

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

СІДЛЯРЕНКО АНДРІЙ ІГОРОВИЧ



УДК 004:[656.13.02:625.7]-047.36](043.3)

**ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ
ТА АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ
АВТОМОБІЛЬНИМИ ДОРОГАМИ ЯК СКЛАДОВОЮ
ЧАСТИНОЮ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ**

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

ЧЕРКАСИ – 2025

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
ЗАСЛАВСЬКИЙ Володимир Анатолійович,
професор кафедри математичної інформатики
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
АЛЬ-АММОРИ Алі Нурддинович,
завідувач кафедри інформаційно-аналітичної
діяльності та інформаційної безпеки
Національного транспортного університету;

доктор технічних наук, професор
ТРИГУБА Анатолій Миколайович,
завідувач кафедри інформаційних технологій
Львівського національного університету
ветеринарної медицини та біотехнологій
імені С.З. Гжицького.

Захист відбудеться «12» червня 2025 року о 12-00 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 73.052.04 при Черкаському державному технологічному університеті за адресою: 18006, м. Черкаси, бульв. Шевченка, 460 (зал засідань).

Із дисертацією можна ознайомитися на офіційному сайті <https://chdtu.edu.ua/science/svr> та в бібліотеці Черкаського державного технологічного університету за адресою: м. Черкаси, бульв. Шевченка, 460.

Автореферат розісланий «09» травня 2025 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Ірина МИРОНЕЦЬ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Висока значущість для державного розвитку системи дорожнього господарства, насамперед однієї з її ключових ланок – мережі автомобільних доріг, відносить її до складу критичної інфраструктури (КІ) держави; цим обумовлена потреба особливого статусу щодо забезпечення безпеки та підтримання у належному стані. В умовах активних воєнних дій на території України зазначене вимагає спеціального підходу до розвитку і підтримки автомобільних доріг як ключового елементу КІ, зокрема в контексті швидкого реагування та відновлення на прифронтових територіях.

Для забезпечення України автомобільними дорогами на рівні європейських країн необхідно побудувати та модернізувати майже 200 тис. км, зокрема понад 60 % на регіональному рівні. Для налагодження міждержавних зв'язків необхідне будівництво автомагістралей світового рівня з бетонним або асфальтобетонним покриттям і багаторядним рухом. Створення системи інформаційно-аналітичного моніторингу для прийняття рішень в управлінні державними дорогами – один із основних процесів європейської та світової інтеграції України. Теорія прийняття рішень має потужний математичний апарат, а розвиток обчислювальної техніки та інформаційних технологій дозволяє реалізовувати його в програмних засобах підтримки та супроводження інформаційно-аналітичних систем (ІАС).

З огляду на це, а також наміри України стати частиною Європейського Союзу однією з першочергових задач є створення автомобільних доріг міжнародного значення та придорожньої інфраструктури, що відповідають міжнародним вимогам, з доведенням якості дорожнього покриття, пропускної спроможності до показників, які відповідають європейським стандартам.

Зважаючи на масштабність і різноманітність даних у системі управління дорожнім господарством, а також постійні динамічні зміни інформаційних потоків, виділено такі пріоритетні завдання: моніторинг стану автомобільних доріг загального користування, забезпечення своєчасного оновлення дорожнього покриття та впровадження інформаційних технологій для підвищення ефективності управління, розподіл ресурсів на виконання пріоритетних робіт.

Початок розвитку вітчизняних розробок з проєктування автоматизованих систем управління поклали дослідження, проведені в Інституті кібернетики НАН України імені В. М. Глушкова, їх продовжили у своїх роботах О. М. Верес, М. І. Шлезінгер, А. А. Шиян, Д. В. Ланде, В. Г. Путятін, О. Г. Додонов. Розробці та розвитку автоматизованих систем у галузі дорожнього господарства присвятили свої дослідження М. М. Лихоступ, О. П. Канін, А. І. Лантух-Лященко, Л. П. Боднар, Л. Г. Панібратець.

Розв'язування математичних задач оптимізації, які описані в дисертації, здійснюється з застосуванням методів послідовного аналізу варіантів (започаткований у роботах В. С. Михалевича, Н. З. Шора), метаевристичних алгоритмів (яким у своїх роботах приділяли особливу увагу В. П. Шило, Л. Ф. Гуляницький).

