

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ І ГЛОБАЛЬНОГО
ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ**

ПРОСЯНКІНА-ЖАРОВА ТЕТЯНА ІВАНІВНА



УДК 004.5:004.6:004.89:007.51

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УПРАВЛІННІ РЕГІОНАЛЬНИМ РОЗВИТКОМ**

05.13.06 – Інформаційні технології

РЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Київ – 2025

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України

Науковий консультант:

доктор технічних наук, професор,
член-кореспондент НАН України
ТРОФИМЧУК Олександр Миколайович,
Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України,
директор

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
НЕСТЕРЕНКО Олександр Васильович,
Міжнародний європейський університет,
завідувач кафедри інформаційних технологій

доктор технічних наук, професор
ЛИТВИНЕНКО Володимир Іванович,
Херсонський національний технічний
університет, завідувач кафедри інформатики і
комп'ютерних наук

доктор технічних наук, професор
НЕСКОРОДЄВА Тетяна Василівна,
Уманський національний університет,
професор кафедри інформаційних технологій

Захист дисертації відбудеться 17 вересня 2025 року о 13⁰⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.255.01 Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України за адресою: 03186, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13, к. 601.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України за адресою: 03186, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13.

Реферат розісланий 15 серпня 2025 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
д.т.н., доцент



О. М. Терентьев

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дисертаційного дослідження. Регіональний розвиток визначено у ст. 1 Закону України «Про засади державної регіональної політики» як процес соціальних, економічних, екологічних, гуманітарних та інших позитивних змін у регіонах, триває. Реформа місцевого самоврядування та територіальної організації влади, децентралізації частини владних повноважень та фінансів - складові Державної стратегії регіонального розвитку до 2020, посилили інституційну та фінансову спроможність місцевого самоврядування, що забезпечило стійкість громад та регіонів в умовах військової агресії. Наступним кроком є реалізація Державної стратегії регіонального розвитку на 2021-2027 роки, яка передбачає наближення державної регіональної політики України до політики згуртованості - ключової політики Європейського Союзу, що визначає такі пріоритети як відновлення, забезпечення якості надання державних послуг, підтримки економічного зростання, забезпечення добробуту населення. Реалізація вказаних пріоритетів потребує розроблення відповідних механізмів, методів та інформаційних технологій підтримки прийняття рішень, які дозволяють на основі всебічного та детального аналізу наявних даних, розробити декілька варіантів рішень, з яких особа, що приймає рішення може вибрати те, що найкраще відповідає поставленій задачі.

Розвинуті у роботі теоретичні засади вирішення проблеми інформаційно-аналітичного забезпечення підтримки прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком ґрунтується на результатах досліджень вітчизняних та закордонних вчених: П. І. Бідюка, Х. Вотсон, С. О. Довгого, О. Г. Наконечного, О. В. Нестеренка, С. К. Полумієнка, В. Є. Снитюка, Р. Спрага, О. М. Трофимчука (*технології та системи підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності*); В. Я. Данилова, М. З. Згуровського, В. С. Михалевича, Н. Д. Панкратової (*теорія та прикладні методи системного аналізу*), Г. Бокса, А. Дженкінса, В. І. Іваненка, О.Г. Івахненка, М. Кендалла, О. М. Новікова, О. А. Павлова, О. М. Хіміча (*математичне моделювання і прогнозування складних процесів і систем*); П. І. Андона (*методи інтелектуального аналізу даних*); Р. Пірсона, О. І. Міхальова, Ю. П. Зайченка (*методи нечіткого аналізу і моделювання*); Т. Байєса, В. Гілкса, С. Лауритсена, Дж. Перла, Д. В. Стефанишина (*основи ймовірнісного підходу*); В. О. Васяніна, О. П. Гожого, В. А. Лахна, Т. В. Нескородевої, С. Ф. Теленика (*інформаційні технології*), В. М. Глушкова, В. І. Литвиненка (*системи та методи штучного інтелекту*), М. Бері, С. Аггарвала, Х. До Прадо, О. В. Копійки, Д. В. Ланде (*інтелектуальний аналіз тексту*) та інших.

Незважаючи на наявність значної кількості досліджень щодо розвитку соціально-економічних систем, проблема розробки моделей, методів та інформаційних технологій підтримки прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком, залишається невирішеною повністю. Зокрема, слід відзначити відсутність загальних підходів до аналізу та попередньої обробки структурованих і неструктурованих даних, що описують предметну область в умовах невизначеності. Також нерозв'язаною залишається й низка задач, пов'язаних із виявленням характеру досліджуваних процесів, розробкою

універсальних методик побудови моделей та їх ансамблів для отримання прогнозів розвитку процесів, характерних для соціально-економічних систем регіонального рівня за різних сценаріїв.

Розв'язання вказаних задач неможливе без створення єдиної науково обґрунтованої інформаційної технології, яка б охоплювала весь комплекс задач побудови прогнозів високої якості, необхідних для прийняття ефективних управлінських рішень.

На підставі викладеного можна стверджувати, що проблема побудови інформаційних технологій підтримки прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком, які забезпечують високу обчислювальну ефективність, є актуальною.

Важливою і актуальною науково-прикладною проблемою, що розв'язується в дисертаційній роботі є підвищення ефективності підтримки прийняття рішень управління регіональним розвитком в умовах невизначеностей та ризиків різної природи, на основі застосування сучасних методів системного аналізу, моделювання, прогнозування та інформаційних технологій.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами. Тема дисертаційної роботи повністю відповідає тематиці наукових досліджень Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України. Результати, отримані в ході виконання дисертаційного дослідження знайшли відображення у науково-дослідних роботах: «Розробка та аналіз засобів теоретико-ігрового моделювання стратегій збалансованого технологічного розвитку територій» (номер державної реєстрації 0116U000796), «Розробка інформаційної технології моделювання і прогнозування розвитку соціально-еколого-економічних систем в умовах невизначеності, нестаціонарності та ризику» (номер державної реєстрації 0121U100132), «Розроблення інформаційної технології комп'ютерного моделювання розвитку соціально-економічних систем під впливом глобальних чинників» (номер державної реєстрації 0122U200504), «Математичне моделювання, методи та інформаційно-комунікаційні технології для забезпечення стійкості критичної інфраструктури. Розділ 1. Розроблення математичних моделей, методів та технологій підтримки прийняття рішень забезпечення кібербезпеки та логістики критичних інфраструктур» (номер державної реєстрації 0123U100856), «Розробка інформаційних технологій та інструментальних засобів моделювання і прогнозування розвитку територій в умовах децентралізації» (номер державної реєстрації 0121U109211), «Математичне моделювання і прогнозування функціонування та розвитку соціально-економічної і транспортної інфраструктури територій і громад» (0123U104136), «Математичне моделювання, інтелектуальний аналіз даних та штучний інтелект для забезпечення прийняття рішень у сфері національної безпеки і оборони» (номер державної реєстрації 0125U000258).

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є розроблення єдиної формалізованої методології використання моделей, методів і методик системних досліджень у галузі інформаційних технологій, призначених для застосування в системах підтримки прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком на

основі мережецентричного підходу, багатомодельного і багатокритеріального аналізу та інтеграції різнотипних даних, що забезпечує підвищення ефективності державного управління та місцевого самоврядування в умовах невизначеності та ризику.

Для досягнення мети дослідження розв'язано такі завдання:

- виконати аналіз сучасних методів і підходів до математичного моделювання, інтелектуального аналізу даних та інформаційних технологій для підтримки прийняття рішень у системах управління регіональним розвитком, з урахуванням умов невизначеності, нестаціонарності та різної природи процесів;
- проаналізувати сучасний стан і методи управління розвитком громад та регіонів, оцінити їх ефективність в Україні та за кордоном, а також виявити ключові фактори, що визначають досягнення цілей розвитку;
- дослідити сучасні методи моделювання та прогнозування соціально-економічних і соціально-еколого-економічних процесів та визначити можливості їх застосування до умов розвитку регіонів України;
- побудувати математичні моделі та ансамблі моделей процесів, характерних для територіальних громад і регіонів, з метою прогнозування їх розвитку, оцінки сценаріїв розширеного відтворення та формування варіантів управлінських рішень;
- удосконалити метод прогнозування розвитку регіональних соціально-економічних систем шляхом урахування особливостей територіального розташування, функціонування об'єктів підприємницької діяльності та інфраструктури, а також структурно-параметричних невизначеностей моделей;
- розробити та апробувати моделі для оцінювання і прогнозування економічних та екологічних ризиків у ключових сферах діяльності громад, здійснити формально-математичний опис алгоритмів і методів генерації множини кандидатів-сценаріїв розвитку процесів та визначити заходи щодо зменшення ймовірності негативних наслідків;
- виконати оцінку адекватності побудованих моделей і на її основі сформулювати рекомендації щодо їх застосування для оцінювання стану та прогнозування розвитку громад і регіонів;
- розробити методику розв'язання багатокритеріальних задач підтримки прийняття рішень із використанням еволюційних процедур та генетичних алгоритмів, інтегрованих у загальну методологію;
- на основі системного підходу побудувати та реалізувати інформаційну технологію підтримки прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком, придатну для впровадження у системи державного управління та місцевого самоврядування.

Об'єктом дослідження є процеси регіонального розвитку.

Предметом дослідження – моделі, методи, методики та інформаційні технології підтримки прийняття рішень щодо розвитку регіонів і громад в умовах невизначеності та ризику.

Методи дослідження. Теоретичну та методологічну основу дослідження складають *метод діалектичного пізнання* стану та особливостей перебігу процесів регіонального розвитку, *системний підхід* до визначення факторів і механізмів, що впливають на динаміку соціально-економічних систем регіонального та місцевого рівнів. *При узагальненні теоретичних та методологічних засад* математичного моделювання та прогнозування розвитку досліджуваних соціально-економічних – методи індукції та дедукції, аналізу і синтезу, аналогій і зіставлення, формалізації й моделювання, порівняння, дослідження часових рядів, когнітивного, кластерного та інтелектуального аналізу даних, сценарний підхід, елементи теорії прийняття рішень. Для аналізу і обробки інформації використані методи системного, інтелектуального та статистичного аналізу даних, багатокритеріального аналізу, експертного оцінювання. Для моделювання та прогнозування процесів регіонального розвитку – методи математичного, економетричного, ймовірнісно-статистичного моделювання, теорії подібності процесів, методи використання комбінованих прогнозів, дерев рішень та багатовимірних розподілів. Для розроблення інформаційної технології використано методи синтезу, системного аналізу, підтримки прийняття рішень, багатокритеріального аналізу та байєсівського підходу; для побудови практичних реалізацій – методи та засоби проектування і реалізації систем підтримки прийняття рішень, прикладне програмування.

Наукова новизна дослідження визначається теоретичними і прикладними результатами, отриманими автором, а саме:

вперше розроблено :

- єдину формалізовану методологію підтримки прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком, яка, на відміну від відомих охоплює повний цикл від збору та інтеграції різнорідних структурованих і неструктурованих даних до формування оптимального рішення, та базується на системному підході з використанням багатомодельного і багатокритеріального аналізу, інтероперабельної мережецентричної архітектури й інтелектуальних технологій опрацювання даних, що дозволяє забезпечити узгодженість стратегій розвитку та підвищити обґрунтованість управлінських рішень;
- метод підтримки прийняття рішень на основі мережецентричного підходу, який на відміну від чинних, забезпечує взаємодію органів державного управління та територіальних громад у розподіленому інформаційному середовищі з підтримкою автоматизованого обміну даними та адаптації управлінських стратегій до зовнішніх і внутрішніх умов, що збільшить гнучкість і швидкість реагування на зміни ситуації;
- інформаційну технологію моніторингу державної регіональної політики, яка на відміну від наявних рішень, поєднала математичні моделі, методи інтелектуального аналізу даних і штучного інтелекту з рекомендаційною підсистемою для формування сценаріїв і варіантів управлінських рішень в умовах невизначеності, що дає змогу своєчасно виявляти відхилення та пропонувати оптимальні коригуючі заходи;
- методику комплексного оцінювання ризиків і невизначеностей для соціально-

еколого-економічних систем, яка, на відміну від наявних, базується на багатокритеріальному виборі сценаріїв розвитку та забезпечує інтеграцію кількісних і якісних показників, включно з експертними оцінками, що забезпечує високоякісне прогнозування та зниження ймовірності негативних наслідків;

- методику автоматизованого реагування на загрози різної природи, яка на відміну від чинних, реалізує вибір оптимальної стратегії з множини можливих, з урахуванням прогнозованої інформації та обмежень ресурсів, що дозволяє мінімізувати втрати та підвищити стійкість системи;
- підхід до побудови ансамблів математичних моделей регіонального розвитку, який на відміну від наявних має модифіковану комплексну структуру, збільшує адекватність та точність прогнозування сценаріїв зміни соціально-еколого-економічних систем, що дає змогу формувати надійні прогнози.

вдосконалено:

- метод синтезу інформаційних технологій на основі багатомодельного й багатокритеріального підходів, який, на відміну від відомих, передбачає системне використання методів збору, оброблення, інтегрування та аналізу різнотипної інформації, моделювання, прогнозування і багатокритеріального прийняття рішень, із можливістю автоматизованого інтегрування даних, адаптивним налаштуванням та урахуванням досліджуваних процесів, що збільшить ефективність комплексного аналізу;
- метод прогнозування на основі адаптивного підходу до моделювання та прогнозування з використанням регресійних, узагальнених лінійних і ймовірісно-статистичних моделей у формі мереж Байєса, який, на відміну від наявних, враховує можливі структурно-параметричні невизначеності моделей і забезпечує коректний формальний опис причинно-наслідкових зв'язків, що дозволить підвищити точність прогнозів;
- інформаційну технологію, в основу якої покладено інтеграцію принципів системного аналізу, методів обробки та оцінювання якості даних і прогнозного моделювання з використанням нових математичних моделей та їх композицій, що збільшить достовірність результатів і адаптивність до різних предметних областей;
- інструментальні засоби для розв'язання прикладних завдань прогнозування та підтримки прийняття рішень у різних галузях, створені на основі запропонованих методів, моделей і технологій аналізу даних та експертних оцінок, що розширить можливості практичного використання результатів дослідження;
- критерії адекватності моделей та оцінки якості прогнозів, які, на відміну від відомих, забезпечать комплексну перевірку проміжних і кінцевих результатів моделювання, та підвищать достовірність прогнозів і якість підтримки прийняття рішень у процесах регіонального розвитку.

отримав подальший розвиток:

метод оцінювання ризиків і невизначеностей на основі процедури оцінювання варіантів розвитку ситуації, який, на відміну від існуючих, дозволяє враховувати невизначеності та ризики різних типів, що забезпечує підвищення точності оцінок і надійності остаточних управлінських рішень.

Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні системної методології розроблення інформаційних технологій, призначених для підтримки прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком в умовах невизначеності, зокрема, спричиненої військовим конфліктом. Результати теоретико-методологічного та емпіричного досліджень доведені до використання в науково-практичній діяльності, а також апробовані та впроваджені за безпосередньою участю автора в практичну діяльність органів місцевого самоврядування, державного управління, підприємств та установ, що підтверджується актами впровадження Черкаської обласної державної адміністрації, Львівської обласної державної адміністрації, Уманської міської ради, Паланської територіальної громади, Васильковецької територіальної громади, ТОВ НВП «Агроресурссистеми», ТОВ «СП «Укрінтерм», ГС «Асоціація інженерів сталих енергетичних технологій України», ТОВ «Алгоритм – Х», ТОВ «ГІС Солюшн». Результати використовуються й у навчальному процесі Інституту прикладного системного аналізу Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут України імені Ігоря Сікорського».

Особистий внесок здобувача. Наукові положення, висновки, рекомендації, що представлені в дисертації – особистий доробок здобувача. Інформаційне дослідження за темою дисертації виконано автором особисто. У роботах, опублікованих у співавторстві, до особистого внеску здобувача належать: розроблення методології підтримки прийняття рішень в управлінні складовими регіонального розвитку [1, 4, 5, 8, 13, 14, 21, 33, 34, 40, 45]; постановка задачі, адаптація методики моделювання до досліджуваних процесів [1, 3, 6, 7, 8, 10, 11, 15, 16, 18, 21, 23- 28, 32-35, 39, 41, 42, 46, 47, 49]; метод побудови ансамблів моделей регіонального розвитку [2, 4, 5, 6, 7, 8, 18, 26, 27, 29, 30, 32, 42]; методика комплексного оцінювання ризиків [1, 8, 12, 21, 31, 37, 38, 44, 46, 48]; критеріальна база для аналізу складових регіонального розвитку [2, 4, 5, 10, 11, 15, 16, 17, 19, 22, 23, 25, 26, 27, 32-36, 39, 44, 48]; методика автоматизованого реагування на загрози різних типів [12, 18, 21, 24, 25, 32, 37, 38, 39, 44, 46, 48]; інструментальні засоби для розв'язання прикладних задач прогнозування та підтримки прийняття рішень [2-11, 16, 18, 20, 23, 26-30, 33-35, 40, 43, 46-49]; архітектура системи підтримки прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком [13, 14, 40, 43, 45]; інформаційна технологія підтримки прийняття рішень [2, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 16, 18, 23, 26, 30, 33, 34, 39, 40, 43, 45, 46, 48].

