних для когнітивного моделювання. У ряді випадків, коли вихідна інформація при застосуванні когнітивного моделювання задається у статистичній формі у вигляді окремих логічних груп, пропонується метод побудови інтегрованого показника даних, що полягає в розбитті підмножини вихідних факторів на уточнюючі фактори. Це надає можливість агрегувати усі групи в інтегрований показник даних при залученні запропонованої методики відновлення функціональних закономірностей по дискретно заданих вибірках, або проводити декомпозицію інтегрованих даних в окремі предметні групи з подальшою декомпозицією на логічну послідовність характеристик. Тобто при побудові когнітивної карти обґрунтовано добавляти чи видаляти її вершини, розбивати вершини на взаємопов'язану послідовність вершин. Запропонований системний підхід до вирішення задач розвитку соціально-економічних систем на основі синтезу методологій передбачення і когнітивного моделювання дозволяє побудувати науково обґрунтовану стратегію реалізації пріоритетної альтернативи сценарію розвитку соціально-економічних систем різної природи та відкриває унікальну можливість в рамках єдиного програмно-аналітичного комплексу вирішувати завдання стратегічного планування та оперативного реагування.

**Ключові слова:** передбачення, когнітивне моделювання, чисельна та структурна стійкості, системний підхід, інтегрований показник даних.

## АННОТАЦІЯ

**Панкратов В.А.** Стратегия развития социально-экономических систем на основе методологий предвидения и когнитивного моделирования. – На правах рукописи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.04 - системный анализ и теория оптимальных решений. - Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Диссертационная работа посвящена разработке стратегии развития социально-экономических систем на основе математического обеспечения методологий предвидения с целью создания альтернатив сценариев и когнитивного моделирования для построения сценариев развития желаемого будущего и путей их реализации. В данной работе впервые предлагается использовать указанные методологии совместно: на первом этапе применять методологию предвидения и полученные результаты использовать на втором этапе в качестве исходных данных для когнитивного моделирования. Привлечение на первом этапе моделирования процесса предвидения позволяет с помощью процедур экспертного оценивания выявить критические технологии и построить альтернативы сценариев с количественными значениями характеристик. Для обоснованной реализации того или иного сценария привлекается когнитивное моделирование, что позволяет на основании знания и опыта построить причинно-следственные связи, понять и проанализировать поведение сложной системы на стратегическую перспективу при большом количестве взаимосвязей и взаимозависимостей и предложить научно обоснованную стратегию реализации приоритетного сценария.

В ряде случаев, когда исходная информация задается в статистической форме или в виде отдельных логических групп, при использовании когнитивного моделирования предлагается метод построения интегрированного показателя данных, который заключается в разбиении подмножества исходных факторов на уточняющие факторы. Это дает возможность агрегировать все группы в интегрированный показатель данных при привлечении предложенной методики восстановления функциональных закономерностей по дискретно заданным выборкам, или проводить декомпозицию интегрированных данных в отдельные предметные группы с последующей декомпозицией на логическую последовательность характеристик. То есть при построении когнитивной карты обоснованно добавлять или удалять ее вершины, разбивать вершины на взаимосвязанную последовательность вершин. При исследовании устойчивости взвешенного ориентировочного графа - когнитивной карты - исследуется устойчивость по значению и устойчивость по возмущению системы по мере ее эволюции, а также структурная устойчивость. В идеальном случае устойчивость достигается при условии, что весь комплекс показателей находится в пределах

допустимых границ своих пороговых значений, а пороговые значения одного показателя достигаются не в ущерб другим

Предложенный системный подход к решению задач развития социально-экономических систем в виде двухэтапной модели на основе методологий предвидения и когнитивного моделирования позволяет предложить научно обоснованную стратегию реализации приоритетной альтернативы сценария развития социально-экономических систем различной природы и открывает уникальную возможность в рамках единого программно-аналитического комплекса решать задачи стратегического планирования и оперативного реагирования.

На основе разработанного математического и программного обеспечения решены следующие задачи развития ряда социально-экономических систем: выявление основных отраслей экономики Украины; выявление путей развития будущего металлургической отрасли Украины, который направлен на переход на композиционные материалы; исследования развития рынка композиционных материалов; выбор направления деятельности компании в зависимости от ситуации в государстве в сфере ИИКТ; выявление приоритетных отраслей и технологий военно-промышленного комплекса Украины; выявление и исследование приоритетных направлений развития высшего образования в Украине. Результаты исследований используются в учебном процессе кафедры Математических методов системного анализа Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», в частности при преподавании дисциплины «Основы системного анализа». Внедрение предлагаемой методологии и программных средств в МВД Украины позволили, в частности, построить сценарии развития социальных бедствий и предложить их заказчику для принятия решений.

**Ключевые слова:** предвидение, когнитивное моделирование, численная и структурная устойчивости, системный подход, интегрированный показатель данных.

## SUMMARY

**Pankratov V.A.** Strategy for the development of socio-economic systems based on the methodologies of foresight and cognitive modeling. - The manuscript.

Thesis for a candidate degree in specialty 01.05.04 - system analysis and the theory of optimal solutions. - National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, 2017

The thesis is the development of socio-economic systems strategy based on mathematical support simultaneous use of methodologies foresight and cognitive modeling. In this thesis the methodologies are used together: the first phase foresight methodology used and its results used as source data in the second stage - for cognitive modeling. In some cases, when the output information for cognitive modeling is given in statistical form as separate logical groups, the method of constructing an integrated indicator data is proposed. This enables all groups to aggregate in integrated indicator data used the proposed method of recovery of functional dependences for discrete preset

samples or carry out decomposition integrated indicator to individual subject groups, followed by decomposition of the logical sequence characteristics. That is the construction of cognitive maps reasonably add or remove her vertex, vertex to break a sequence of interconnected nodes. The proposed system approach to solving problems of social and economic systems based on synthesis methodologies foresight and cognitive modeling allows to build a science-based strategy to implement priority alternative scenario of social and economic systems of different nature and offers a unique opportunity within a single software and analytical complex to solve problems of strategic planning and rapid response.

**Keywords:** foresight, cognitive modeling, numerical and structural stability, systematic approach, integrated index data.