У дорожній галузі значний внесок у розвиток задач оптимізації зробила група науковців Національного транспортного університету під керівництвом

С. С. Кизими: ними було розроблено підхід до планування ремонтів та реконструкції дорожнього покриття на основі техніко-економічного аналізу. Н. В. Смірнова, В. В. Філіппов досліджували математичні методи планування та оптимізації заходів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг в умовах невизначених ресурсів; дослідженням моделей технічного обслуговування дорожнього одягу займалися В. В. Мозговий, А. М. Онищенко, М. В. Гаркуша, О. О. Білан.

Значний внесок у розроблення процесів оптимізації, моніторингу та інформаційних систем управління для інфраструктури автомобільних доріг зробила група науковців проєкту OMICRON у складі: Р. Мартінес, А. Ансуатеґі, Х. Лопес, С. Рабадан та Х. Соліс.

Особливістю автодорожнього господарства є геопросторова прив'язка об'єктів. Використовуючи геопросторову прив'язку та візуалізацію стану об'єктів як додатковий критерій прийняття рішень, можна приймати більш ефективні рішення в задачах планування ремонтів, реконструкції доріг та капітальних споруд на них.

Водночас в умовах структурних змін та обмежених ресурсів принциповим недоліком системи управління автодорожнім господарством стає відсутність загальної консолідованої системи інформаційно-аналітичного забезпечення процесів прийняття управлінських рішень.

Таким чином, сучасний стан предметної області потребує використання проблемно-орієнтованих інформаційних технологій для підтримки прийняття управлінських рішень в автодорожньому господарстві, а тому розроблення моделей, методів і системи моніторингу та аналізу ефективності управління автомобільними дорогами в умовах невизначеності обсягів фінансування та розподілу ресурсів є актуальною науково-практичною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася в рамках планів наукових досліджень кафедри математичної інформатики факультету комп'ютерних наук та кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка і згідно з тематичними планами науково-дослідних робіт Державного агентства автомобільних доріг України та Служби автомобільних доріг Херсонської області, а саме: «Розробити інформаційно-аналітичну систему щодо планування, моніторингу та контролю стану виконання наукових робіт в дорожній галузі» (ДР № 0114U006214); «Розробити інформаційно-аналітичну систему накопичення, обробки, аналізу та обміну даними щодо стану об'єктів (доріг різного підпорядкування та типу, капітальних споруд на них), їх будівництва, реконструкції, капітальних та поточних ремонтів по регіонах, планування та технічного обліку ремонтів автодоріг» (ДР № 0111U005541); «Розробка розподіленої геоінформаційної системи моніторингу стану автомобільних доріг загального користування Херсонської області» (ДР № 0111U008768).

Мета і завдання дослідження. Мета дисертаційного дослідження полягає в підвищенні ефективності моніторингу стану автомобільних доріг загального користування та управління ними шляхом розробки, застосування та впровадження комплексу математичних моделей і методів для

побудови інформаційно-аналітичної системи моніторингу дорожнього господарства.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- здійснити аналіз інформаційних потоків даних і методів їх обробки у дорожньому господарстві, проблемних питань забезпечення управління мережами автомобільних доріг, їх надійності та якості як складової критичної інфраструктури шляхом збору інформації про дані у дорожньому господарстві та спостережень за процесом їх обробки;

- розробити математичну модель забезпечення результативності прийняття стратегічних та оперативних управлінських рішень, пов'язаних із плануванням будівництва, реконструкції або ремонтів автомобільних доріг в умовах невизначеності щодо обсягів фінансування та ефективним розподіленням ресурсів у системі автомобільних доріг;

- розробити математичні моделі для контролю стану автомобільних доріг та штучних споруд на них і планування заходів з підвищення безпеки для ефективного виявлення потенційних загроз та здійснити оптимізацію процесів щодо їх усунення;

- розробити метод побудови інформаційно-аналітичної системи моніторингу дорожнього господарства, який враховує класифікації об'єктів (доріг різного підпорядкування та типу, капітальних споруд на них) у системі автодоріг, для забезпечення оброблення і представлення інформації для прийняття стратегічних та оперативних управлінських рішень.

Об'єктом дослідження є процеси обробки інформаційних потоків даних у системі дорожнього господарства.

Предметом дослідження є математичні моделі, методи та механізми обробки даних для забезпечення ефективності управління системами дорожнього господарства.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених у дисертації завдань використовуються методи статистичного та системного аналізу, багатокритеріальної оптимізації та теорії прийняття рішень для побудови механізму прийняття стратегічних управлінських рішень і визначення їх ефективності, а також методи експертних оцінок (задача планування будівництва, реконструкції або ремонтів автомобільних доріг в умовах невизначеності фінансування).