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційного дослідження були представлені більше, ніж на 22 міжнародних та всеукраїнських наукових та науково-практичних конференціях, а саме, 15-й міжнародній конференції «International conference on control and optimization with industrial applications» (COIA-2015) (м. Баку, 27-29 серпня 2015 р.); науково-технічній конференції «Геоінформаційні системи і комп'ютерні технології еколого-економічного моніторингу» (м. Дніпропетровськ, 13–15 квітня 2016 р.); міжнародній конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту» (ISDMCI 2016) (м. Залізний порт, 24-28 травня 2016 р.); 18-й міжнародній науково-технічній конференції «Системний аналіз

та інформаційні технології» (SAIT 2016). (м. Київ, 30 травня – 2 червня 2016 р.); всеукраїнській науково-практичній конференції «Розвиток підприємницької діяльності інтеграції України в світове господарство та інформатизації основних напрямків поступу» (м. Умань, 26-28 квітня 2017); міжнародній конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту» (*ISDMCI 2017*): (м. Залізний порт, 22-26 травня 2017 р.); 18-й міжнародній науково-технічній конференції «Системний аналіз та інформаційні технології» (SAIT 2017), XI науково-практичній конференції «Моделювання та прогнозування економічних процесів» (м. Київ, 6-8 грудня 2017 р.); IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) (м. Київ, 29 травня – 2 червня 2017 р.); 16-й міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (м. Київ, Пуща-Водиця, 3-4 жовтня 2017 р.); XVII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (м. Київ, 25-26 вересня 2018 р.); First International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications (ICCSEEA2018) (м. Київ, 29 травня – 2 червня 2017 р.); XVII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: актуальні питання» (м. Київ, 01-02 жовтня 2019 р.); 14-й міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: актуальні питання» (м. Київ, 06-07 жовтня 2020 р.); 4-й міжнародній науково-практичній конференції «Прикладні системи та технології в інформаційному суспільстві» (AISTIS-2020) (м. Київ, 30 вересня 2020 р.); 9-й міжнародній конференції «Information Control Systems & Technologies» (ICST2020) (м. Одеса, 24–26 вересня 2020 р.); 14th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT 2020) (м. Ташкент, 07-09 жовтня 2020 р.); XX міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: виклики 2021 року» (м. Київ, 04-08 жовтня 2021 р.); XXI Міжнародній науково-практичній конференції: «Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток» (м. Київ, 14-16 листопада 2022 р.); 5-й міжнародній науково-практичній конференції «Прикладні системи та технології в інформаційному суспільстві» (AISTIS-2022): (м. Київ, 30 вересня 2022 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Виклики і загрози для критичної інфраструктури» (м. Київ, 29-30 червня 2023 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-комунікаційні технології для перемоги та відновлення» (м. Київ, 14-15 листопада 2023 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Математичне моделювання та

інформаційно-комунікаційні технології для зміцнення та відновлення» (м. Київ, 12-13 листопада 2024 р.).

Публікації

За результатами досліджень опубліковано 48 наукових праць, у тому числі:

- 1 монографія (розділів у колективних монографіях);
- 12 статей у наукових періодичних виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України (в т.ч. 1 включених до категорії “А”);
- 6 статей у наукових періодичних виданнях інших держав з напрямку, з якого підготовлено дисертацію (в.т.ч. 6, що включені до міжнародних наукометричних баз SCOPUS та/або Web of Science Core Collection;
- 4 статті у виданнях, віднесених до першого — третього кuartилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports; з них, 1 стаття у виданні, віднесеному до другого (Q2), прирівнюється до трьох публікацій та 3 – у виданнях, віднесених до третього кuartиля (Q3), у яких наукова публікація прирівнюється до двох наукових публікацій;
- 28 тез та доповідей на наукових конференціях.

Якість та кількість публікацій відповідають Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук.

Структура дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, реферату, переліку умовних позначень, шести основних розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Робота викладена на 317 сторінках і містить 275 сторінок основної частини, 55 рисунків, 51 таблицю, і список використаних джерел із 320 найменувань. У додатках представлено, акти впровадження результатів роботи, код додатку, результати розрахунків та рисунки, що не увійшли до основного тексту роботи.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У **першому розділі** виконано аналіз сучасного стану та перспектив управління регіональним розвитком. Проаналізовано підходи до визначення понять «регіон», «управління регіональним розвитком». Оскільки, визначення «регіону» в Україні та за кордоном суттєво відрізняються, то й «регіональний розвиток» у роботі досліджено з позицій вітчизняного законодавства, але враховуючи закордонний досвід розбудови економіки регіонів та місцевого самоврядування. Питанням регіонального розвитку, обґрунтуванню відповідних управлінських рішень, присвячено значну кількість робіт як вітчизняних, так і закордонних науковців та фахівців-практиків. Як показало виконане інформаційне дослідження, не зважаючи на те, що існує багато підходів до забезпечення ефективного управління регіональним розвитком, розроблено

значну кількість різноманітних методик підтримки прийняття рішень, однак єдиного підходу немає. Об'єкт управління – регіон є відкритою складною соціально-еколого-економічною системою, розвиток якої відбувається у взаємодії з іншими системами – країнами, іншими регіонами та територіальними громадами, які входять до складу районів у регіонах. Фактично, регіон є сукупністю складних систем нижчого рівня – районів та територіальних громад, що входять до складу районів, мають власні цілі розвитку, ресурсний потенціал, територію у закуплених межах, галузеву структуру економіки, соціальну сферу, тощо, а з іншого боку разом, регіони є складовими системи вищого рівня - держави. Особливістю управління регіональним розвитком є те, що воно відбувається як з боку держави (вищий рівень), так і безпосередньо, на рівні регіону, і має бути скоординована з пріоритетами територіальних громад, тобто мають бути поєднані централізоване управління, децентралізація на рівні територіальних громад та специфіка районів.

Державна стратегія регіонального розвитку на 2021-2027 рр. передбачає, що стратегічне планування має враховувати ключові виклики, які впливають на людину, інфраструктуру, безпекове середовище, економіку та навколишнє природне середовище, а також включати побудову культури партнерства та співробітництва, орієнтовану на взаємодію органів державної влади, органів місцевого самоврядування та громадян. Заходи державної регіональної політики, як зазначається в Стратегії, мають формуватимуться на основі набутого досвіду, зібраних даних, висновків, рекомендацій, результатів аналізів та оцінки для забезпечення та підтримки високих стандартів управління та реалізації державної регіональної політики, що потребує функціонування відповідних спеціалізованих аналітичних засобів, баз даних для формування та оцінки результативності цієї політики.

Також зазначається, що державна регіональна політика на період до 2027 року здійснюватиметься на основі комплексного територіально-орієнтованого підходу, який передбачає, що об'єктом у рамках регіональної політики є регіони та територіальні громади, які характеризуються специфічним набором соціальних, просторових, безпекових, екологічних та економічних особливостей. З точки зору теорії системного аналізу, регіони є складними соціально-еколого-економічними системами. Такі системи характеризуються адаптивністю, схильністю до самоорганізації, а процеси, що відбуваються в них - складністю, наявністю невизначеностей різних типів, значними обсягами різномірної інформації, що стосується різних предметних областей, стійкими горизонтальними та вертикальними зв'язками між окремими елементами системи.

Чільне місце у системі регіонального розвитку посідають територіальні громади. В ході реформи децентралізації, держава делегувала значну частину повноважень територіальним громадам. Зокрема, це питання утворення об'єднаних громад, визначення напрямів соціально-економічного розвитку, пріоритетності інвестиційних проектів, тощо. Маючи такі повноваження, громади, в свою чергу є об'єктами управління, які мають спільно вирішувати задачі регіонального розвитку. Така модель управління відповідає мережецентричному підходу, який дозволяє забезпечувати гнучкість процесів

управління складними системами, якими, зокрема, є регіони. За такого підходу, кожна територіальна громада є окремим елементом регіональної системи, який може генерувати та отримувати інформацію, приймати рішення на основі отриманої інформації та ситуації, що складається, самоорганізовуватись, виконувати задачі регіонального розвитку в межах власних повноважень, відповідно до програм, планів, стратегій розвитку громад та регіонів. Тобто, фактично, регіональний розвиток відбувається у розподіленому інформаційному середовищі, кожний вузол якого – громада, має ситуаційну обізнаність, здатний до самоорганізації та прийняття рішень щодо використання наявних ресурсів та забезпечення сталого функціонування.

Отже, цифрова платформа має відтворювати мережецентричну модель керування складною системою – регіоном (рис. 1). Домени, що утворюють мережецентричне середовище: фізичний, інформаційний та домен знань взаємодіють між собою створюючи синергетичний ефект.

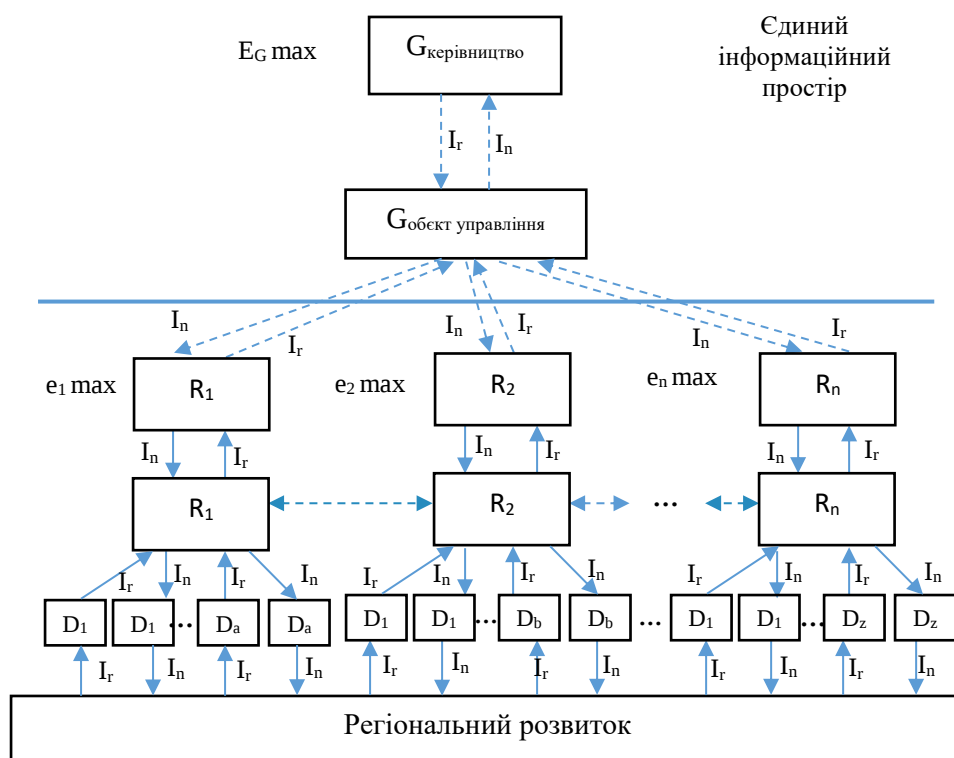


Рисунок 1 – Архітектура мережецентричної системи регіонального розвитку

Найвищий рівень (G) – визначає цільову настанову системи – забезпечення визначених значень показників регіонального розвитку. На наступному – нижчому рівні ієрархії розглядається районний рівень управління (R, райони, кількість n) – підсистема, якою керують. Її цільова настанова (E) – забезпечення сталого розвитку відповідно до найкращих показників. Підсистеми G та R обмінюються інформацією стосовно стратегії керування. Система вищого рівня (G) отримує інформацію про стан та функціонування системи нижчого рівня (R), коригує команди управління для об'єктів, що знаходяться на нижчому рівні (R), і, відповідно до зміни ситуації, коригує власні настанови. Найнижчий рівень – рівень територіальної громади (D, їх кількість різна для кожного району від 1 до z). Його ціль – забезпечення добробуту жителів громади. У процесі

функціонування, системи, що знаходяться на одному рівні управління обмінюються інформацією, отримують настанови (In), повідомляють результати (Ir) коригують свою політику: система самоорганізується, адаптуючись до умов поточної ситуації, формуючи при цьому єдиний інформаційний простір. Перевагою такої моделі є самостійність її ланок, оперативність прийняття рішень в умовах невизначеності та швидкої зміни ситуації, що особливо актуально в умовах війни. За такої побудови інформаційної системи, актуальною є проблема забезпечення інтегрованості, оскільки мережецентрична архітектура передбачає, що всі елементи системи можуть обмінюватись інформацією «напрямую» один з одним.

Складність створення аналітичного інструментарію, систем підтримки прийняття рішень для регіонального рівня, пов'язана з необхідністю урахування значної кількості специфічних факторів, зокрема особливостей життєвого циклу регіону (громади) як конкретної соціально-еколого-економічної системи, її структури, моделі управління, територіального розташування, внутрішніх зв'язків та зв'язків з іншими системами, суспільно-політичні чинники, зовнішні та внутрішні впливи різного характеру, а також передбачити проблемні ситуації, сценарії перебігу подій, можливі наслідки та потенційні ризики. Крім того, побудова інформаційно-аналітичних систем для органів державного управління та місцевого самоврядування врегульована на законодавчому рівні, встановлено набір показників, які підлягають моніторингу та аналізу. Кожний регіон, як зазначається у Програмі інформатизації, має представити власну програму інформатизації, яка б охоплювала напрямки, пріоритетні саме для нього. Але, за такого підходу, втрачається системність. Регіональний рівень управління розглядається відокремлено, з перенесенням акцентів на вирішення точкових, внутрішніх проблем громад регіону. Розроблення системи підтримки прийняття рішень управління регіональним розвитком в цьому випадку, здійснюється орієнтуючись на поточну ситуацію, розв'язання нагальних задач, а не виходячи з стратегічних пріоритетів. орієнтуючись на перспективи розвитку, Мало уваги приділяється аналітичній складовій, прогнозуванню, обґрунтуванню управлінських рішень. Наприклад, потреба регіонів та громад в інвестиціях часто планується виходячи з необхідності виконання окремих програм чи проектів, навіть привабливих на поточний момент, але таких, що не забезпечуватимуть ні спроможність територіальних громад на перспективу, ні подальший регіональний розвиток.

Значними є ризики того, що реалізація програм інформатизації для регіонів та громад буде різною за концепцією, якістю реалізації, набором реалізованих функцій, не масштабованою та не відповідатиме в повному обсязі вимогам інтегрованості.

Також, потребує вирішення проблема уніфікації інформаційних технологій збору, оброблення та зберігання значних обсягів різномірної та неструктурованої, інформації, забезпечення її захисту та надійного передавання між вузлами системи. відповідно чинних вимог.

Тому, у роботі пропонується системне використання уніфікованого набору інформаційних технологій, об'єднаних у єдиній інформаційній системі

регіонального розвитку, побудованій за мережецентричним принципом на основі інтероперабельності, застосування комплексної системи захисту інформації з підтвердженою відповідністю. Використання пропонованих в роботі інформаційних технологій забезпечить:

- узгодженість стратегій та програм розвитку регіонів та громад;
- сумісність технологічного, інформаційного, програмного забезпечення;
- системність моніторингу соціально-економічного розвитку регіону;
- об'єктивність інформації, що використовується у системі;
- оперативність та обґрунтованість рішень органів місцевого самоврядування та державного управління;
- доступність інформації для внутрішніх користувачів системи та населення а також інших зацікавлених сторін із розмежуванням доступу до неї залежно від типу користувачів та їх повноважень у системі.

У **другому розділі** представлені концептуальні та теоретичні засади підтримки прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком як на рівні регіону, так і на рівні громади. Проаналізовані існуючі підходи, запропоновані вітчизняними та закордонними вченими та фахівцями-практиками. На основі системного аналізу проблеми були сформульовані вимоги до інформаційно-аналітичного забезпечення та методології розв'язання задач підтримки прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком.

Сукупність різних вимог, які висувуються до рішень, призводить до багатокритеріальності постановки задачі, оскільки для більшості вимог подання їх у вигляді системи обмежень не може бути визнано ефективним через неповноту вхідних даних для такого подання. Тобто, визначити й вирішити проблему ефективного управління регіональним розвитком можна як завдання багатомодельного та багатокритеріального вибору ефективних рішень на множині математичних моделей, що описують процеси регіонального розвитку. У загальному випадку кожне рішення оцінюється за одним або кількома показниками в рамках однієї або кількох моделей. Для опрацювання невизначеностей різних типів використовується множина методів для їх подолання залежно від типу невизначеності. Соціально-еколого-економічна система регіону розглядається як складна ієрархічна структура з множинними зв'язками.

Складність створення аналітичного інструментарію для підтримки прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком пов'язана з необхідністю урахування значної кількості факторів, зокрема особливостей життєвого циклу соціально-еколого-економічної системи регіону, дослідження її структури, зв'язків, зовнішніх та внутрішніх впливів різного характеру, а також передбаченням проблемних ситуацій, сценаріїв розвитку подій, можливі наслідки, тощо. Потребує вирішення й проблема створення таких сучасних інформаційних технологій, які давали б змогу накопичувати та зберігати значні обсяги різномірних, структурованих та неструктурованих даних, що стосуються різних аспектів регіонального розвитку, забезпечували б швидку їх обробку та захист.

Враховано, що для забезпечення сталого розвитку регіону, важливу роль

відіграє не лише поточний стан його соціально-еколого-економічної системи, а й її майбутня структура, динаміка процесів, взаємодія з системами одного та різних рівнів. Важливо враховувати вплив глобальних та макроекономічних чинників, міжбюджетну взаємодію, державне регулювання економіки та суспільно-політичну ситуацію як в регіонах та громадах, так і в країні, екологічні фактори, загрози національній безпеці та ризики різних типів.

Окремою проблемою є узгодження взаємодії «горизонтальних» та «вертикальних» складових соціально-економічної системи країни та соціуму регіонів. Адже, сільський та міський соціуми регіонів мають суттєві відмінності, неврахування яких під час управління регіональним розвитком може призводити до суспільно-політичного напруження. Не зважаючи на значну кількість досліджень, відсутні адаптовані до реальних проблемних ситуацій математичні моделі, методи прогнозування та інші інструменти, що дозволяють розв'язувати слабо структуровані та важко формалізовані задачі управління розвитком територіальних громад у контексті реалізації задач регіонального розвитку.

Погоджуючись з визначенням у чинному законодавстві та науковцями поняття регіонального розвитку, слід відзначити, що цей процес є нелінійним динамічним, забезпечує перехід системи з нестійкого у стійкий стан під впливом внутрішніх та зовнішніх факторів, які, зокрема, активізуючи механізми самоорганізації, спричиняють синергетичний ефект, що викликає позитивні зрушення та сприяє досягненню бажаного ефекту в економіці, соціальній сфері, екології (1):

$$\frac{dX}{dt} = F(S(t), R(t), I(t), G(t), D(t), I(t+k), E(t), Z(t)) \quad (1)$$

де, $S(t)$ – стан економіки, $R(t)$ – ресурсний потенціал регіону; $I(t)$ – стан інвестиційної діяльності; $D(t)$ – інформаційний потік; $G(t)$ – управляючий вплив, що забезпечує держава; $Z(t)$ – зовнішні фактори, $X(t)$ – очікуваний результат, (t) – час.

Враховуючи, що соціально-економічні системи розвиваються в умовах невизначеностей, модель регіону можна представити як:

$$M = \{M_0(Y, I, P, R), M_E(X), M_{OE}, M_D(Q), M_{MO}, M_{ME}, M_U, A, M_H, M_{RS}\}, \quad (2)$$

де, $M_0(Y, I, P)$ – ідентифікуюча модель системи, Y – ендегенні змінні, I – вектор керованих змінних, P – вектор ресурсів, $M_E(X)$ – модель навколишнього середовища, X – екзогенні змінні, M_{OE} – модель взаємодії системи та навколишнього середовища, $M_D(Q)$ – модель поведінки системи, Q – збурюючі впливи, M_{MO} – модель зміни стану системи, M_{ME} – модель зміни стану навколишнього середовища, M_U – модель керуючої системи, A – правило зміни системи під впливом керуючої системи, R – вектор ієрархії складових системи, M_H – модель впливу особи, що приймає рішення на систему та результати, M_{RS} – модель системних ризиків.

Розглядаючи процес прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком, відзначено, що інформаційне середовище системи є динамічним,

його учасники - різні суб'єкти - органи державного та публічного управління, які мають різне підпорядкування, територіальні громади, бізнес, тощо, мають різні цілі, компетентність, ситуаційну обізнаність. Рішення приймаються децентралізовано, відповідно в межах повноважень рівня управління, відповідно до стратегічних, оперативних та тактичних цілей. Тому, для забезпечення децентралізації та інтероперабельності розроблюваних інформаційних технологій запропоновано використання мережецентричного підходу, який забезпечить узгоджену взаємодію учасників прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком.

Тому, для вирішення задач розроблення інформаційних технологій прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком запропоновано системну методологію, яка вирізається поєднанням рівних методів збору, оброблення, аналізу даних, когнітивного, математичного моделювання, сценарного аналізу, бізнес-аналізу, підтримки прийняття рішень. Загальна (спрощена) схема застосування інформаційних технологій для підтримки прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком (рис.2).

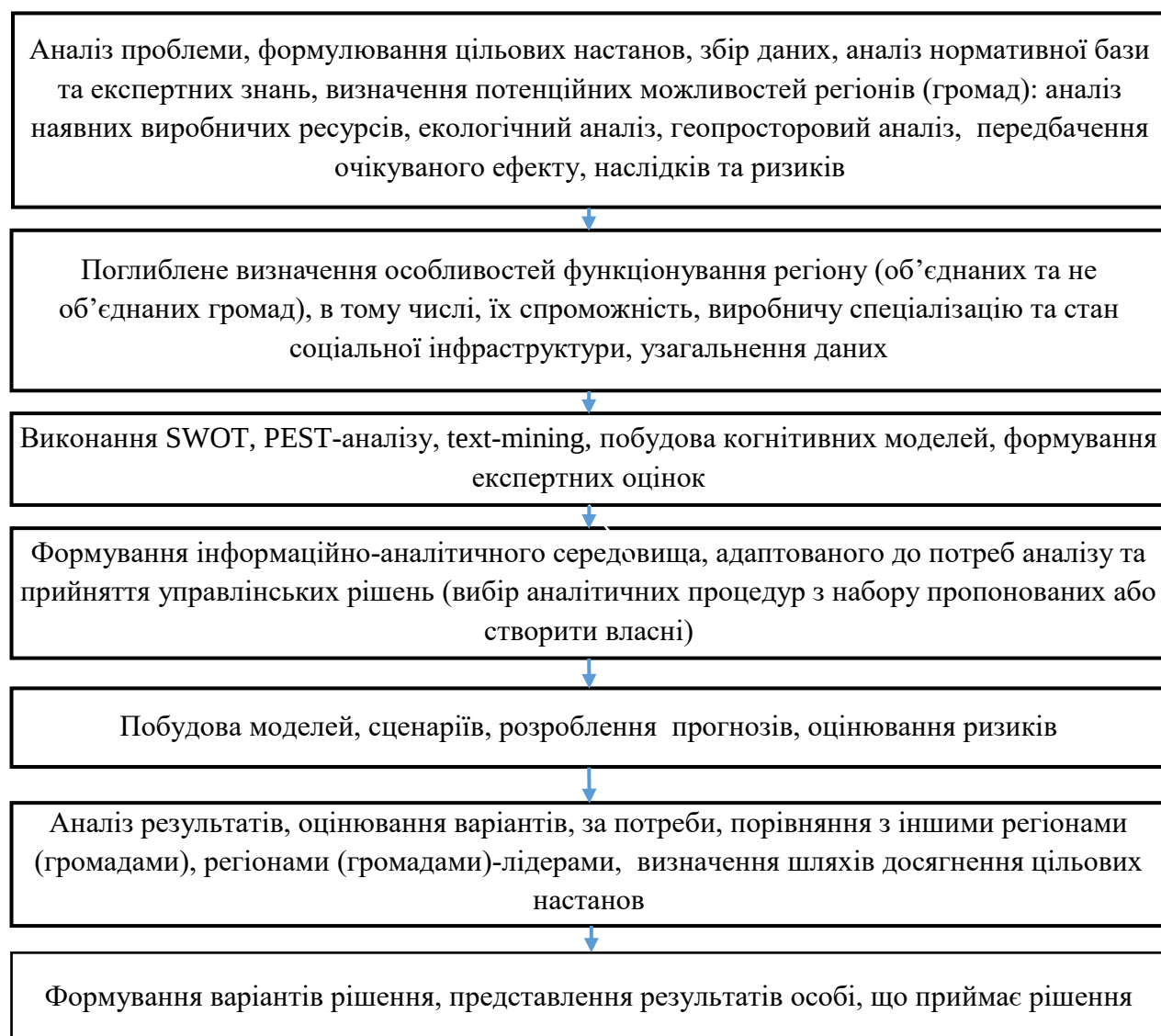


Рисунок 2 - Загальна (спрощена) схема застосування інформаційних технологій для підтримки прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком

Такий підхід дозволить оперативно та якісно опрацювати великі обсяги даних щодо соціально-економічного розвитку регіонів та громад, фінансового забезпечення місцевого самоврядування для моніторингу соціально-економічного розвитку територій, дослідження досвіду різних регіонів та громад, тощо для координації взаємодії «громади-регіони-центр», надання цільової державної підтримки, адаптованої до потреб конкретних громад та регіонів, народження ефективного державно-приватного партнерства, удосконалення планової та аналітичної роботи органів державного управління і місцевого самоврядування.

Коло проблемних питань в сфері прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком не обмежується наведеними. Їх вирішення напряму пов'язане з розробленням та впровадженням інформаційних технологій, спрямованих на розв'язання різних проблемно-орієнтованих завдань розвитку регіонів та територіальних громад на основі макроекономічного, соціально-економічного та соціально-еколого-економічного прогнозування. Існуючий рівень інформаційних технологій в управлінні регіоном і територіальними громадами, як складними ієрархічними просторово-розподіленими системами, не відповідає сучасним реаліям за якістю, надійністю, оперативністю, ступенем урахування різних типів невизначеностей і ризиків, обґрунтованістю стратегії розвитку територій на різні часові перерізи і за різних сценаріїв розвитку подій.

У третьому розділі проаналізовано інформаційно-аналітичне забезпечення процесів, характерних для складних соціально-економічних систем – регіону та громади.

Під час розв'язання задач прийняття рішень в управлінні розвитком соціально-економічних систем проблемним залишається питанням збору та оброблення даних, необхідних для аналізу стану та динаміки досліджуваних систем для подальшого їх використання у відповідних системах підтримки прийняття рішень. Обробка даних, що описують соціально-економічні системи (але, досить часто, важливо враховувати й екологічну складову) як правило, супроводжується невизначеностями різного типу. Зокрема, це невизначеності структурні, статистичні й параметричні, але, враховуючи умови військового конфлікту, все частіше розглядається системна невизначеність. Процес обробки даних та врахування невизначеностей різного типу, ієрархічність організації просторово розподіленої та децентралізованої системи обробки даних, а також необхідність забезпечення функціональної повноти системи підтримки прийняття рішень, вимагають застосування системного підходу, що забезпечує можливість вирішення багатьох задач, використання, аналізу даних під час побудови моделей, оцінювання прогнозів та генерування альтернативних рішень.

Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень управління регіональним розвитком пропонується до використання у складі єдиної інформаційно-аналітичної платформи управління регіональним розвитком, до складу якої мають увійти Національна електронна система управління відбудовою DREAM, геоінформаційна система регіонального розвитку, документообіг має забезпечувати система електронної взаємодії органів

виконавчої влади, забезпечувати електронну взаємодію між державними інформаційними ресурсами, електронними реєстрами, інформаційними системами має система «Трембіта». Формування єдиного інформаційного простору, ставить вимоги до інтероперабельності складових системи та забезпечення оброблення значних обсягів даних, забезпечення їх зберігання та спільного використання на різних рівнях органів державного управління та місцевого самоврядування, надавати доступ до відкритих даних широкому загалу.

Оскільки, значна увага приділяється роботі з даними, то пропонується для розв'язання цієї задачі пропонується застосувати конвергентний підхід до організації збору, оброблення та зберігання даних. Тобто, має бути сформована система, центральною частиною якої є центр оброблення даних, а складовими - система обміну даними між компонентами, хмарні сервіси. Дані для аналізу використовуватимуться не лише з аналітичного сховища (пропонується інтеграція Hadoop та ETL/ELT, хмарні сховища), а й в результаті виконання API-запитів, в тому числі, коли потрібно здійснювати обробку даних у режимі реального часу. Для представлення результатів оброблення даних у формі документів та дашбордів, пропонується використання спеціалізованого програмного забезпечення.

Для обґрунтування цільових установок побудови моделей, сценаріїв, тощо запропоновано використання не лише статистичних даних та даних звітності, а й слабо структурованих великих масивів даних. Для цього запропоновано методику групування неструктурованої інформації, в тому числі розміщеної в мережі Інтернет, використовуючи засоби текстової аналітики. Методика використання засобів текстової аналітики, передбачає послідовну реалізацію набору кроків, які охоплюють як попередню обробку текстової інформації, формування множини правил для аналізу, відбір найбільш значимих критеріїв та цілей, так і візуалізацію одержаних результатів. Використання засобів текстової аналітики у задачах багатокритеріального вибору дає можливість найбільш повно підібрати альтернативи та визначити цільову настанову стосовно подальшого розвитку системи за допомогою запропонованої інформаційної моделі, яка узагальнює знання щодо структурних елементів системи, зв'язків між ними та впливу зовнішнього середовища. Крім того, особливістю підтримки прийняття рішень в управлінні регіонами та громадами є необхідність отримання зворотного зв'язку від населення стосовно ефективності та доцільності реалізації державних та регіональних програм та стратегій, інвестиційних проєктів, тощо.

Наприклад, для розв'язання задачі розширення агропромислового виробництва районів регіону у роботі запропоновано використання когнітивного моделювання (як побудова карт, так і побудова матриць) та ймовірнісного моделювання у процесі формування сценаріїв. Задача підтримки прийняття рішень сформульована наступним чином.

Альтернативами першого рівня $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ є виробництво продукції в окремих районах області. Множина альтернатив першого рівня оцінюється на

множині критеріїв $C=C_1 \cup D$. Альтернативами другого рівня $B=\{b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ik}\}$ є види продукції, обсяги реалізації та обсяги виробництва продукції підприємств агропромислового комплексу. Підмножина критеріїв $C_1 = \{c_1, c_2, \dots, c_p\}$, використовується для оцінки альтернатив виключно першого рівня, а множина критеріїв D – як для першого, так і для другого рівнів. Кожному елементу множини A («району») ставиться у відповідність множина альтернатив другого рівня (обсяги реалізації кожного виду сільськогосподарської продукції за окремим напрямком). Необхідно ранжувати альтернативи множини A враховуючи багатокритеріальні оцінки альтернатив множини B . Складністю даної задачі є те, що на першому рівні для вибору альтернатив використовуються переважно якісні ознаки, а на другому – кількісні. Крім того, враховуючи те, що у процесі відбору альтернатив можуть брати участь як вітчизняні, так і закордонні експерти, їх набір, кількість та характеристики альтернатив можуть суттєво відрізнятися.

Схема реалізації методики та використання засобів текстової аналітики можна представити у вигляді наступної послідовності кроків.

Крок 1. Сформувані цілі та критерії відбору альтернатив, визначивши при цьому рівні аналізу та згрупувати альтернативи за рівнями аналізу.

Крок 2. Сформувані множини альтернатив першого рівня.

Крок 3. Сформувані множини альтернатив другого рівня.

Крок 4. Сформулювати множини оцінок альтернатив другого рівня за найбільш значимими критеріями.

Крок 5. Обрати метод багатокритеріального аналізу. Для даної задачі застосована багатокритеріальна функція корисності альтернатив:

Крок 6. Побудувати однокритеріальні функції для оцінки корисності альтернатив, що відповідають критеріям для оцінки альтернатив першого та другого рівнів. При побудові функцій враховано ризики для кожної оцінки корисності.

Крок 7. Виконати оцінку шкалюючих коефіцієнтів

Крок 8. Виконати оцінку альтернатив другого рівня за допомогою функції корисності.

Крок 9. Сформувані множини з найкращих альтернатив другого рівня, відповідно до множини варіантів переваг особи, що приймає рішення

Крок 10. Оцінити альтернативи першого рівня за множиною критеріїв, сформованої виключно для першого рівня. За критеріями корисності та цінності для оцінки альтернатив першого і другого рівнів, на основі множини альтернатив, сформованої на кроці 9, відібрати набори альтернатив другого рівня.

Крок 11. Виконати попарні порівняння критеріїв із множини, сформованої на кроці 10.

Крок 12. Виконати порівняння альтернатив першого рівня за критеріями, представленими у множині оцінки критеріїв для першого та другого рівнів та виконати переведення оцінок корисності в оцінки відносної важливості.

Крок 13. Виконати парні порівняння альтернатив першого рівня за критеріями множини оцінки альтернатив виключно першого рівня.

Крок 14. Виконати багатокритеріальну оцінку альтернатив першого рівня.

Крок 15. Вибрати найкращу альтернативу першого рівня на основі аналізу відносної стійкості розв'язів наборів кращих альтернатив, вибраних на кроці 10.

Особливістю методики є те, що на кроках 1-4 при відборі альтернатив опрацьовано переважно текстової інформації – використано засоби текстової аналітики. В ході дослідження (етапи 1-4) дані для відбору альтернатив першого та другого рівнів видобувались ще й з веб-простору, використовуючи спеціалізоване програмне забезпечення, для визначення емоційного забарвлення текстової інформації, запропоновано побудувати множини правил для відбору позитивних та негативних вподобань для кожної частини мови.

Для різних невизначеностей різного типу і адекватного опису причинно-наслідкових зв'язків та можливих варіантів регіонального розвитку під впливом внутрішніх та зовнішніх чинників розроблено методику збору та попередньої обробки структурованих та неструктурованих даних, отриманих з різних джерел у якій застосовані різні підходи заповнення пропусків, використання коротких часових рядів, що забезпечує підвищення якості проміжних і остаточних результатів обробки даних, побудови математичних моделей і оцінювання прогнозів.

У четвертому розділі розглянуті існуючі та запропоновані нові методи прогнозування регіонального розвитку. В ході виконання дослідження запропоновано нові та удосконалено існуючі методи прогнозування, застосовувані у системах підтримки прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком. Реформа децентралізації змінила концептуальні підходи до управління регіональним розвитком – територіальні громади отримали нові можливості та повноваження, а значна їх кількість об'єднались, утворивши нові громади – кардинально змінилась структура регіональної системи. Методичні підходи до розроблення стратегій, планів, програм регіонального розвитку, основою яких є виключно ретроспективні дані, за таких умов не забезпечують високу якість прогнозів. Потребує удосконалення як організаційна складова аналітичної роботи, так і методичні підходи до побудови прогнозів. Для удосконалення організації аналітичної роботи в громадах та на рівні регіону пропонується створення єдиного інформаційне середовище, яке має інтероперабельну мережецентричну архітектуру, комплекс інтелектуальних технологій опрацювання даних, що дозволяє забезпечити узгодженість взаємодії «громада-регіон», забезпечить зворотній зв'язок у системі управління регіональним розвитком, що дозволить підвищити обґрунтованість управлінських рішень. Для удосконалення методичних підходів до прогнозування регіонального розвитку запропоновано єдину формалізовану методологію прогнозування, яка охоплює повний цикл: від збору та інтеграції різномірних структурованих і неструктурованих даних до формування проекта рішення та базується на системному підході з використанням багатомодельного і багатокритеріального аналізу (рис. 3). Основу запропонованої інформаційної технології становлять сучасні засоби збору та оброблення даних, методи інтелектуального аналізу даних, математичні моделі, штучний інтелект, методи підтримки прийняття рішень.