Наукова новизна одержаних результатів. Для розв'язання задач моніторингу, планування, аналізу та оптимізації ефективності прийняття рішень в автодорожній галузі розроблено комплекс математичних моделей і методів, який включає такі науково-обґрунтовані результати:

- *удосконалено* математичну модель забезпечення результативності прийняття управлінських рішень, пов'язаних із плануванням будівництва, реконструкції або ремонтів автомобільних доріг, яка на відміну від існуючих побудована на основі моделей експертного оцінювання важливості, та дозволяє, за рахунок введення показника завершеності робіт, ефективно перерозподіляти кошти на роботи, які тривають, та роботи, які мають розпочатися пізніше згідно з планом робіт;

– *вперше розроблено* математичну модель визначення засобів і заходів зменшення аварійності для планування процесу усунення аварійно-небезпечних ділянок автомобільної дороги, яка шляхом введення функції аварійності (корисності) для кожної з причин виникнення дорожньо-транспортних пригод дозволяє зменшувати їх кількість на цих ділянках, зокрема з фатальними випадками;

– *дістала подальшого розвитку* математична модель комплектування засобів неруйнівного контролю стану автомобільних доріг для одночасного виявлення кількох можливих типів пошкоджень, яка доповнена вибором варіантів технології комбінування різнотипних за своєю природою засобів та враховує специфіку об'єктів контролю, що дозволяє підвищити якість виявлення пошкоджень на таких дорогах, а об'єктивна інформація про пошкодження та їх розташування дозволяє наповнити бази даних для систем прийняття рішень інформаційного супроводження цих об'єктів;

– *вперше розроблено* метод побудови інформаційно-аналітичної системи моніторингу дорожнього господарства, який за рахунок використання принципу роздільності на модулі та адаптивної ієрархічної структури даних забезпечує оброблення і представлення інформації для прийняття стратегічних та оперативних управлінських рішень і враховує комбінацію методів візуалізації та класифікації об'єктів у системі автодоріг.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дисертації впроваджено в ДП «Укрдорзв'язок» у вигляді інформаційно-аналітичної системи накопичення, обробки, аналізу та обміну даними щодо стану об'єктів (доріг різного підпорядкування та типу, капітальних споруд на них), їх будівництва, реконструкції, капітальних та поточних ремонтів по регіонах, планування та технічного обліку ремонтів автодоріг.

Розроблено алгоритм оброблення та представлення інформації щодо економічних показників дорожнього господарства (планові, фактичні та витрачені кошти), а також фізичних параметрів, які є цільовими для цих витрат; це дало змогу розробити програмне забезпечення як єдину платформу для уніфікації даних у дорожній галузі. Оцінювання ефективності інформаційно-аналітичної системи моніторингу дорожнього господарства на ТОВ «Житлошляхбуд» свідчить про зменшення часу на отримання даних у різних формах звітності щонайменше вдвічі.

Удосконалено алгоритм розподілу фінансових ресурсів між поточними та майбутніми завданнями відповідно до графіка виконання робіт, використовуючи моделі експертної оцінки важливості та враховуючи ступінь завершеності робіт, застосування якого в КК «Київавтодор» дозволило знизити середні витрати на залучення фінансування робіт щодо об'єктів будівництва на 3 %.

Моделювання розробленого підходу до комплектування засобів неруйнівного контролю стану автомобільних доріг і штучних споруд на них (візуального контролю, акустичного методу, георадару, радіоскопії) та планування заходів з підвищення безпеки для ефективного виявлення потенційних загроз свідчить про можливість збільшення показника якості виявлення пошкоджень на дорогах до 8,53 %.

Застосування плану впровадження заходів і засобів зменшення аварійності на двох пілотних ділянках автомобільної дороги дозволило зменшити кількість ДТП на 52% для першої ділянки та на 48% для другої ділянки (за розрахункового показника 53%).