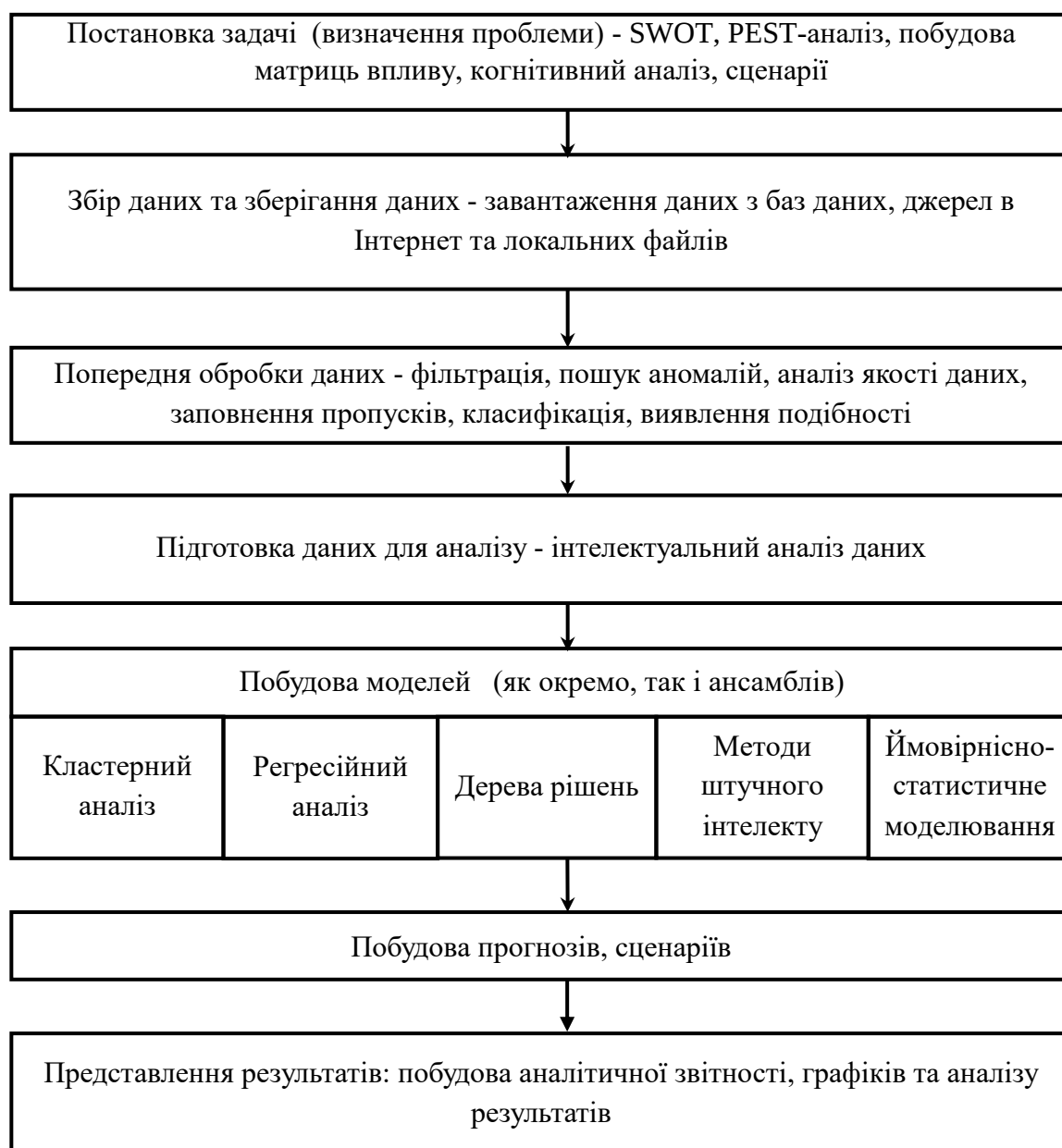


Рисунок 3 – Узагальнена схема побудови прогнозів

Для підвищення якості аналізу стану досліджуваної системи у процесі розроблення стратегій, програм, проєктів, тощо на рівні регіону та громади запропоновано використовувати систему збору та аналізу даних, яка включає використання SWOT, PEST, побудову матриць впливу, когнітивний та сценарний аналіз, а у для підготовки даних для побудови моделей – методи заповнення пропусків, інших методи аналізу структурованих та неструктурованих даних, отриманих з різних джерел, в тому числі й даних з мережі Інтернет. Передбачено, що для розв’язання окремих задач управління регіональним розвитком можуть бути використані сценарії, які містять встановлені обмеження щодо значень індикаторів чи показників соціально-економічного розвитку, тоді, методика прогнозування буде використана таким чином, що сценарій буде завантажений з бази знань або завантажений користувачем.

Пропонований підхід передбачає ієрархічний аналіз процесів

моделювання та прогнозування, урахування невизначеностей структурного, параметричного та статистичного характеру, адаптування структури і параметрів моделей до змін у процесах та застосування альтернативних методів оцінювання параметрів моделей з метою пошуку кращих оцінок прогнозів за допомогою множини числових критеріїв їх якості. Значна увага приділена питанню прогнозування динаміки розвитку процесів. Прогнозування стосується таких складових процесу: детермінованого тренду як показника довгострокових змін соціально-економічного 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 (волатильності як міри розсіювання); прогнозування якісних змінних за допомогою нечітких множин, мереж Байєса; оцінювання комбінацій оцінок прогнозів, що обчислюються на множині індивідуальних оцінок, отриманих за допомогою вибраних методів моделювання і прогнозування досліджуваних процесів.

Для підвищення якості прогнозів, удосконалено метод адаптивного прогнозування процесів довільної природи для розв'язання задач прийняття рішень стосовно управління регіональним розвитком за рахунок використання у якості вхідних даних характеристики досліджуваних процесів, представлені у вигляді текстових повідомлень у мережі Інтернет.

Для оцінювання якості прогнозів, обчислених за побудованими моделями, запропоновано процедуру автоматизованого вибору кращої прогнозної моделі, у якій для вибору було використано інтегральний критерій якості, який включає 2-5 окремих статистичних критеріїв якості. Процедура автоматизації забезпечує можливість побудови, аналізу та вибору кращої із множини можливих моделей.

У роботі запропоновано підхід до побудови ансамблів математичних моделей регіонального розвитку, який на відміну від наявних має модифіковану комплексну структуру, збільшує адекватність та точність прогнозування сценаріїв зміни соціально-еколого-економічних систем, що дає змогу формувати надійні прогнози.

Пропонована методика вирізняється адаптивністю, масштабованістю, урахуванням невизначеностей різних типів та можливістю дослідження економічних, екологічних, соціальних чинників, що впливають на розвиток громад та регіонів, та особливостей управлінських та інформаційних зв'язків на різних рівнях управління системи «держава-регіон-громада», як в умовах війни, так і у період повоєнного відновлення.

У п'ятому розділі представлено методологію побудови інформаційних технологій для підтримки прийняття рішень у системі управління регіональним розвитком. Виходячи з особливостей соціально-економічної систем регіонального рівня та наявної організації структури управління регіонами та громадами, просторового розташування складових, розроблювані інформаційні технології поєднано у інформаційно-керуючій системі, побудованій за мережецентричним принципом, взаємодія об'єктів та процесів управління якої відбувається у єдиному інформаційному просторі.

Мережецентричне середовище (єдиний інформаційний простір)

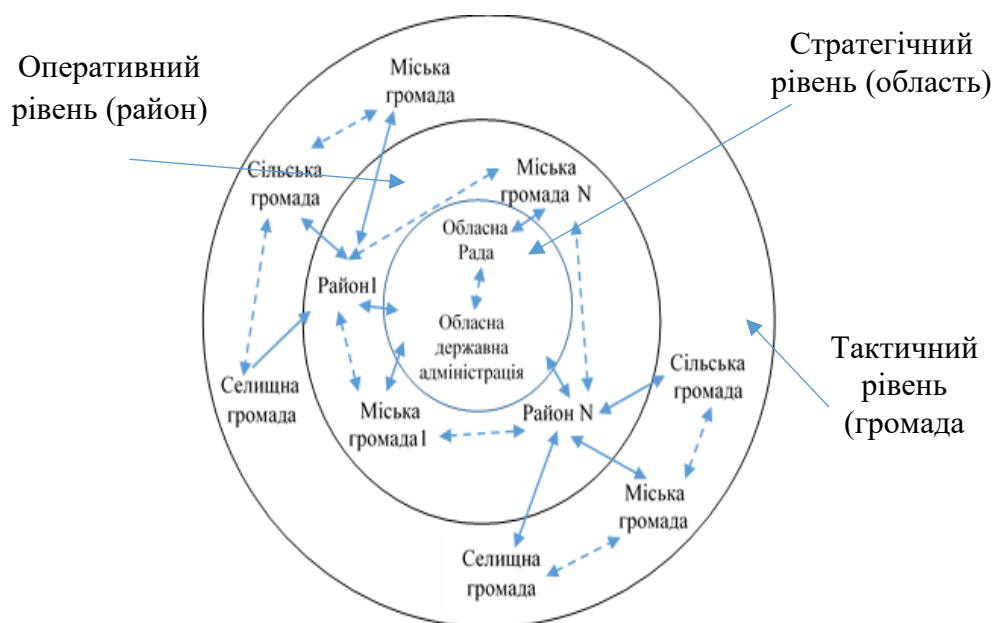


Рисунок 4 – Схема взаємодії об'єктів у системі управління регіональним розвитком

За рахунок використання єдиного інформаційного простору, зокрема, бази даних та базу знань, у системі забезпечується загальна ситуаційна обізнаність для всіх рівнів управління регіональним розвитком. Архітектура системи є багаторівневою із вертикальними та горизонтальними зв'язками – являє собою масштабований адаптивний мережевий гіперграф великої розмірності, що дозволяє зв'язати різноманітні компоненти існуючої системи практично «безшовно». Схема застосування інформаційних технологій прогнозування регіонального розвитку представлена на рис. 5.

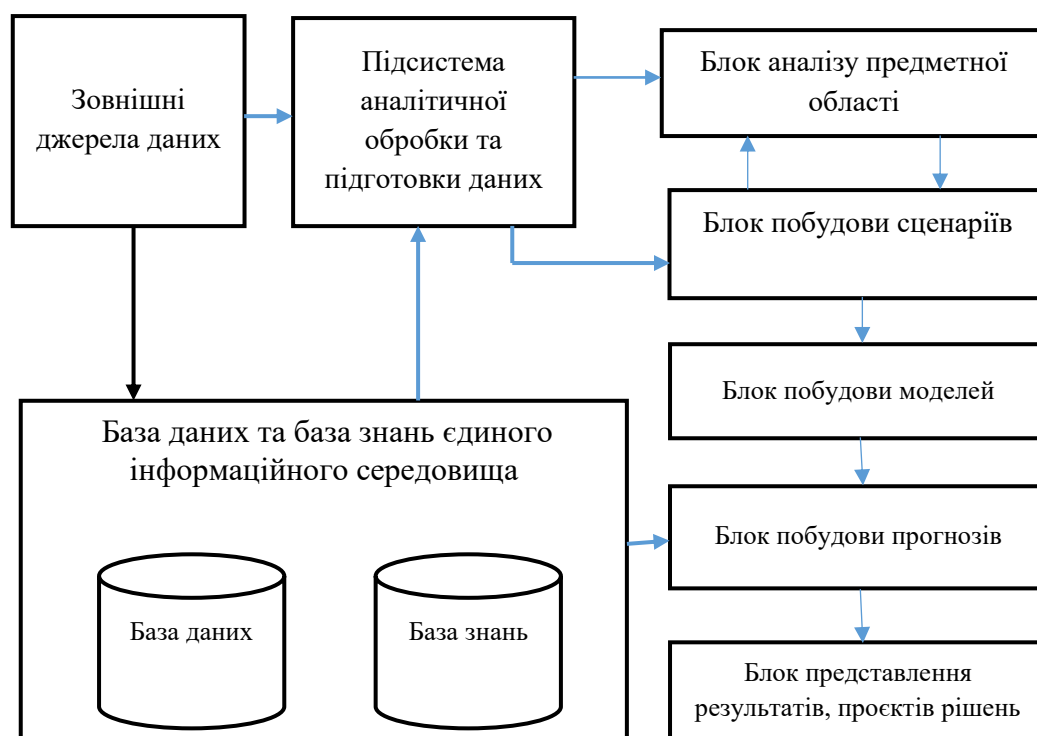


Рисунок 5 – Загальна схема застосування інформаційних технологій прогнозування регіонального розвитку

Розроблені інформаційні технології пропонується використовувати у складі єдиної інформаційно-аналітичної платформи управління регіональним розвитком, яка забезпечує функціонування єдиного інформаційного простору, інтероперабельність складових системи, зокрема, оброблення значних обсягів даних, забезпечення їх захисту, зберігання та спільного використання на різних рівнях органів державного управління та місцевого самоврядування, надання доступу до відкритих даних широкому загалу.

Забезпечується надійна взаємодія з Національною електронною системою управління відбудовою DREAM, геоінформаційною системою регіонального розвитку, системою електронної взаємодії органів виконавчої влади, державними інформаційними ресурсами, електронними реєстрами (використовуючи систему «Трембіта»). Для реалізації поставлених задач, запропоновано використовувати єдину апаратно-програмну платформу. Запропоновані інформаційні технології та архітектура системи підтримки прийняття рішень є гнучкими, що є важливим фактором для модифікації розроблених методів і методик аналізу даних, а також продовження виконання досліджень в даній області.

В системі реалізовано потокову обробку даних, що забезпечує безперервність збору та аналізу інформації - дозволяє оперативно реагувати на події в реальному часі. Основними складовими запропонованої технології потокової обробки є брокер повідомлень, який організовує надійну доставку даних у режимі реального часу від сенсорів, реєстрів державних систем (DREAM, «Трембіта»), а також з відкритих джерел в Інтернет, що створює єдиний транспортний шар для подій у системі «громада – район – область». Неперервна обробка даних: агрегація, трансформація та очищення потоків даних, дає можливість вже на попередніх етапах оброблення інформації використовувати алгоритми машинного навчання для виявлення трендів або аномалій. Інтеграція стрімінгової аналітики у системи підтримки прийняття рішень забезпечує зниження латентності процесів управління, оскільки результати аналізу стають доступними практично одразу після надходження даних. Це створює можливість формування актуальних дашбордів для управлінців різних рівнів, що підвищує прозорість та оперативність управлінських дій.

Наприклад, для використання у аналітичні роботи даних з інтегрованою інформаційно-аналітичною системою «Прозорий бюджет» запропоновано підсистему аналізу місцевих бюджетів, яка дозволяє не тільки оцінювати спроможність громади, а й порівняти з іншими громадами такого ж типу або дослідити досвід кращих громад. Для виконання аналітичних та прогнозних функцій модуля використано байєсівський підхід до аналізу даних, умовні багатовимірні розподіли, регресійні моделі, моделі стохастичної волатильності.

Система включає в себе клієнтську частину, доступну для користувачів, яка дозволяє визначати набір даних та встановлювати кінцеві цілі через інтерфейс користувача (UI), реалізований за допомогою бібліотеки ReactJS та мови програмування Python. Взаємодія між клієнтською та серверною частиною системи здійснюється через API за допомогою HTTP-запитів.

Користувачі взаємодіють з клієнтською частиною, використовуючи веб-інтерфейс, де вони можуть вибирати параметри, налаштування та ініціювати запити. Ці запити передаються серверній частині системи через API. Серверна частина обробляє ці запити, взаємодіє з базою даних PostgreSQL для отримання необхідної інформації, проводить аналіз даних та генерує відповіді для клієнтів.

API визначає структуру та формат запитів і відповідей, що дозволяє коректно обмінюватися інформацією між клієнтом і сервером. Цей механізм взаємодії через HTTP-запити дозволяє користувачам отримувати результати аналізу даних та зберігати інтермедіатні значення в системі. У результаті цієї взаємодії користувачі можуть виконувати різноманітні завдання та отримувати необхідну інформацію з системи через API-запити.

Крім того, завдяки поєднанню сценарного аналізу з методами прогнозування на основі LSTM, байєсівських моделей чи когнітивних підходів, система здатна швидко реагувати на кризові ситуації та адаптуватися до умов невизначеності.

Враховуючи особливості системи управління регіональним розвитком, те, що її ключовою частиною є саме робота з даними, до організації збору, оброблення та зберігання даних конвергентний підхід. На рівні регіону має бути сформована система, центральною частиною якої є центр оброблення даних, а складовими - система обміну даними між компонентами, хмарні сервіси. Дані для аналізу використовуватимуться не лише з аналітичного сховища (зокрема, інтеграція Hadoop та ETL/ELT, хмарні сховища), а й в результаті виконання API-запитів, в тому числі, коли потрібно здійснювати обробку даних у режимі реального часу.

Наприклад, на етапі збору даних інформація надходить від сенсорів екологічного моніторингу (якість повітря, рівень забруднення води, шумове навантаження), статистичних реєстрів (зайнятість населення, рівень доходів, демографічні показники) та відкритих онлайн-джерел (соціальні мережі, відгуки громадян, новини). Усі ці дані в режимі реального часу передаються у брокер повідомлень, що забезпечує їх централізовану та надійну доставку. Подальша потокова обробка здійснюється у модулі стрімінгової обробки, де дані проходять очищення, агрегуються на рівні громад та районів і аналізуються з використанням часових моделей. Алгоритми глибинного навчання, зокрема LSTM, формують прогнози щодо можливих змін соціально-економічних показників (наприклад, зростання рівня безробіття чи міграційних потоків) та соціально-екологічних ризиків (наприклад, погіршення стану довкілля у зв'язку з інтенсивним промисловим навантаженням).

На етапі аналітичної обробки, результати інтегруються у аналітичному модулі системи, де виконується сценарний аналіз, пропонуються варіанти рішень, що ефективно у процесі реагування на кризові ситуації (табл. 1).

Таблиця 1 - Схема формування рекомендацій у процесі прийняття рішень у кризовій ситуації

Етап	Зміст / Методи
Початок	Старт процесу прийняття рішень
Вхідні дані	Структуровані: статистика, державні реєстри Неструктуровані: звітність, тексти, веб, соціальні мережі Стрімінгові сервіси: Kafka, Spark Streaming, Flink
База знань та даних	Центр обробки даних: Hadoop, хмарні сервіси (AWS, GCP, Azure), API Інтеграція реєстрів: DREAM, Трембіта Аналітичні сховища: ETL/ELT, Data Lake
Попередня обробка	Заповнення пропусків: KNN imputation, EM-алгоритми Очищення, нормалізація - Часові ряди: ARIMA, Prophet, LSTM - Текстова аналітика: TF-IDF, Word2Vec, BERT, LDA - Кластеризація: k-means, DBSCAN, ієрархічна - Когнітивне моделювання: когнітивні карти
Генерація кандидатів-сценаріїв	Ансамблі моделей: регресійні, байєсівські мережі, імовірнісні моделі (HMM, Monte Carlo), LSTM/GRU, GNN - Формування альтернатив розвитку (оптимістичний, базовий, песимістичний сценарії)
Оцінка та ранжування	Методи багатокритеріального аналізу: AHP, TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE - Критерії: економічні, соціальні, екологічні, інфраструктурні - Оптимізація: генетичні алгоритми, swarm intelligence (PSO), simulated annealing - Функції корисності
Перевірка відповідності вимогам	Адаптивність - Стійкість до ризиків (stress-testing, what-if) - Узгодженість зі стратегіями розвитку
Переоцінка (зміна рейтингу)	Моделювання ризиків: Bayesian risk models, нечіткі множини, VaR - Адаптація: reinforcement learning (Q-learning, DQN) - Автоматизоване реагування (II)
Формування готових рекомендацій	Варіанти сценаріїв для громад, регіонів, держави. Візуалізація: Power BI, Tableau, Grafana. Документи, аналітичні звіти. Зворотний зв'язок: опитування, чат-боти, електронні сервіси
Кінець	Вибір оптимального рішення з множини варіантів (з урахуванням даних та експертних оцінок)

Перевагою такого підходу те, що він може бути використаний як для стратегічних прогнозів, так і для швидкого прийняття рішень у випадку загроз чи криз. Результати подаються у вигляді дашбордів, що відображають прогнозовані показники розвитку соціально-еколого-економічних процесів, а також потенційні ризики для громади чи регіону.

У шостому розділі представлено використання інформаційної технології підтримки прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком

Приклад 1. Впровадження світової практики прогнозного моделювання енергоринку на середньо- та довгострокову перспективу потребує адаптації до

національних умов. Тому, враховуючи, що процеси в енергетичній галузі є нелінійними, характеризуються нестаціонарністю, для прогнозування енергетичною складової запропоновано такі інструменти аналізу, як аналіз часових рядів, математичного моделювання, графічний аналіз.

На першому етапі, використовуючи графічний та статистичний аналіз досліджено наявність типових патернів та відмінностей поведінки системи за різних умов. Було з'ясовано, що найменше навантаження на енергосистему - у 4-5 годинах ночі, а найбільше з 11 до 20 години (рис. 6).

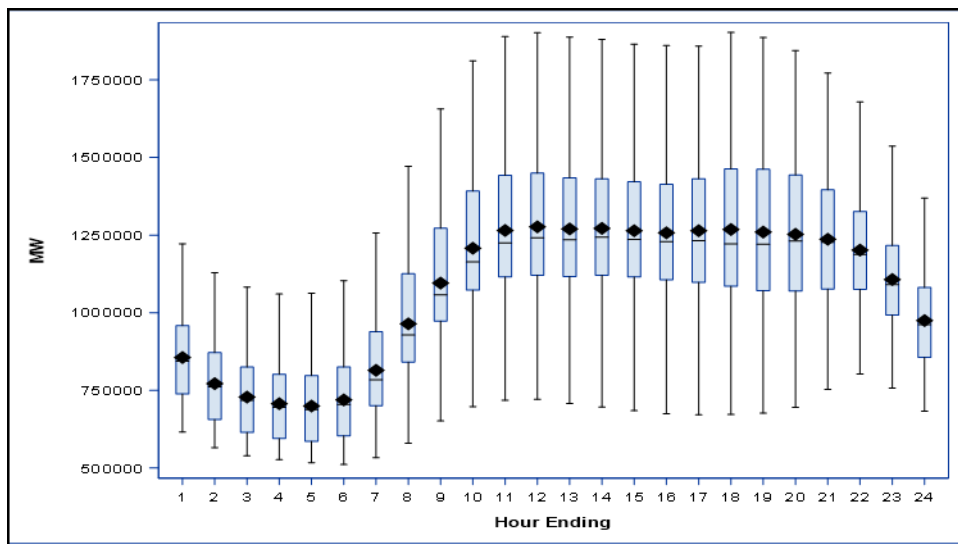


Рисунок 6 – Вох-графік погодинного навантаження енергосистеми (ось абсцис – години доби, ось ординат – навантаження енергосистеми, МВт)

Для підвищення якості прогнозу у відповідних математичних моделях для прогнозування навантаження енергосистеми враховано цикли: годинні, добові, місячні та річні, а також, зміни енергоспоживання населенням та бізнесом у передсвяткові, святкові та післясвяткові дні, час доби, температуру навколишнього середовища, географічне розташування споживачів.

Важливим питанням є й прогнозування пікового навантаження, адже за відповідної цінової політики, можна мотивувати споживачів скорочувати споживання електроенергії у пікові години або, вчасно реагувати на загрози енергосистемі. У даному прикладі розглянуто часові ряди навантаження енергосистеми, побудовано є авторегресійні моделі.

Модель дванадцятого порядку для випадку прогнозування місячних даних в енергетиці має наступний вигляд:

$$y(t) = 602546044 - 0,0219 \cdot y(t-1) - 0,0257 \cdot y(t-2) - 0,0548 \cdot y(t-3) - 0,1528 \cdot y(t-4) - \\ - 0,0029 \cdot y(t-5) - 0,0886 \cdot y(t-6) - 0,0184 \cdot y(t-7) - 0,1687 \cdot y(t-8) - 0,0642 \cdot y(t-9) + \\ + 0,0013 \cdot y(t-10) + 0,0827 \cdot y(t-11) + 0,7646 \cdot y(t-12)$$

де $y(t)$ - навантаження енергосистеми за місяць.

Моделі класу експоненційного згладжування також широко використовуються для моделювання часових рядів, а для випадку наявності

тренду та сезонності опрацьовані їх відповідні модифікації. Загальний вигляд моделі (4):

$$\hat{y}(t+h) = (a(t) + h \cdot b(t)) \cdot s(t-p+1 + (h-1) \bmod(p)) \quad (4)$$

де $\hat{y}(t+h)$ – прогноз на період h вперед, p – довжина періоду сезонності, $\bmod$ – функція визначення залишку від ділення, $a(t)$ ($a(t) = \alpha \cdot \left(\frac{y(t)}{s(t-p)}\right) + (1-\alpha) \cdot (a(t-1) + b(t-1))$) – рівняння, що описує згладжений тренд, рівняння $b(t)$ ($b(t) = \beta \cdot (a(t) - a(t-1)) + (1-\beta) \cdot b(t-1)$), що використовується для оцінювання тренду, $s(t)$ - ($s(t) = \gamma \cdot \left(\frac{y(t)}{a(t)}\right) + (1-\gamma) \cdot s(t-p)$) рівняння для оцінювання сезонності.

Модель для прогнозування щоквартального навантаження енергосистеми має вигляд:

$$y(t) = 1\,861\,428\,237 + 0,03931 \cdot y(t-1) - 0,4818 \cdot y(t-2) + 0,0833 \cdot y(t-3) + 0,5842 \cdot y(t-4)$$

де $y(t)$ – навантаження енергосистеми за квартал.

Серед методів класу експоненційного згладжування найкращі результати прогнозування отримані за моделлю Вінтерса з мультиплікативною сезонною складовою. В таблиці 2 наведені параметри згладжування для моделі Вінтерса з мультиплікативною сезонністю.

Таблиця 2 - Значення параметрів згладжування для моделі Вінтерса з мультиплікативною сезонністю

Параметр	Оцінка	Стандартна похибка	Статистика Стюдента	<i>p-value</i>
α	0,4294	0,1272	3,3767	0,0019
β	0,0983	0,0327	3,0077	0,0050
γ	0,1298	0,0262	4,9467	0,0000

В таблиці 3 представлені отримані значення оцінок коефіцієнтів рівняння з відповідними статистичними характеристиками.

Таблиця 3 - Порівняння статистичних характеристик авторегресійної моделі AP(12) та моделі Вінтерса

Назва показника	AP(12)	AP(4)	Модель Вінтерса з мультиплікативною сезонністю
Коефіцієнт детермінації (R^2)	0,95	0,98	0,83
Середньоквадратична похибка (RMSE, млн МВт)	24,866	39,504	24,873
Середня абсолютна процентна похибка (MAPE)	2,64%	6,9 %	2,6%

Отже, при середньостроковому прогнозуванні, на місячних відрізках часових рядів кращі результати одержано за моделлю авторегресії дванадцятого порядку та моделлю Вінтерса з мультиплікативною сезонністю, для яких значення статистики $MARE$ становить 2,64% та 2,6% відповідно. Менш точні результати було отримано при короткостроковому прогнозуванні на квартальних даних, похибка авторегресії четвертого порядку сягнула значення статистики $MARE$ в 6,9%. Аналіз даних в добовому та місячному розрізах «температура-навантаження» засвідчив залежність у вигляді оберненої фази в залежності від доби року, тому, значення температури повітря необхідно враховувати в моделі у вигляді поліному третього порядку разом із спеціалізованими комбінованими змінними на основі температури та місяця, температури та години доби, температури та дня тижня. Більш детальний аналіз результатів показав, що загалом 93% попереднього значення навантаження враховується в наступному, при цьому присутній тренд в часових даних, а підмішування в модель регресорів що описують свята підвищує точність прогнозування за критерієм $MARE$ на 0,04%.

Приклад 2. Для більшості регіонів України, аграрна галузь є провідною ланкою їх економіки, тому питання прогнозування урожайності польових сільськогосподарських культур у певній агрокліматичній зоні за комбінованого впливу біологічних, екологічних, економічних та антропогенних складових є актуальним, має практичне значення як з точки зору навантаження місцевого бюджету, та і забезпечення продовольчої безпеки. Враховуючи результати проведених досліджень, слід відзначити, що найкращі результати можна одержати опрацьовуючи набори даних урожайності польових культур значної кількості господарств певної агрокліматичної зони та застосовуючи композиції різних методів прогнозного моделювання, уточнюючи при цьому побудовані моделі відповідно до реалій протікання процесу, що досліджується. Тобто у системі підтримки прийняття рішень сільськогосподарського призначення для прогнозування потенціалу урожаю необхідно застосовувати методику адаптивного моделювання із попередньою підготовкою даних.

Застосування такої методики значно розширює можливості систем підтримки прийняття рішень сільськогосподарського призначення за рахунок реалізації широкого спектру моделей, серед яких такі: лінійні та нелінійні регресійні моделі (зокрема, $AR(p)$, $ARКС(p,q)$, $НАРКС$, $АРУГ$, $УАРУГ$, $Е-УАРУГ$); поліноміальні, експоненціальні та інші види трендів; логістична регресія; динамічні і статистичні байєсівські мережі, дерева рішень та деякі інші. Попередня підготовка даних до побудови математичної або статистичної моделі включає у себе такі обчислювальні операції: нормування у вибраному діапазоні, заповнення пропусків з використанням альтернативних методів, цифрову та оптимальну фільтрацію, розмноження вибірки, тестування на стаціонарність, наявність коінтегрованості і т. ін. Для аналізу якості даних використовується множина статистичних критеріїв якості, які необхідні для перевірки інформативності вибірки, наявності екстремальних значень, оцінювання рівня шумових компонент та визначення кількості пропусків. Отримані результати стосовно якості даних використовуються для покращення їх характеристик.

Наступний етап після встановлення класу процесу (лінійний стаціонарний або нелінійний нестационарний) стосується оцінювання структури і параметрів моделі у вибраному класі. Структури моделей-кандидатів (порядок та розмірність моделі, наявність нелінійності, оцінка лагу, тип розподілу збурення та його параметри) оцінюються на основі аналізу статистичних характеристик процесу, законів та закономірностей його протікання, а також накопичених знань стосовно аналізу процесів конкретного класу. Після оцінювання структури оцінюються параметри моделей-кандидатів. Лінійні та псевдолінійні моделі оцінюються за звичайним методом найменших квадратів (МНК), а моделі, нелінійні стосовно параметрів, оцінюються за нелінійним МНК, методом максимальної правдоподібності (ММП), коли це можливо, або за методом Монте-Карло для марковських ланцюгів (МКМЛ). Останній метод – універсальний для різних типів розподілів даних і типів нелінійності. Прикладом запропонованої реалізації даного адаптивного системного підходу є дослідження можливості отримання приросту урожайності озимої пшениці залежно від агрометеорологічних умов. Вхідними даними є показники урожайності озимої пшениці в зоні північного Лісостепу України та метеорологічні показники Київської метеостанції. Попередньо вхідні дані перевірені на наявність шумів, пропусків, екстремальних значень, тощо. Враховуючи особливості процесу, що досліджується, зокрема наявність значної кількості факторів, що впливають на зміну урожайності польової культури, для прогнозування урожайності було побудовано ряд моделей, що відрізняються за статистичними критеріями. В якості середовища моделювання використано SAS Enterprise Miner. Зокрема, для визначення взаємовпливу факторів, виконано двофакторний дисперсійний аналіз з перетином змінних, в результаті якого виявлено, що для підвищення якості прогнозування при побудові моделі крім попередника та обсягу внесених добрив слід враховувати температуру та кількість опадів у окремі періоди вегетації рослин. Оскільки сприятливі значення агрокліматичних факторів і тривалість фаз розвитку рослин відомі за багаторічними спостереженнями, а сівозміна передбачена агротехнологією вирощування культури, то для прогнозування урожайності озимої пшениці побудовані відповідні регресійні моделі. Статистичні характеристики побудованих регресійних моделей подані у табл. 4.

Таблиця 4 - Статистичні характеристики регресійних моделей, побудованих для прогнозування урожайності озимої пшениці

Фактори моделі множинної регресії	RMSE	MAPE	DW
Тільки добрива	1,19	24,78	2,25
Тільки культура попередник	1,24	26,13	2,07
Добрива та культура попередник	1,17	24,59	2,31
Добрива, культура-попередник, добрива-культура-попередник-ріст-регулятор	1,12	24,59	2,32
Тільки температура	0,93	20,58	1,41
Тільки опади	1,05	19,43	1,48
Тільки температура та опади	0,69	13,62	1,17
Добрива, культура попередник, температура та опади	0,52	10,01	1,92

Для коректного включення в модель регресорів температура та опади запропонована методика перетворення регресорів, що реалізується за кілька кроків.

Крок 1. Обчислюються середні значення температури та опадів у відповідні місяці вегетації.

Крок 2. На основі отриманих середніх значень обчислюються відхилення реального значення температури: $\Delta T_i = T_i - \underline{T}$, де ΔT_i – відхилення температури T_i у i -му місяці від значення математичного сподівання $\underline{T}$, що обчислене на основі даних з 1988 по 2020 роки. та опадів $\Delta P_i = P_i - \underline{P}$, де ΔP_i – відхилення кількості опадів P_i у i -му місяці від значення математичного сподівання $\underline{P}$, що обчислене на основі даних з 1988 по 2020 рр. у відповідному році для вказаної агрокліматичної зони.

Вибір регресорів відбувався в автоматичному режимі за методом Stepwise з пороговими значеннями, рівними 0,15 входу та збереження регресора у моделі. В табл. 5 подані значення оцінок параметрів лінійної регресії, що увійшли в модель.

Таблиця 5 - Значення оцінок окремих параметрів лінійної регресії, що увійшли в модель

Змінна регресор / Параметр	DF	Оцінка	Standard Error	WaldChi-Square	Pr > ChiSq
Вільний член	1	3,3880	0,0761	1984,26	<,0001
T ₁₀	1	-0,6320	0,0482	171,78	<,0001
T ₁₂	1	0,3202	0,0149	458,70	<,0001
T ₂	1	0,2075	0,0198	109,26	<,0001
T ₃	1	-0,2754	0,0222	153,38	<,0001
P ₉	1	0,0099	0,0008	139,49	<,0001
P ₃	1	-0,0219	0,0018	145,19	<,0001
Добриво N60P40K40	1	0,9216	0,0909	102,77	<,0001
Гній (30 т/га)	1	0,9914	0,0909	118,94	<,0001
Добриво (гній 30т/га+N60P40K40)	1	1,1130	0,0909	149,89	<,0001
Добриво = N120P80K80	1	1,0637	0,0909	136,92	<,0001
Добриво = контрольна	0	0,0000	0,0000	.	.
Культура-попередник горох	1	0,4456	0,0704	40,04	<,0001
Культура-попередник багаторічні трави	1	0,2983	0,0704	17,95	<,0001

Виходячи з отриманих в ході побудови моделей результатів, слід відзначити, що досягти показника потенційної урожайності сорту для озимої пшениці можна за різних сценаріїв використання добрив, попередників, метеорологічних факторів. Наприклад, як показали розрахунки: використання добрива N60P40K40 збільшує урожайність культури на 0,9216 ніж в контрольному випадку без добрива, добрива N120P80K80 – на 1,0637 ніж в контрольному випадку, попередник горох, сприяє підвищенню урожайності на 0,4456, на відміну від попередника кукурудза на силос, збільшення температури в жовтні на 1 градус від середнього значення 8,53 зменшує продуктивність на

0,632, збільшення опадів у вересні на 1 одиницю від середнього значення 62,82 збільшує продуктивність на 0,0099, тощо.

Тому з метою оцінювання ймовірності можливості зростання урожайності озимої пшениці під впливом різних комбінацій культур у сівозміні та метеорологічних факторів, використано ймовірнісне моделювання. Переваги байєсівського підходу полягають у тому, що апріорні ймовірності можна уточнювати відповідно до змін у протіканні процесу, що досліджується. Це надає можливість уточнювати ймовірності подій при надходженні додаткової інформації і створювати системи адаптивного моделювання. При побудові структури мережі Байєса опрацьовано таку множину станів: стан L2 (якщо значення відхилення менше або рівне значення одного стандартного відхилення); стан L1 (якщо значення відхилення більше одного стандартного відхилення та менше нуля); стан AV (якщо значення відхилення близько до нуля); стан H1 (якщо значення відхилення більше нуля та при цьому менше значення одного стандартного відхилення); стан H2 (якщо значення відхилення більше або дорівнює значенню одного стандартного відхилення).