Результати дисертаційного дослідження використано для вдосконалення теоретико-методичного забезпечення освітнього процесу в Черкаському державному технологічному університеті для підготовки здобувачів освітнього ступеня магістра зі спеціальностей 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» та 274 «Автомобільний транспорт», зокрема при викладанні навчальних дисциплін «Математичне моделювання транспортних систем», «Математичне моделювання технічних систем в автотранспорті», та ПЗВО «ІТ СТЕП Університет» для підготовки здобувачів освітнього ступеня магістра зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», зокрема, при викладанні навчальних дисциплін «Управління ІТ проєктами», «Дослідження даних» та для підготовки кваліфікаційних робіт.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи отримані автором особисто і опубліковані в наукових фахових виданнях. У спільних роботах автору належать усі дослідження, пов'язані з вирішенням поставленої в дисертації науково-прикладної задачі. У роботах, опублікованих у співавторстві, автор: у працях [1, 11] – проаналізував структуру інформаційних потоків даних моніторингу стану об'єктів будівництва, ремонтів та реконструкції дорожньої мережі, запропонував модель консолідації даних, у праці [4] – запропонував математичну модель визначення засобів і заходів зменшення аварійності для планування процесу усунення аварійно-небезпечних ділянок автомобільної дороги, у працях [5, 15, 20] – вдосконалив математичні моделі для планування перевезень вантажів та осіб в умовах підвищеної небезпеки, ризику загрози життю та під час надзвичайних ситуацій, у працях [6, 14, 17] – проаналізував модель організаційно-інформаційної взаємодії в дорожній галузі, взяв участь у розробленні архітектури інформаційно-аналітичної системи та інформаційної технології для інформаційно-аналітичного забезпечення в сфері керування автодорожнім господарством, зокрема із застосування геоінформаційного сервісу, запропонував структуру інформаційно-аналітичної системи, у праці [7] – вдосконалив математичну модель та виконав розрахунки, описав результати, у праці [13] – вдосконалив математичну модель задачі оптимізації комплексу методів неруйнівного контролю для виявлення дефектів у дорожньому покритті та придорожній інфраструктурі, у працях [16, 18] – вдосконалив математичні моделі підтримки прийняття управлінських рішень щодо планування робіт (будівництва, реконструкції, ремонту доріг) в умовах невизначеності і постійного скорочення фінансування.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідались на міжнародних конференціях: «Problems of Decision Making under Uncertainties (PDMU)» (м. Київ – м. Рівне, 2008 р.; м. Мукачеве, 2012 р., 2014 р.; с-ще Східниця, 2013 р.), «Theoretical and Applied Aspects of Cybernetics (ТААС)» (м. Київ, 2011 р., 2012 р.), «Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій в науці, освіті та економіці» (м. Луганськ, 2012 р.), «Контроль і управління в

складних системах (КУСС-2012)» (м. Вінниця, 2012 р.), «Проблеми інформатики і моделювання (ПІМ)» (м. Харків – м. Ялта, 2012 р.; м. Харків – м. Одеса, 2020 р.), «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2013 р.), «Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-ОДЕСА-2020)» (м. Одеса, 2020 р.), «Датчики, прилади та системи» (м. Черкаси, 2023 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 20 наукових працях: 7 наукових статтях, зокрема 6 у фахових виданнях і 1 – в іноземному науковому виданні, та 13 тезах доповідей на наукових конференціях.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації – 156 сторінок. Основний зміст викладений на 119 сторінках, у тому числі 5 таблицях та 33 рисунках. Список використаних джерел містить 80 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, зв'язок із науковими програмами, сформульовано мету та завдання дослідження, предмет, об'єкт і методи дослідження, наведено наукову новизну й практичне значення, відомості про апробацію отриманих результатів, охарактеризовано структуру дисертації.

У **першому розділі «Автомобільні дороги як складова частина критичної інфраструктури держави. Сучасний стан інформатизації галузі та проблеми управління»** державна мережа автомобільних доріг розглядається як невіддільна та вагома частина критичної інфраструктури держави, представлено огляд складових мережі автомобільних доріг.

Описуються можливі ризики, що можуть статися через затори, аварії, інші пригоди, проведення робіт на дорозі тощо, які характеризуються зміною пропускної спроможності елементів дорожньої мережі: повне перекриття, зменшення або тимчасова зупинка руху та їх наслідки. Проводиться огляд інформаційних і програмних засобів для забезпечення моніторингу та процесів управління дорожнім господарством, визначено особливості інформаційного обміну та інформатизації в дорожньо-транспортному комплексі.

Описуються геоінформаційні системи (ГІС) як ефективний спосіб візуалізації даних стану об'єктів мережі автомобільних доріг.

У **другому розділі «Математичні моделі для моніторингу та аналізу стану доріг»** розглянуто та обґрунтовано математичні моделі планування на об'єктах у системі автомобільних доріг України, а також контролю та підвищення якості їх стану.