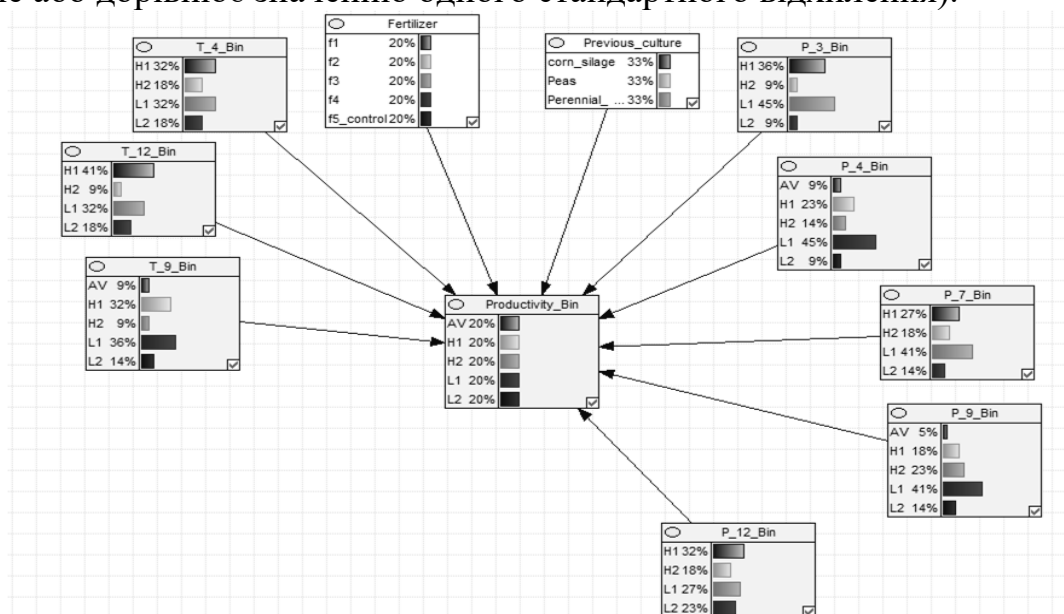


Рисунок 7 – Структура мережі Байєса для прогнозування зміни урожайності озимої пшениці

Сценарій 1. Для забезпечення максимальної урожайності вершини мережі Байєса повинні мати такі значення. Температура у квітні (значення H1) повинна бути вищою середньої (більше 9,5 градусів та менше 11,1, у вересні (значення H1) – вище середньої (тобто 14,3 градусів та менше 15,9, у грудні (значення L1) – нижче середнього (тобто більше -5,4 градусів та менше -2,6 тому, що $\text{MX} = -2,5$, $\text{STD} = 2,8$); опади у березні (значення L1) повинні бути нижче середнього значення (тобто більше 13 мм та менше 33мм, у квітні (значення L1) – нижче середнього (тобто більше 13 мм та менше 39 мм; тому, що $\text{MX}=40$, $\text{STD}=26$), у липні (значення L1) – нижче середнього (більше 35 та менше 70 мм; тому що $\text{MX}=71$, $\text{STD}=36$); у вересні (значення L1) – нижче середнього (тобто більше 17 та менше 62; тому що $\text{MX}=63$, $\text{STD}=46$); грудень (значення H1) – вище середнього (тобто більше 17 та менше 37; тому що $\text{MX}=38$, $\text{STD}=21$).

Сценарій 2. Якщо вершини перевести у такі стани: «Температура»: квітень, вересень, грудень (значення Н2) значно вище середнього; «Опади»: березень, квітень, липень, вересень, грудень (значення Н2) стан: значно вище середнього; «Добрива» – контрольне значення (без добрива), культура попередник – кукурудза на силос, то з ймовірністю 31% буде отримане максимальний приріст врожайності – Н2.

Сценарій 3. Якщо вершини перевести у стани: «Температура»: квітень (значення Н1) – вище середнього, вересень (значення Н2) значно вище середнього, грудень (значення АV) – середнє значення (мінус 2,5 градусів Цельсія), «Опади»: березень (значення L2), квітень (значення L2), липень (значення L2), грудень (значення L2) значно нижче середнього, а вересень (значення АV) – середнє значення (середнє значення 63), «Добрива» (значення F4) – N120P80K80, «Культура попередник» – багаторічні трави, тоді з ймовірністю у 45% буде отримано максимальний приріст врожайності (Н2).

Наведений приклад застосування адаптивного підходу до прогнозного моделювання урожайності сільськогосподарських культур свідчить про хороші перспективи його практичного використання для прогнозування урожайності польових сільськогосподарських культур з метою забезпечення раціонального природокористування.

Приклад 3. В якості прикладу інформаційної технології для ідентифікації невизначеностей різних типів та їх розкриття у задачах підтримки прийняття рішень, розглянуто таку, що призначена для управління розвитком локальних соціально-економічних систем – об'єднаних громад, отримана з порталу даних Державний веб-портал бюджету для громадян (<https://openbudget.gov.ua>). Особливістю даної задачі є те, що процеси, які мають місце у таких системах, в більшості, є нелінійними, а в процесі дослідження доводиться опрацьовувати невизначеності різних типів. Найбільш проблемними є питання опрацювання пропусків даних та розв'язання задачі «прокляття розмірності». Адже часові ряди таких соціально-економічних показників об'єднаних громад містять пропуски, зазвичай є короткими, а досліджувану систему характеризує значна кількість показників. Процедури аналізу та прогнозування виконані за схемою на рис. 3.

Для прогнозного моделювання спроможності громад використано як статистичні дані щодо соціально-економічного розвитку громад, показники фінансової стійкості місцевих бюджетів, результати порівняльного аналізу ефективності бюджетних програм, так і розширений набір показників, що застосовуються у бюджетному процесі. У дослідженні використано дані більш, ніж 30 громад. Для відбору громад було виконано кластерний аналіз. Для дослідження відібрані громади, що увійшли в один кластер. Зв'язки між даними та приховані закономірності були розглянуті, використовуючи процедури інтелектуального аналізу даних. Крім того, на етапі збору та попередньої обробки даних, для кращого розуміння предметної області виділенні найбільш значимих для аналізу факторів було побудовано SWOT-таблицю. Використані в аналізі дані були попередньо підготовлені для подальшого використання для побудови моделей за допомогою процедури ETL. Для прогнозування показника

“виконання бюджету за видатками” кращою виявилась модель лінійної регресії із вибором регресорів в автоматичному режимі за методом Stepwise (рис. 8).

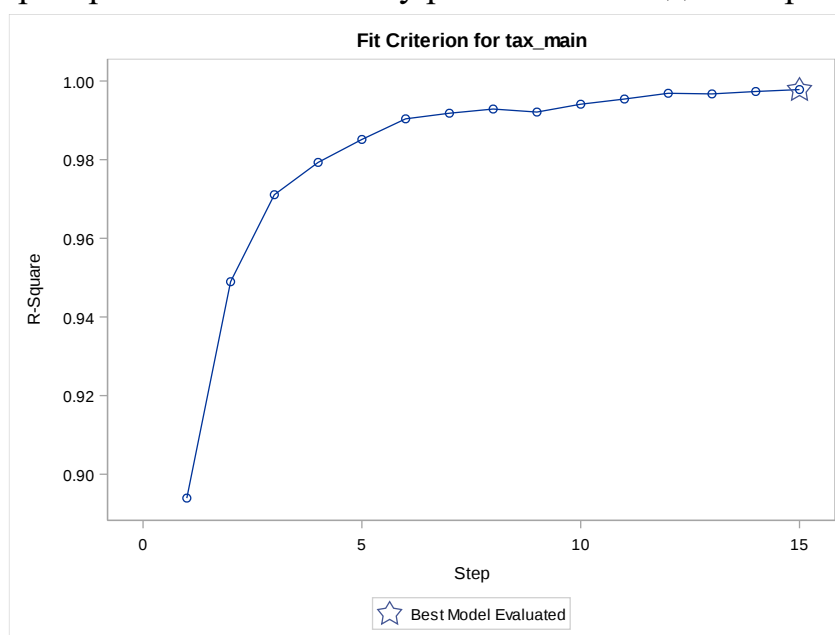


Рисунок 8 – Зміна статистики R^2 моделі в залежності від вибору регресорів, для прогнозування показника “виконання бюджету за видатками”.

Оцінка коефіцієнтів моделі для прогнозування показника “виконання бюджету за видатками” представлена в таблиці 6.

Таблиця 6 – Оцінка коефіцієнтів моделі для прогнозування показника “виконання бюджету за видатками”.

Назва показника (статті видатків)	Parameter Estimate	Standard Error	Type II SS	F-value	Pr > F
Вільний член	254.106	169.69	197288	2.24	0.1537
Реалізація загальнодержавні функції	0.99424	0.21527	1876760	21.33	0.0003
Житлово комунальні послуги	8.16851	0.49251	24201654	275.07	<.0001
Охорона здоров'я	3.59989	0.35915	8839193	100.47	<.0001
Фінансування власних повноважень	-0.39264	0.14507	644540	7.33	0.0156
Загальна середня освіта	0.23663	0.09350	563553	6.41	0.0222
Фінансування діяльності органи державного управління	1.61023	0.38901	1507459	17.13	0.0008
Комунальне господарство	-4.21820	0.64945	3711586	42.19	<.0001
Фінансування утримання інших закладів	1.18862	0.26600	1756854	19.97	0.0004
Культура і мистецтво	1.98848	0.51266	1323688	15.04	0.0013
Проведення виборів	9.71807	2.49986	1329609	15.11	0.0013
Інші видатки	0.85815	0.45286	315930	3.59	0.0763

Пропуски, наявні в даних були заповнені, інтервальні змінні приведено до вигляду категоріальних, аномальні значення виключено з аналізу. Для усунення мультиколінеарності використано метод головних компонентів. Для заповнення пропусків даних використано методи знаходження середнього між

першим попереднім та першим наступним значеннями ряду, моделі регресії (за малої, до 5% кількості пропусків) та значної (20%) кількості пропусків. Для оцінки якості регресійних моделей, застосованих для заповнення пропусків використовувася показник MAPE. Кінцевою метою використання пропонованої інформаційної технології було прогнозування доходної та витратної частини місцевого бюджету об'єднаних територіальних громад. Проаналізувати якість отриманого прогнозу можна за даними рис. 4.

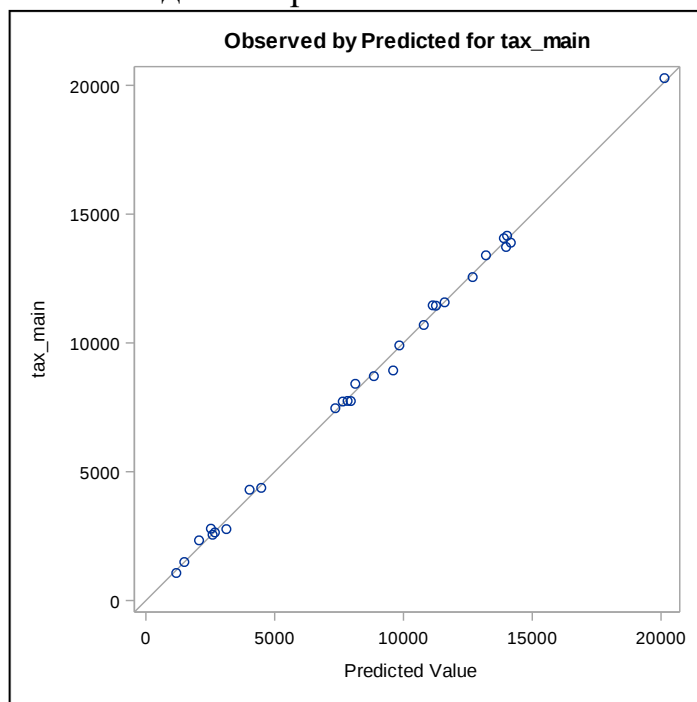


Рисунок 9 – Розподіл реальних та прогнозованих значень показника «виконання бюджету за видатками»

Отримана математична модель має наступні прогнозуючі характеристики: $RMSE = 224$, $MAPE = 3,22\%$, $R^2 = 0,99$.

Для прогнозування показника “виконання бюджету за доходами” було побудовано модель лінійної регресії із вибором регресорів в автоматичному режимі за методом Stepwise (таблиця 7).

Таблиця 7 – Оцінка коефіцієнтів моделі для прогнозування показника “виконання бюджету за доходами”

Назва показника (статті видатків)	Parameter Estimate	Standard Error	Type II SS	F-value	Pr > F
Вільний член	590.70325	560.13206	2185481	1.11	0.3026
Податкові надходження	0.92724	0.11791	121536845	61.85	<.0001
Офіційні трансфери	1.82459	0.56346	20605728	10.49	0.0036
Субвенції з державного бюджету	-3.38282	0.77284	37649943	19.16	0.0002
Податок на майно	5.37428	0.84544	79408739	40.41	<.0001

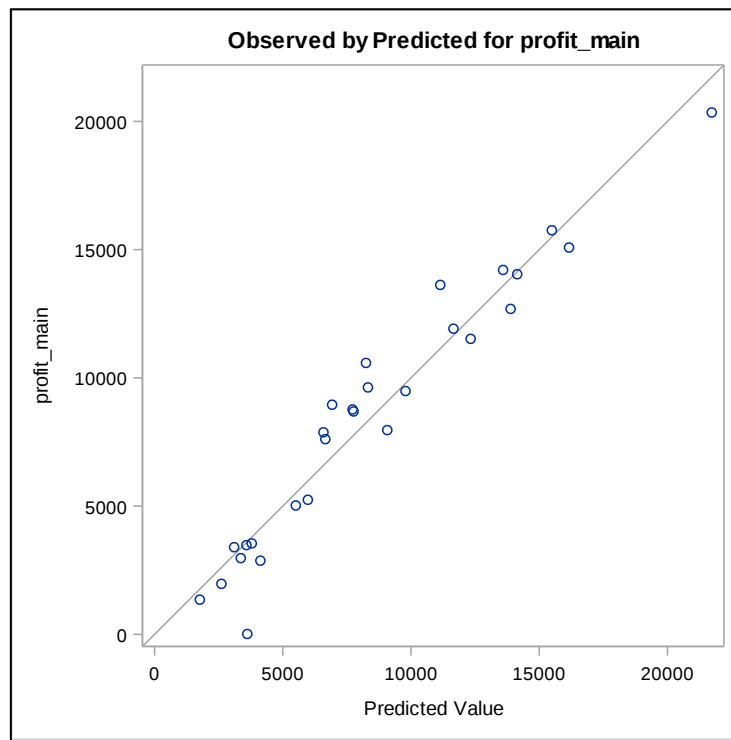


Рисунок 10 – Розподіл реальних та прогнозованих значень показника “виконання бюджету за видатками”.

Отримана математична модель має прийнятні прогнозуючі характеристики: $RMSE = 1074$, $MAPE = 12,7\%$, $R^2 = 0,93$.

Таким чином, отримані результати дають можливість визначити проблеми та перспективи розвитку місцевого самоврядування: чи буде громада спроможною, чи зможе забезпечити соціальні гарантії мешканцям громади.

Для забезпечення зворотного зв'язку з жителями громади, в роботі запропоновано використання інтелектуального аналізу тексту – повідомлень жителів громади, розміщених у соціальних мережах, зверненнях, форумах, тощо. аналізу та категоризації у програмному середовищі SAS Text Miner.

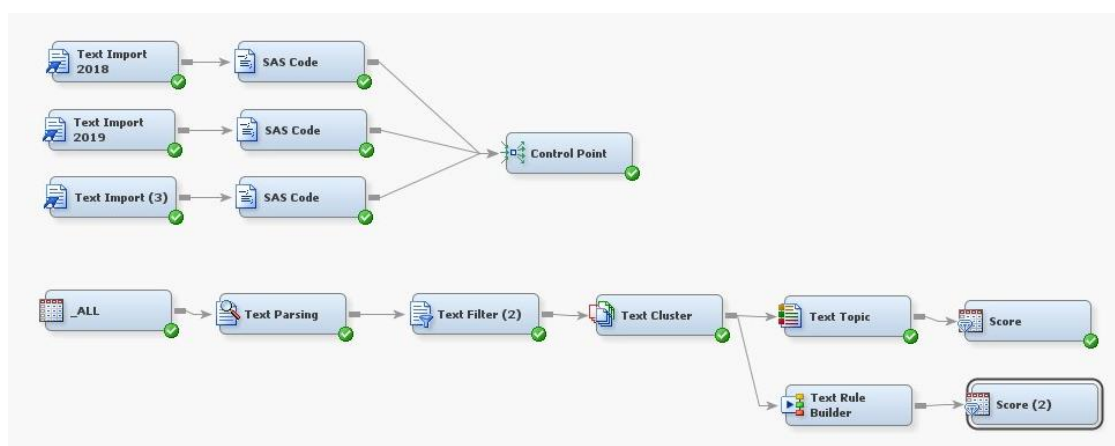


Рисунок 11 –Схема технологічного процесу аналізу текстових повідомлень у системі SAS Text Miner

Дослідження працездатності системи виконано на матеріалах груп повідомлень 20 територіальних громад (близько 10000 повідомлень). Для формування семантичного простору використані лексеми, сформовані з іменників та комбінацій іменників і дієслів. Шаблони словника, що містять терміни бюджетних програм та ієрархії предметної області склали основу тезаурусу, правила якого побудовані на основі виявлених в ході аналізу стоп-слів. Для кластеризації документів обрано алгоритм ієрархічної кластеризації (Hierarchical clustering), реалізований в модулі Text Mining SAS Enterprise Miner. В основі алгоритму використовується підхід на основі власних сингулярних чисел (SVD – singular value decomposition), що трансформуються у вагові коефіцієнти з частотної матриці термів корпусу документів.

Таблиця 8 - Статистичні характеристики автоматичної ієрархічної кластеризації документів

№ п/п	Режим ієрархічної кластеризації	Розмір SVD простору	Кількість отриманих кластерів	Час обчислення (секунд)	Якість кластеризації
1	low SVD resolution	35	10	53	прийнятна
2	medium SVD resolution	54	13	75	хороша
3	high SVD resolution	75	8	92	висока

Приклад формування концептуальних-зав'язків між термінами наведений на рис. 12.

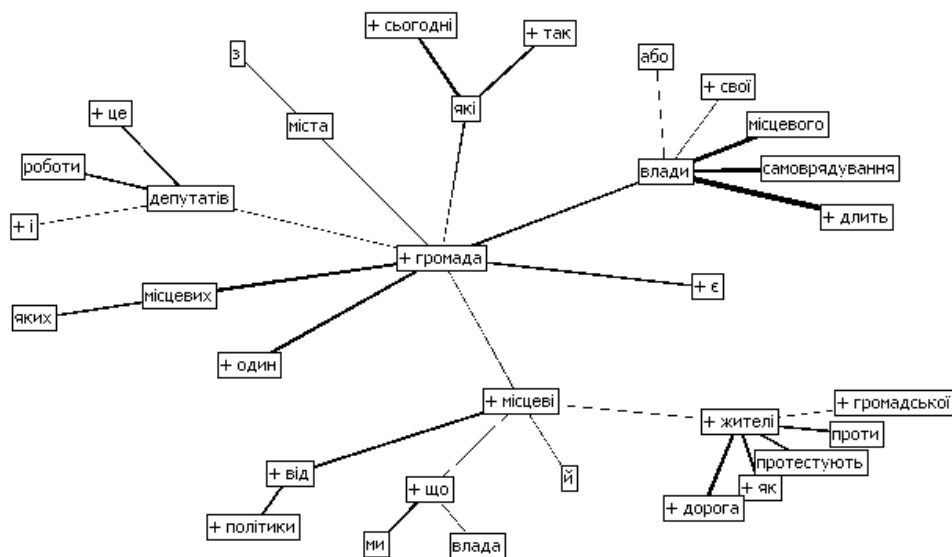


Рисунок 12 - Формування концептуальних-зав'язків для терміну «грумада», на основі корпусу з 10.000 інформаційних текстів.

Таблиця 9 – Результати ієрархічної кластеризації в режимі high SVD resolution.

Номер кластеру	Терми, що визнають кластер	Кількість документів	Процент документів
7	+держави будинків +бюджет ` city mandarin-news акцію аналізу багатоквартирних ми +більше які +можна +області +питання	2400	0,32
9	+результат +контроль +початок +рейтинг + аматорського +некомпетентна	1000	0,13(3)
10	+дослідження +діджиталізація +звітувати +змі	400	0,053(3)
12	+відповідно +реалізації +громадян +органів +загрозу +законом	1400	0,186(6)
16	+місцевих +народ +депутатів +країни +некомпетентна +виборців +голова	1000	0,13(3)
17	+асфальт +базар +бракує +демонструє +децентралізації	500	0,06(6)
18	+агломерації +будівництво +впритул +газозаправного +експерта +законопроект	400	0,053(3)
19	+місцеві +області +політики +послуг +аграрного +агронома +аспірантуру +багатоповерхівки +благоустрою	400	0,053(3)

Виявлено, що найбільш обговорюваними темами, що цікавлять мешканців є наявність транспортного сполучення (17,4%), проблеми з працевлаштуванням (35,8%), проблем роботи служб з надання адміністративних послуг (46,8%). На другому рівні альтернативи, пов'язані з створенням об'єднаних громад. Найбільш важливими альтернативами є забезпечення наповнюваності бюджетів - 38%, згортання медичної галузі - 24%, скорочення кількості закладів освіти – 27%, а інші - 11%.

Щодо емоційного забарвлення досліджуваної інформації, то найбільш негативні емоції викликала тематика "об'єднання громад" та "розширення міської забудови". Позитивні емоції – "пільгові перевезення" та "ремонт доріг". Це означає, що створення проблеми безробіття, погане транспортне сполучення та проблеми, пов'язані з роботою органів місцевого самоврядування та скороченням фінансування освіти та медицини з державного бюджету створюють пріоритет для формування об'єднаних громад. Виявлені інформаційні тенденції використовуються для виявлення наступного чинника: підвищеної тривоги та невизначеності населення в результативності реформ та забезпеченні соціальних гарантій. Це дає можливість сформулювати пропозиції щодо першочергових проектів, які необхідно включити до бюджету об'єднаних територіальних громад на наступний бюджетний рік.

Впровадження комп'ютерних інформаційних систем, оснований на створеному інструментарії, у роботу органів державного управління, місцевого самоврядування, дорадчих структур стане в нагоді при ідентифікації об'єктів критичної інфраструктури, коротко- та середньостроковому прогнозуванні, формуванні перспективних планів, отриманні стратегічних екологічних оцінок щодо природокористування при реалізації складних інфраструктурних проектів, транспортної інфраструктури, виробничої логістики, уточненні оцінок впливу на довкілля потенційно небезпечних для довкілля проектів, а також можуть бути використані і органами місцевого самоврядування для оцінювання тенденцій розвитку певних громад та оцінюванні результативності урядування.

У **додатках** подані матеріали, що ілюструють практичні реалізації отриманих рішень, а також акти впровадження результатів дисертаційного дослідження.

ВИСНОВКИ

На основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень вирішено важливу науково-прикладну проблему в галузі інформаційних технологій – підвищення ефективності прийняття рішень в управлінні розвитком регіонів та громад в умовах невизначеності та ризику на основі релевантних методів і засобів аналізу даних, моделювання та прогнозування. При цьому зроблено наступні висновки та отримано такі результати:

1. Виконано системний аналіз сучасних методів моделювання та прогнозування процесів регіонального розвитку, які мають різну природу та протікають в умовах нестаціонарності та невизначеності, що дозволило визначити їхні обмеження та сформулювати вимоги до нових підходів.
2. Розроблено єдину формалізовану методологію побудови математичних моделей для опису та прогнозування соціально-економічних процесів регіонів і громад в умовах невизначеності, яка охоплює повний цикл від збору та інтеграції різнотипних даних до формування оптимальних управлінських рішень.
3. Удосконалено методи прогнозування соціально-еколого-економічних процесів різної природи на основі комбінованого використання ймовірнісних та регресійних моделей, що дозволило зменшити похибку прогнозування на 5–30 %.
4. Запропоновано метод оцінювання параметрів математичних моделей та їх ансамблів, який усуває зміщеність оцінок прогнозів і підвищує статистичні показники адекватності на 5–20 %.
5. Розроблено метод виявлення та розкриття невизначеностей різних типів за допомогою ймовірнісно-статистичних підходів, який забезпечує коректне прогнозування розвитку складних соціально-економічних процесів.
6. Побудовано ансамблі математичних моделей процесів, характерних для регіонів певного типу, та виконано їх застосування для прогнозування розвитку і підтримки прийняття рішень в умовах інформаційної невизначеності та ризику.
7. Розроблено багатомодельний і багатокритеріальний підхід до інтеграції

різномітної інформації, який базується на системному використанні методів аналізу, автоматизованого інтегрування, моделювання, прогнозування та багатокритеріального прийняття рішень з урахуванням динаміки процесів.

8. Виконано апробацію запропонованих підходів до моделювання та прогнозування, доведено їх здатність адекватно описувати причинно-наслідкові зв'язки між чинниками різних груп та підвищувати точність прогнозів на 10–20 %.
9. Проведено оцінювання адекватності побудованих моделей і сформульовано висновки щодо можливості їх використання для оцінювання та прогнозування розвитку соціально-еколого-економічних процесів як на рівні регіону, так і громади.
10. Розроблено методику розв'язання багатокритеріальних задач прийняття рішень із використанням процедур оптимізації, зокрема еволюційних та генетичних алгоритмів, інтегрованих у систему підтримки прийняття рішень.
11. Створено та реалізовано інформаційну технологію управління регіональним розвитком на основі запропонованих методів і моделей, придатну для впровадження у системи підтримки прийняття рішень органів державного управління та місцевого самоврядування.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Монографії

1. Trofymchuk O. M., Bidiuk P. I., Prosiiankina-Zharova T. I., Terentiev O. M. Decision support systems for modelling, forecasting and risk estimation: monography. Riga: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2019. 176 p. ISBN: 978-3-659-61214-5

Статті у періодичних виданнях, включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України

2. Trofymchuk O.M., Bidiuk P.I., Prosiiankina-Zharova T.I., Terentiev O.M. Bayesian data analysis in modeling and forecasting nonlinear nonstationary financial and economic processes. *Проблеми керування та інформатики*, 2023. № 4. С. 71-83. <https://doi.org/10.34229/1028-0979-2023-4-6>

Статті у наукових фахових виданнях України

3. Терент'єв О. М., Кириченко В. Е., Св'язінська Н. О., Прос'янкіна-Жарова Т. І. Прогнозування фінансових ризиків з використанням наївного і доповненого деревом класифікаторів на основі байєсівських мереж. *Наукові вісті НТУУ КПІ*. 2016. №2. С. 60-68. <https://doi.org/10.20535/1810-0546.2016.2.63882>

4. Терент'єв О. М., Прос'янкіна-Жарова Т. І., Саваст'янов В. В. Використання засобів текстової аналітики як інструменту оптимізації підтримки прийняття рішень у задачах розробки планів соціально-економічного розвитку України. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2016. Т. 18. № 3. С. 75-86. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rzod_2016_18_3_10

5. Терент'єв О. М., Прос'янкіна-Жарова Т. І., Саваст'янов В. В. Застосування когнітивного та ймовірнісного моделювання у задачах формування сценаріїв

розвитку соціально-економічних систем. *Наукові вісті НТУУ КПІ*. 2016. №5. С. 37-47. <https://doi.org/10.20535/1810-0546.2016.5.79876>

6. Бідюк П. І., Терент'єв О. М., Просянкін-Жарова Т. І., Ефендієв В. В. Прогнозне моделювання нелінійних нестационарних процесів у рослинництві з використанням інструментів SAS Enterprise Miner. *Наукові вісті НТУУ КПІ*. 2017. №1. С. 24-36. <https://doi.org/10.20535/1810-0546.2017.1.87423>

7. Bidyuk P., Overmyer S., Prosyankina-Zharova T., Terentiev O. Methodology of Modeling and Forecasting Nonlinear Processes in Finances. *Наукові вісті НТУУ КПІ*. 2018. №1. С. 15 – 25. <https://doi.org/10.20535/1810-0546.2018.1.120361>

8. Bidyuk P., Prosyankina-Zharova T., Terentiev O., Medvedeva M. Adaptive modelling for forecasting economic and financial risks under uncertainty in terms of the economic crisis and social threats. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2018. №4. С. 24-36. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.135483>

9. Bidyuk P. I., Korshevnyuk L. O., Gozhyi O. P., Kalinina I. O., Prosyankina-Zharova T. I., Terentiev O. M. Modeling and forecasting financial and economic processes with decision support system. *Наукові вісті КПІ*. 2019. № 5-6. С. 7-17. <https://doi.org/10.20535/kpi-sn.2019.5-6.176835>

10. Bidyuk P.I., Prosyankina-Zharova T.I., Diakon V., Diakon D. Modeling and forecasting nonlinear nonstationary processes in financial sphere. *Technology Audit and Production Reserves*. 2023. Vol. 4. № 2(72), P. 37 – 46. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286516>

11. Terentiev, O., Prosyankina-Zharova, T., Diakon, V., Manuilenco, R. Development of mathematical models to support decision-making regarding the functioning of critical infrastructure in the industry of energy supply. *Technology Audit and Production Reserves*, 2023. 6(2(74), 44–49. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.293205>

12. Лисов Б., Гуськова В., Просянкін-Жарова Т., Халигов А. Інформаційна технологія класифікації даних моніторингу систем і мереж передачі даних для виявлення кіберзагроз. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Інформатика і моделювання*. 2025. №1. Вип. 1(13). С. 128-147. <https://doi.org/10.20998/2411-0558.2025.01.09>

13. Просянкін-Жарова Т. Інформаційні технології для систем підтримки прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком. Екологічна безпека та природокористування, 2025. №54(2), С. 164–184. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.2.164-184>

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

14. Prosyankina-Zharova T., Terentiev O., Bidyuk P., Makukha M. Features of SAS Enterprise Guide for probabilistic modeling system, macroeconomic analysis and forecasting. *Journal of Mathematics and System Science*. 2016. №6. P. 112-122. <https://doi.org/10.17265/2159-5291/2016.03.003> (CIIA, Index of Copurnicus)

Статті у закордонних виданнях, індексованих у базі даних Scopus

15. Bidyuk P. Modelling Nonlinear Nonstationary Processes in Macroeconomy and Finances/ Bidyuk P., Prosyankina-Zharova T., Terentiev O. / *Advances in Computer Science for Engineering and Education. ICCSEE 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing* / Ed. Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds). Vol.

754. Cham: Springer, 2019. P. 735-745. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91008-6_72 (**Scopus Q3**). ISSN 2194-5357

16. Bidiuk P. I., Prosiankina-Zharova T. I., Terentiev O. M., Lakhno V. A., Zhmud O. V. Intellectual technologies and decision support systems for the control of the economic and financial processes. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2019. Vol. 97. No. 1. P. 71-87. (**Scopus Q3**) URL: <https://www.jatit.org/volumes/Vol97No1/7Vol97No1.pdf>

17. Terentiev O. M., Prosiankina-Zharova T. I., Lakhno V. A., Usatiuk Y. V. The features of the predictive computing modeling power system load in terms of reforming energy market. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2020. Vol. 98. No. 2. P. 163-182. (**Scopus Q4**). URL: <https://www.jatit.org/volumes/Vol98No2/1Vol98No2.pdf>

18. Terentiev O., Prosiankina-Zharova T., Savastiyarov V., Lakhno V., Kolmakova V. The features of building a portfolio of trading strategies using the SAS OPTMODEL procedure. *Computation*. 2021. 9(7). 77. <https://doi.org/10.3390/computation9070077> (**Scopus Q2**)

19. Sharova, T., Zemlianska, A., Sharov, S., Prosiankina-Zharova, T., Kavun, L. Independent Evaluation of Learning Outcomes as a Tool of the Internal Quality Assurance System. *TEM Journal*. 2023, 12(2), P. 700–709. <https://doi.org/10.18421/TEM122-13> (**Scopus Q3**)

20. Sharov S., Chakraborty S., Zemlianskyi A., Kolmakova V., Prosiankina-Zharova T. Quantitative Analysis of Online Courses for Learning the JavaScript Programming Language. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 2024. Vol. 14, No. 4, pp. 1216-1225. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.14.4.19976> (**Scopus Q4**)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

21. Prosyankina-Zharova T. I., Terentiev O. M., Bidiuk P. I., Gasanov A. Features of SAS Enterprise Guide for probabilistic modeling system, macroeconomic analysis and forecasting: *On control and optimization with industrial applications (COIA-2015)*, Proceedings of the fifth international conference (Baku, 27-29 August 2015), Baku: Institute of applied mathematics BSU, 2015. P. 365-368. URL: http://coia-conf.org/upload/editor/files/COIA_2015.pdf

22. Терент'єв О.М., Св'язінська Н.О., Просянкіна-Жарова Т.І. Візуалізація типології регіонів України із використанням системи SAS Enterprise Guide 7.1. *Геоінформаційні системи і комп'ютерні технології еколого-економічного моніторингу: матеріали міжнар. наук.-техн. конф. (Дніпропетровськ, 13–15 квітня 2016 р. Дніпропетровськ: ГВУЗ «НГУ» МОН України, 2016. С. 21-25. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/19565>*

23. Text mining analysis of agriculture internet sources using SAS software / Prosyankina-Zharova T. I., Terentiev O. M., Bidiuk P. I., Sviazinska N. O., Kutychenko V. E. *Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI 2016)*: матеріали міжнар. конф. (м. Залізний порт, 24-28 трав. 2016 р.). Херсон: ХНТУ, 2016. С. 244-246. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/19575>

24. Ivanova Y. V., Terentiev O. N., Korshevnyuk L. O., Prosyankina-Zharova T. I. Using modified logistic regression to increase customer response rate to marketing campaigns. *International conference on System Analysis and Information Technology (SAIT 2016)*. Proceedings of the 18-th conference (Kyiv, May 30 – June 2). Kyiv: Institute for Applied System Analysis, National Technical University of Ukraine “KPI”, 2016. С. 304-305. URL: http://sait.kpi.ua/media/filer_public/73/32/7332a68e-e93b-4c57-a3c8-66f11ee074cd/sait2016ebook.pdf
25. Terentiev O.M., Prosyankina-Zharova T. I. Development of scoring systems for decision-making in crediting individuals and legal entities. *Розвиток підприємницької діяльності інтеграції України в світове господарство та інформатизації основних напрямків поступу*. Умань : Видавець “Сочінський М.М.”, 2017. С. 184-187. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/19626>.
26. Терентьев О. М., Просьянкіна-Жарова Т. І. Застосування прогностного моделювання для дослідження нелінійних нестационарних процесів у рослинництві. *Розвиток підприємницької діяльності інтеграції України в світове господарство та інформатизації основних напрямків поступу*. Умань : Видавець “Сочінський М.М.”, 2017. С. 113-116. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/19619>.
27. Бідюк П. І., Терентьев О. М., Просьянкіна-Жарова Т. І. Методи заповнення пропусків даних у задачах прогностного моделювання соціально-економічних процесів. *Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI 2017)* : матеріали міжнар. конф. (м. Залізний порт, 22-26 трав. 2017 р.). Херсон : ПП Вишемирський В. С., 2017. С. 185-187. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/19679>.
28. Бідюк П. І. Терентьев О. М., Просьянкіна-Жарова Т. І., Савастьянов В. В. Застосування інструментів SAS BASE для дослідження ефективності методів обробки пропусків у вибірках даних з метою підвищення якості прогнозування показників продовольчої безпеки країни. *International conference on System Analysis and Information Technology (SAIT 2017)*. Proceedings of the 19-th. conference (Kyiv, May 22 – 25. 2017).. Kyiv: National Technical University of Ukraine “KPI”, 2017. С. 253-255. URL: http://sait.kpi.ua/media/filer_public/38/b9/38b90ff9-322e-4190-b445-e58ff05759fc/sait2017ebook.pdf
29. Bidyuk P. I., Prosyankina-Zharova T.I., Terentiev O.M. Multi model adaptive forecasting using decision support system *Моделювання та прогнозування економічних процесів*. Матеріали XI Науково-практичної конференції.(м. Київ, грудень 6-8 грудня 2017 р.). К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017, С. 14-17. URL <https://ecocyber.fmm.kpi.ua/wp-content/uploads/2022/06/mper2017.pdf>
30. Трофимчук О.М., Бідюк П. І., Просьянкіна-Жарова Т. І., Терентьев О. М. Адаптивне моделювання і прогнозування у системах підтримки прийняття рішень сільськогосподарського призначення. *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях*: колективна монографія / ред. С.О. Довгий. К.: ТОВ “Видавництво Юстон”, 2017. С. 21-28. URL: <https://itgip.org/wp-content/uploads/2018/08/zbirka-maket-1.pdf>