Запропоновано математичне забезпечення для інформаційно-аналітичної системи автомобільних доріг. Комплекс математичних моделей для прийняття управлінських рішень являє собою основу при побудові ІАС та включає в себе:

– математичну модель забезпечення результативності прийняття управлінських рішень, пов'язаних із плануванням будівництва, реконструкції або

ремонтів автомобільних доріг, побудовану на основі моделей експертного оцінювання важливості;

– математичну модель визначення засобів і заходів зменшення аварійності для планування процесу усунення аварійно-небезпечних ділянок автомобільної дороги;

– математичну модель комплектування засобів неруйнівного контролю стану автомобільних доріг для одночасного виявлення кількох можливих типів пошкоджень;

– математичну модель планування перевезення осіб автомобільними транспортними засобами при їх евакуації, що полягає у виборі плану транспортування, який мінімізує людські втрати.

Поширеною практикою вирішення проблеми невизначеності обсягів фінансування є припинення робіт на деяких об'єктах з-поміж усіх запланованих. Визначення таких об'єктів здійснюється з урахуванням багатьох критеріїв (значущість об'єкта, ступінь завершеності робіт на об'єкті, залишкова вартість робіт та ін.). Через значну кількість об'єктів, критеріїв їх оцінки та різноманітних обмежень розв'язання задачі ранжування об'єктів потребує її чіткого формулювання та обґрунтованого підходу до її розв'язання.

Нехай $f_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ie^*}) \in [0, 1]$ – функція, що враховує ступінь завершеності робіт. Тоді умову поступового виконання етапів (наступний етап може бути виконаний тільки за умов виконання всіх попередніх) можна записати в такому вигляді:

$$\begin{aligned} x_{ie} &\geq x_{ie+1}, e = 1, 2, \dots, (e^* - 1), i = 1, 2, \dots, n; \\ x_{ie} &\in \{0, 1\}, e = 1, 2, \dots, e^*, i = 1, 2, \dots, n. \end{aligned}$$

Булева змінна x_{ie} набуває значення 1, якщо етап номер e на i -тому об'єкті профінансовано, інакше – $x_{ie} = 0$.

Позначимо булеву матрицю оцінки завершеності всіх етапів робіт на всіх об'єктах таким чином:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1e^*} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2e^*} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{ne^*} \end{pmatrix}.$$

Вартість виконання всіх запланованих робіт

$$B(X) = \sum_{i \in I} \sum_{e=1}^{e^*} b_{ie} x_{ie},$$

де b_{ie} – вартість виконання запланованих робіт на етапі номер e .

Якщо реальні обсяги фінансування становитимуть деяку величину $B_0 < B(I)$, то потрібно знайти таку матрицю X^* , для якої досягається

$$X^* = \operatorname{argmax}_{x \in X} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m q_k g_{ik} f_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ie^*})$$

за умов:

$$x_{ie} \geq x_{ie+1}, e = 1, 2, \dots, (e^* - 1), i = 1, 2, \dots, n,$$

$$B(X) = \sum_{i \in I} \sum_{e=1}^{e^*} b_{ie} x_{ie} \geq B_0.$$

Нехай B_1^0 – перший обсяг фактично виділеного фінансування.

Тоді з кожним наступним виділенням коштів обсяг фінансування буде нарощуватись таким чином, що $B_1^0 < B_2^0 < \dots < B_d^0 \leq B(X)$, де B_d^0 – сумарний обсяг фінансування після останнього виділення коштів.

Таким чином, в умовах невизначеності обсягів недостатнього фінансування, може бути вирішена задача знаходження оптимальних матриць $X_1^*, X_2^*, \dots, X_d^*$, для яких виконується умова «нарощення» $X_1^* < X_2^* < \dots < X_d^*$ за заданих $B_1^0, B_2^0, \dots, B_d^0$ ($B_1^0 < B_2^0 < \dots < B_d^0 \leq B(X)$). Виконання такої умови дозволить поступово «нарощувати» план робіт із отриманням фінансування.

Удосконалену математичну модель забезпечення результативності прийняття управлінських рішень, пов'язаних із плануванням будівництва, реконструкції або ремонтів автомобільних доріг, апробовано в КК «Київавтодор». На основі узагальнених даних управління капітального будівництва КК «Київавтодор» про фінансування, етапність виконання та пріоритетність робіт на об'єктах, які знаходяться в управлінні цього підрозділу, встановлено, що застосування запропонованих автором рішень дозволило знизити середні витрати на залучення фінансування робіт щодо об'єктів будівництва на 3 %.