31. Bidyuk, P. Terentiev O., Prosyankina-Zharova T. Dynamic processes forecasting and risk estimation under uncertainty using decision support systems. IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Proceedings of the Proceedings of the conference (Kyiv, 29 May-2 June 2017), Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. 2017. P. 795-800. (Scopus) <https://doi.10.1109/UKRCON.2017.8100355>. ISBN:978-1-5090-3006-4

32. Trofymchuk O. M. Forecasting nonstationary processes in demography, ecology, economy and finances/O. M. Trofymchuk, P. I. Bidyuk, T. I. Prosyankina-Zharova, O. M. Terentiev *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: колективна монографія*/ ред. С.О. Довгий]. К.: ТОВ “Видавництво Юстон”, 2018. С. 113-123. URL: <https://itgip.org/wp-content/uploads/2018/10/zbirka-maket-2018-1.pdf>

33. Трофимчук О.М., Бідюк П.І., Терент'єв О.М., Просянкіна-Жарова Т.І. Особливості прогнозного моделювання з можливістю картографування та інтелектуального аналізу геопросторових даних у еколого-економічних дослідженнях; XVIII-а Міжнародна науково-практична конференція: «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: актуальні питання», колективна монографія / ред. С.О. Довгий. К.: ТОВ “Видавництво Юстон”, 2019. С. 18-26. URL: https://itgip.org/wp-content/uploads/2019/10/1_knyga_sajt.pdf

34. Шолохов О. В., Терент'єв О. М., Просянкіна-Жарова Т. І. Підвищення ефективності соціальних комунікацій на основі аналізу інтернет-джерел засобами text mining. *Прикладні системи та технології в інформаційному суспільстві: матеріали міжнар. наук.-практ. конф.* (Київ, 30 вер. 2020 р.). К.: Київський нац. ун-т імені Тараса Шевченка, 2020. С. 241-245. URL: https://aistis.knu.ua/wp-content/uploads/2020/11/tezi_2020_.pdf

35. Trofymchuk O.M., Bidyuk P.I., Prosyankina-Zharova T.I., Terentiev O.M. Decision support system for modeling and forecasting ecological processes. *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: колективна монографія* / ред. С.О. Довгий. К.: ТОВ “Видавництво Юстон”, 2020. С. 23-44. URL: https://itgip.org/wp-content/uploads/2020/10/zbirka_2020_1.pdf

36. Korbicz J., Bidyuk P., Kuznietsova N., Terentiev O., Prosyankina-Zharova T. Multivariate distribution model for financial risks management. *The 9th International Conference "Information Control Systems & Technologies"(ICST2020)* (Odessa, Sept. 24–26, 2020). CEUR Workshop Proceedings, 2020. P. 416-429. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2711/paper32.pdf> (Scopus).

37. Trofimchuk O., Prosyankina-Zharova T.; Bidiuk P., Terentiev O. Operational risk estimation using probabilistic model. *2020 IEEE 14th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)* (Tashkent, Oct. 07-09, 2020), P. 1-5. <https://doi.10.1109/AICT50176.2020.9368630> (Scopus) ISBN:978-1-7281-7386-3, ISSN:2472-8586. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9368630>

38. Korbicza J., Trofymchuk O., Bidiuk P., Kuznietsova N., Terentiev O., Prosiiankina-Zharova T. Probabilistic Modeling of Risks of Different Origin. *Modern Information Technologies for Environmental Safety Management, Nature Management, Emergency Measures*, October 7, 2021, Kyiv, Ukraine 2021. P. 29-42. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-3021> (Scopus)

39. Трофимчук О. М., Бідюк П. І., Терентьєв О. М., Просянкіна-Жарова Т.І. Застосування методики аналізу подібності часових рядів для прогнозування процесів різних типів в умовах інформаційної невизначеності; XX-а Міжнародна науково-практична конференція: «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: виклики 2021 року», колективна монографія / ред. С.О. Довгий. К.: ТОВ “Видавництво Юстон”, 2021. С. 19-25. URL: https://itgip.org/wp-content/uploads/2021/10/1_zbirka_2021.pdf

40. Терентьєв О. М., Просянкіна-Жарова Т.І., Дякон Д. В. Застосування засобів опрацювання неструктурованих даних у задачах прогнозного моделювання; XX-а Міжнародна науково-практична конференція: «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: виклики 2021 року», колективна монографія / ред. С.О. Довгий. К.: ТОВ “Видавництво Юстон”, 2021. С. 161-168. URL: https://itgip.org/wp-content/uploads/2021/10/1_zbirka_2021.pdf

41. Терентьєв О.М., Просянкіна-Жарова Т.І., Шолохов О.В. Особливості застосування інструментів інтелектуального аналізу даних компанії SAS у торгівлі криптовалютою *Прикладні системи та технології в інформаційному суспільстві*: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 30 вер. 2022 р.). К.: Київський нац. ун-т імені Тараса Шевченка, 2022. С. 200-210. URL: <https://aistis.knu.ua/wp-content/uploads/2022/10/AISTIS-2022.pdf>

42. Trofymchuk O. M., Bidyuk P.I., Prosiiankina-Zharova T. I., Terentiev O. M. Bayesian data analysis in modeling and forecasting nonlinear nonstationary financial and economic processes; XXI-а Міжнародна науково-практична конференція: «Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток», колективна монографія / ред. С.О. Довгий. К.: ТОВ “Видавництво Юстон”, 2022. URL: https://itgip.org/wp-content/uploads/2022/11/tezy_6.docx

43. Дякон Д.В., Просянкіна-Жарова Т.І. Проблеми застосування інформаційних технологій у міжвідомчій співпраці в сфері реагування на різні загрози й надзвичайні ситуації. *Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток*, колективна монографія / ред. С.О. Довгий. К.: ТОВ “Видавництво Юстон”, 2022. URL: https://itgip.org/wp-content/uploads/2022/11/tezy_32a.pdf

44. Терентьєв О. М., Просянкіна-Жарова Т. І. Опрацювання інформаційної невизначеності із застосуванням методики виявлення подібності процесів. *Виклики і загрози для критичної інфраструктури*. матеріали міжнар. Наук.-практ. конф. (м. Київ, 29-30 червня 2023 р.) URL: <https://conference.cyberspace.org.ua>

45. Халігов А.А., Просянкіна-Жарова Т.І., Гуськова В. Г. Удосконалення інформаційної технології аналізу даних на порталі open budget *Інформаційно-*

комунікаційні технології для перемоги та відновлення. колективна монографія / ред. С.О. Довгий. К.: ТОВ “Видавництво Юстон”, 2023.. С. 73–76. URL: https://itgip.org/wp-content/uploads/2023/11/1_zbirka_08_11_23-1-1.pdf

46. Бідюк П. І., Терентьев О. М., Просьянкіна-Жарова Т.І. Інформаційна технологія побудови прогнозів функціонування об’єктів критичної інфраструктури в умовах кризової ситуації. *Інформаційно-комунікаційні технології для перемоги та відновлення*. колективна монографія / ред. С.О. Довгий. К.: ТОВ “Видавництво Юстон”, 2023. С. 114–117. URL: https://itgip.org/wp-content/uploads/2023/11/1_zbirka_08_11_23-1-1.pdf

47. Вишняков В.Ю., Глуган Ф.В., Просьянкіна-Жарова Т. І. Інформаційна технологія визначення тематичних точок на підстильній поверхні Землі із використанням даних дистанційного зондування Землі, отриманих з різних джерел. *Математичне моделювання та інформаційно-комунікаційні технології для зміцнення та відновлення*. колективна монографія / ред. С.О. Довгий. К.: ТОВ “Видавництво Юстон”, 2024. С. 126-129. https://itgip.org/wp-content/uploads/2024/11/2024-11-24_zbirka_all_07_11_2024_148x210.pdf

48. Халигов А.А., Просьянкіна-Жарова Т. І., Гуськова В. Г. Використання рекомендаційної системи для підтримки прийняття рішень у системі кібербезпеки об’єкта критичної інфраструктури *Математичне моделювання та інформаційно-комунікаційні технології для зміцнення та відновлення*. колективна монографія / ред. С.О. Довгий. К.: ТОВ “Видавництво Юстон”, 2024. С. 149-154. https://itgip.org/wp-content/uploads/2024/11/2024-11-24_zbirka_all_07_11_2024_148x210.pdf

Навчальні посібники

49. Згуровський М. З., Бідюк П. І., Терентьев О.М., Просьянкіна-Жарова Т. І. Байєсівські мережі в системах підтримки прийняття рішень: навч. посіб. К: ТОВ «Видавниче підприємство «Едельвейс», 2015. 300 с. ISBN 978-966-2748-73-4. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/19582>

АНОТАЦІЯ

Просьянкіна-Жарова Т. І. Інформаційні технології для систем підтримки прийняття рішень в управлінні регіональним розвитком. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за фахом 05.13.06 «Інформаційні технології». – Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, Національна академія наук України, Київ, 2025.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми - розроблення інформаційних технологій, призначених для використання у системах підтримки прийняття рішень управління регіональним розвитком органів місцевого самоврядування та державного управління.

У дисертації розроблено нові інформаційні технології, які дозволяють обробляти великі обсяги різномірної структурованої та неструктурованої, часто недостовірної, обмеженої та неповної інформації, приймати коректні рішення

щодо розвитку соціально-еколого-економічних систем – регіонів та громад в умовах невизначеності та ризиків різних типів.

У роботі представлено інформаційні технології побудови прогнозів розвитку соціально-еколого-економічних систем на основі системної методології адаптивного моделювання і комплексного застосування статистично-ймовірнісного підходу та методів інтелектуального аналізу даних. Розроблені інформаційні технології ґрунтуються на принципах багатомодельного підходу, інтеграції структурованої та неструктурованої інформації, системному використанні методів інтелектуального аналізу даних, моделювання, прогнозування та прийняття рішень. Науковими результатами досліджень є методології створення інформаційної технології виконання системних досліджень складних соціально-економічних систем, розроблення методологічних засад побудови на її основі інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для підвищення якості прийняття управлінських рішень щодо їх розвитку в умовах невизначеності.

В роботі розроблено системну методологію попередньої обробки (підготовки) даних, яка ґрунтується на множині методів відбору найбільш значимих чинників, заповнення пропусків даних і нормування спостережень, обробки екстремальних значень та структурування даних.

У дисертаційному дослідженні удосконалено системну методологію побудови моделей процесів, що характерні для різних рівнів складних соціально-економічних систем на основі адаптивного підходу до моделювання з комбінованим використанням сценарного аналізу, регресійних та ймовірнісно-статистичних моделей у формі мереж Байеса, що дозволяє урахувати структурно-параметричні невизначеності і забезпечує адекватний опис причинно-наслідкових зв'язків та можливих варіантів розвитку подій під впливом різних груп чинників;

У роботі представлено удосконалену системну методологію проектування і реалізації систем підтримки прийняття рішень, що ґрунтується на принципах мережецентричного, багатомодельного та багатокритеріального підходів і засновану на системному використанні методів аналізу даних, адаптивного моделювання, прогнозування і прийняття рішень; що дозволяє органам державного управління та місцевого самоврядування вирішувати задачі регіонального розвитку, ефективно реагувати на загрози в умовах наявності невизначеностей та ризиків різних типів.

Запропоновано використання різних типів інформаційних технологій прогнозування, в основу яких покладено поетапне розкриття невизначеностей різної природи, уточнення результатів моделювання на кожному етапі дослідження. В основу запропонованої технології покладено багатомодельний підхід, який ґрунтується на використанні множини різнотипних моделей: регресійний аналіз, байєсівське моделювання і прогнозування, технологія на основі застосування методу аналізу подібності часових рядів, аналізу структурованих та неструктурованих даних. При цьому кожний тип моделей призначений для виконання поставленої конкретної задачі. Згідно з принципами багатомодельного підходу розроблено метод синтезу інформаційних технологій,

застосований для розв'язування задач прогнозування розвитку соціально-економічних систем, який ґрунтується на інтеграції різнотипної інформації й заснований на системному використанні методів аналізу даних, моделювання, методів прогнозування.

Запропонована інформаційна технологія інтерооперабельною. Програмне забезпечення реалізоване мовами програмування SAS/Base та SAS/IML та Python і має гнучку адаптивну архітектуру. Методи, що були розроблені та реалізовані в роботі, призначені насамперед для автоматизації аналізу та прогнозування процесів регіонального розвитку.

Запропоновані методи і моделі доведені до рівня практичної реалізації у вигляді інформаційної технології що дозволяє аналізувати та прогнозувати регіональний розвиток в умовах невизначеності.

Отримані теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи використовуються в науково-практичній діяльності підприємств, установ, органів державного управління та місцевого самоврядування.

Ключові слова: інформаційна технологія, система підтримки прийняття рішень, мережецентричний підхід, невизначеність, регіональний розвиток, прогнозування, математичні моделі, штучний інтелект.

ABSTRACT

Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.13.06 "Information Technologies". - Institute of Telecommunications and Global Information Space, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2025.

The dissertation is dedicated to solving a topical scientific and applied problem - the development of information technologies intended for use in decision-making support systems for regional development management of local governments and state administration.

The dissertation develops new information technologies that allow processing large volumes of heterogeneous structured and unstructured, often unreliable, limited and incomplete information, and making correct decisions regarding the development of socio-ecological and economic systems - regions and communities in conditions of uncertainty and risks of various types.

The paper presents information technologies for building forecasts of the development of socio-ecological and economic systems based on the systematic methodology of adaptive modeling and the integrated application of the statistical-probabilistic approach and methods of intelligent data analysis. The developed information technologies are based on the principles of a multi-model approach, integration of structured and unstructured information, systematic use of methods of intelligent data analysis, modeling, forecasting and decision-making. The scientific results of the research are methodologies for creating information technology for performing systematic research of complex socio-economic systems, developing methodological principles for building an intelligent decision-making support system based on it to improve the quality of management decision-making regarding their development in conditions of uncertainty.

The paper has developed a systematic methodology for pre-processing

(preparation) of data, which is based on a set of methods for selecting the most significant factors, filling data gaps and normalizing observations, processing extreme values and structuring data.

The dissertation research improves the systemic methodology for building models of processes that are characteristic of different levels of complex socio-economic systems based on an adaptive approach to modeling with the combined use of scenario analysis, regression and probabilistic-statistical models in the form of Bayesian networks, which allows taking into account structural-parametric uncertainties and provides an adequate description of cause-and-effect relationships and possible scenarios under the influence of various groups of factors;

The work presents an improved systemic methodology for designing and implementing decision-making support systems, which is based on the principles of network-centric, multi-model and multi-criteria approaches and is based on the systematic use of data analysis methods, adaptive modeling, forecasting and decision-making; which allows state and local government bodies to solve regional development problems and effectively respond to threats in the presence of uncertainties and risks of various types.

The use of different types of forecasting information technologies is proposed, which are based on the gradual disclosure of uncertainties of different nature, refinement of modeling results at each stage of the study. The proposed technology is based on a multi-model approach, which is based on the use of a set of different types of models: regression analysis, Bayesian modeling and forecasting, technology based on the application of the method of time series similarity analysis, analysis of structured and unstructured data. At the same time, each type of model is designed to perform a specific task. In accordance with the principles of the multi-model approach, a method of information technology synthesis has been developed, applied to solving problems of forecasting the development of socio-economic systems, which is based on the integration of different types of information and is based on the systematic use of data analysis, modeling, and forecasting methods. The proposed information technology is interoperable. The software is implemented in the SAS/Base and SAS/IML and Python programming languages and has a flexible adaptive architecture. The methods that were developed and implemented in the work are intended primarily for the automation of the analysis and forecasting of regional development processes.

The proposed methods and models have been brought to the level of practical implementation in the form of information technology that allows analyzing and forecasting regional development under conditions of uncertainty.

The obtained theoretical and practical results of the dissertation work are used in the scientific and practical activities of enterprises, institutions, state administration bodies and local governments.

Keywords: information technology, decision support system, network-centric approach, uncertainty, regional development, forecasting, mathematical models, artificial intelligence.

Підписано до друку 15.08.2025 р. Формат 60х84/16.
Папір офсетний. Ум. друк. арк. 1,9
Тираж 100 прим. Замовлення № 1445

Видавничо-поліграфічний центр «Візаві»
20300, м. Умань, вул. Тищика, 18/19
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 2521 від 08.06.2006.
тел. (093) 117-08-86, (067) 104-64-88
vizavi-print.jimdo.com
e-mail: vizavi008@gmail.com