Розв'язок задачі планування різнотипних дорожніх робіт за умов невизначеності та скорочення обсягів фінансування дає змогу коригувати план виділення фінансування за умови його скорочення і дозволяє змінювати обсяги фінансування, комплексно оцінюючи стан об'єкта – враховуються експертні оцінки важливості та стан завершеності робіт.

При системному дослідженні проблеми аварійності автомобільна дорога розбивається на ділянки (distance road segment) $drs_i, i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$. Транспортний потік складається із транспортних засобів, які розбиваються на категорії $k \in K = \{1, 2, \dots, k^*\}$, серед яких легкові автомобілі різних типів, вантажні автомобілі різних габаритів та вантажності, автобуси, двоколісні транспортні засоби тощо.

Нехай $L = \{1, 2, \dots, l^*\}$ – множина причин виникнення ДТП з постраждалими на автомобільній дорозі, що досліджується. Позначимо через $L_i, i \in I, L_i \subseteq L$ – набір причин виникнення ДТП для drs_i -ї ділянки автодороги. Для кожної причини $l \in L_i$ на ділянці $drs_i, i \in I$ обчислюється коефіцієнт ρ_{li} – частота виникнення ДТП з постраждалими на цій ділянці.

Для оцінки можливої ефективності впровадження (застосування) засобів $z_i, i \in I$ для зменшення аварійності на кожній ділянці $drs_i, i \in I$ розглядається функція $f_{il}(z_i) \in [0; 1]$ – зменшення аварійності (корисності) для кожної з причин виникнення ДТП $l \in L_i$, для якої виконуються такі умови:

- $f_{il}(z_i) = 0$, якщо заходи z_i не зменшили кількість ДТП з постраждалими через причину $l \in L_i$;

- $f_{il}(z_i) \in (0; 1)$, якщо застосовані заходи z_i зменшили кількість ДТП з постраждалими через причину $l \in L_i$;

- $f_{il}(z_i) = 1$, якщо за наступний проміжок часу відсутні ДТП з причини $l \in L_i$ на ділянці drs_i .

Тоді задача мінімізації кількості осіб, що загинули та постраждали у ДТП, матиме вигляд:

$$\sum_{l \in L} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \rho_{li} w_k N_{ik} (1 - f_{li}(z_i)) \rightarrow \min,$$

за умов:

$$b_u(z) = \sum_{i \in I} b_{iu}(z_i) \leq b_u^*, u \in U,$$

$$z = (z_{1s}, \dots, z_{is}, \dots, z_{ns}) \in Z = \prod_{i \in I} Z_i, i \in I,$$

де N_{ik} – середня кількість ДТП з постраждалими на ділянці дороги $i \in I$ для категорії транспорту $k \in K$; w_k – середня кількість осіб в транспортних засобах категорії $k \in K$; $b_u^*, u \in U$ – задана величина обмежень по ресурсу u .

Розв’язок такої оптимізаційної задачі дозволяє сформулювати план впровадження спеціальних заходів і засобів, кожен з яких має обмежене фінансування та приносить визначену корисність.

Практичне застосування розробленої математичної моделі та відповідного їй плану впровадження спеціальних заходів і засобів реалізовано на двох пілотних ділянках з інтенсивністю 60 ДТП/рік і в середньому 2 особами в ДТП. Результати такого застосування свідчать про те, що за допомогою комбінації трьох заходів – автоматичний фоторадар, покращене вуличне освітлення, встановлення бар’єрного огороження – за загального бюджету 150 тис. грн кількість ДТП знизилася на 52% для першої ділянки та на 48% для другої ділянки (за розрахункового показника 53% для значень $f_{li} = \{0,5; 0,4; 0,6\}$ відповідно для зазначених заходів).

Нехай $H = \{h_i, i \in I = \{1, 2, \dots, i^*\}\}$ – скінченна множина типів пошкоджень (дефектів), які можливі на ділянках дорожнього покриття та елементів дорожньої інфраструктури (мостів, шляхопроводів, тунелів тощо), де I – множина індексів типів пошкоджень. Пошкодження $h_i \in H$ характеризуються різними показниками, такими як, наприклад, геометричні показники (глибина та довжина тріщини, рівність дорожнього одягу), важкість усунення, можливість скоєння ДТП та ін.

На реалізацію комплексу методів неруйнівного контролю (МНК) (закупівлю приладів, розробку методології, навчання людей тощо) виділено кошти у розмірі C_0 , тоді оцінка знизу ймовірності виявлення множини пошкоджень H може використовуватись як критерій під час вибору МНК для одночасного виявлення всіх пошкоджень $h_i \in H$, а задача формування комплексу МНК матиме вигляд:

$$P_H(v) = \prod_{i \in I} p(v_{ri}) \rightarrow \max,$$

за умови:

$$C(v) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ji}(v_{r_i}) \leq C_0,$$

$$v \equiv (v_{r_i})_{i \in I}, v_{r_i} = (m_{j_1 k}^i, \dots, m_{j_s k}^i) \in V_i, k \in K_j \subseteq K, v \in V = \prod_{i \in I} V_i,$$

де m_{jk} – МНК j -того типу k -того способу реалізації, $j \in J$ – множина індексів типів МНК, $k \in K_j \subseteq K$ – множина індексів способів реалізації типів МНК, v_{r_i} – варіант типів МНК (комплекс МНК) для реалізації технології r_i , c_{ji} – обсяг фінансування, що необхідний для реалізації варіанта v_{r_i} , $p(v_{r_i})$ – імовірність виявлення пошкодження $h_i \in H$ при застосуванні комплексу v_{r_i} для технології r_i .

Розглянута задача неруйнівного контролю полягає у виборі МНК у випадку, коли необхідно виявити одночасно всю множину пошкоджень H . Оцінкою якості виявлення пошкоджень є показник $P_H(v)$, що враховує здатність обраного комплексу МНК реєструвати кожний тип дефекту. Аналіз результатів моделювання виявлення дефектів під час дослідження дорожнього покриття на мостовій конструкції показав, що сумісне використання візуального контролю, акустичного методу, георадару, радіоскопії дозволяє підвищити середній показник якості виявлення пошкоджень на 8,53 % порівняно з підходом окремого візуального контролю.

Мережу автомобільних доріг (road network) представлено графом $RN = (A, RS)$, в якому вершини $a_i \in A, i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$ відповідають населеним пунктам і перехрестям автодоріг, а дуги $(a_i, a_j) \in RS, a_i, a_j \in A$ – ділянкам автодоріг (road segments). Позначимо через RS_i^+ множину індексів вершин, які є суміжними з $a_i, i \in I$.

Нехай $\delta_{ij}(t)$ – заплановане перевезення населення на момент $t \in (0, t^*)$, $\beta_{ij}(t)$ – пропускна спроможність автодороги, $y_{ij}(t)$ – потужність запланованої передислокації автотранспорту в момент $t \in (0, t^*)$. Кожна вершина на момент часу $t \in (0, t^*)$ характеризується набором показників, які залежать від $\delta_{ij}(t)$ та $y_{ij}(t)$, $j \in RS_i^+$: $Q_i(\bullet, t)$ – чисельність населення; $VC_i(\bullet, t)$ – потужність автотранспортних ресурсів; $ER_i(\bullet, t)$ – обсяг наявних паливних ресурсів; та QT_i – кількість місць для тимчасового розміщення евакуйованих осіб.

Нехай $\Omega = \{1, 2, \dots, \omega^*\}$ – скінченна множина станів довкілля, де кожному стану відповідає діапазон рівнів забруднення території. Нехай задані $p_i^{(\omega)}(t)$ – ймовірності перебування вершини $a_i, i \in I$ в стані ω на момент часу t та $R^{(\omega)}, \omega \in \Omega$ – ймовірності загибелі людини на території, що перебуває в населеному пункті в стані $\omega \in \Omega$.

Задача полягає у виборі плану транспортування, який мінімізує людські втрати, можливі внаслідок зараження території, і має вигляд: мінімізувати

$$\sum_{i \in I} \sum_{\omega \in \Omega} \int_0^{t^*} R^{(\omega)} p_i^{(\omega)}(t) Q_i(\bullet, t) dt,$$

за умов:

$$\begin{aligned}
&ER_i(\bullet, t) \geq 0, VC_i(\bullet, t) \geq 0, Q_i(\bullet, t) \geq 0, i \in I, t \in (0, t^*), \\
&\sum_{j \in RS_i^+} (\delta_{ij}(t) + y_{ij}(t)) \leq VC_i(\bullet, t), i \in I, t \in (0, t^*), \\
&\sum_{j \in RS_i^+} \delta_{ij}(t) \leq Q_i(\bullet, t), i \in I, t \in (0, t^*), \\
&\delta_{ij}(t) + y_{ij}(t) \leq \beta_{ij}(t), \delta_{ij}(t) \geq 0, y_{ij}(t) \geq 0, (a_i, a_j) \in RS, t \in (0, t^*), \\
&Q_i(\bullet, t^*) \leq Q_i(\bullet, 0) + QT_i, i \in I.
\end{aligned}$$

Розглянута задача є складною в плані моделювання. Шляхами її вдосконалення є модифікація критерію, застосованого до плану транспортування задля врахування граничних (смертельних) і перехідних станів здоров'я евакуйованих осіб, чисельності осіб та часу їх перебування на території певного рівня зараження, врахування груп ризику, а також особливостей аварій.

У третьому розділі «Метод побудови інформаційно-аналітичної системи моніторингу дорожнього господарства та аналіз потоків даних в ній» описано схему інформаційного обміну між підрозділами організаційної структури Агентства автомобільних доріг України, наведено результати аналізу об'єктів дорожньо-транспортного господарства та представлено розбиття задач, пов'язаних із цим, на різні рівні.

Визначено основні елементи інформаційного обміну між організаційними підсистемами (рис. 1).



Рисунок 1 – Спрощена схема інформаційного обміну між підсистемами

Визначено модель організаційно-інформаційної взаємодії в автодорожній галузі (рис. 2).

Враховуючи формат електронних звітних форм, в яких агрегуються дані, отримані з регіональних служб автомобільних доріг, можна в ІАС застосовувати ієрархічну систему показників. Структура показників фіксується шляхом введення порозрядної кодифікації. Введення ієрархічної структури показників дозволяє впорядковувати і класифікувати дані на кожному рівні ієрархії.



Рисунок 2 – Інформаційний обмін між робочими місцями організації через електронні форми звітності

Як результат, розроблено метод побудови інформаційно-аналітичної системи моніторингу дорожнього господарства, який складається з п'яти етапів:

1. Формування структури форм звітностей згідно з функціональними потребами та державного регулювання.
2. Наповнення форм звітностей відповідальними співробітниками регіональних служб з урахуванням поетапного виділення фінансування і постійної переоцінки важливості.
3. Формування аналітичних звітів за отриманими даними.
4. Прийняття рішень з розподілу ресурсів в умовах недофінансування і відсутності плану фінансування.

5. Формування планів проведення робіт з урахуванням критеріїв важливості і ефективності використання виділеного фінансування.

Запропонований метод передбачає реалізацію системного підходу до планування та розподілу фінансових ресурсів у дорожньому господарстві шляхом впровадження поетапної процедури, що базується на взаємопов'язаному циклі збору, аналізу та використання інформації для прийняття обґрунтованих управлінських рішень в умовах обмеженого фінансування.

На першому етапі здійснюють формування структури форм звітності, що відповідає функціональним потребам суб'єктів управління дорожнім господарством та нормативно-правовим вимогам державного регулювання. Другий етап полягає у наповненні зазначених форм звітності відповідальними працівниками регіональних служб з урахуванням поетапного характеру виділення фінансових ресурсів та постійної переоцінки важливості окремих об'єктів або видів робіт. Третім етапом є формування аналітичних звітів за результатами обробки отриманих даних. Четвертий етап охоплює безпосереднє прийняття рішень щодо розподілу наявних ресурсів за умов недофінансування та відсутності повного фінансового плану. Рішення приймаються з урахуванням сформованої аналітичної бази та поточної оцінки пріоритетності запланованих заходів. П'ятим етапом є формування планів проведення робіт, які базуються на критеріях важливості та очікуваної ефективності використання вже виділеного фінансування.

Впровадження запропонованого методу у вигляді рекомендацій щодо оброблення та комплексування інформації дозволило кількісно оцінити вплив застосування інформаційно-аналітичної системи на управлінські процеси КК «Київавтодор». Такий підхід забезпечує підтримку прийняття стратегічних і оперативних управлінських рішень на основі комплексу даних та дозволив зменшити кількість ітерацій введення та обробки даних щодо стану об'єктів будівництва, ремонту та реконструкції щонайменше вдвічі.

У третьому розділі представлено архітектуру інформаційно-аналітичної системи. Вона побудована таким чином, щоб допускати поетапне створення і впровадження в експлуатацію окремих складових частин, забезпечувати обмін даними з існуючими інформаційними системами, іншими організаціями та установами, інформація яких використовується для роботи системи.

Представлено удосконалену інформаційну технологію моніторингу і аналізу ефективності управління автомобільними дорогами (рис. 3) з урахуванням попередніх результатів.

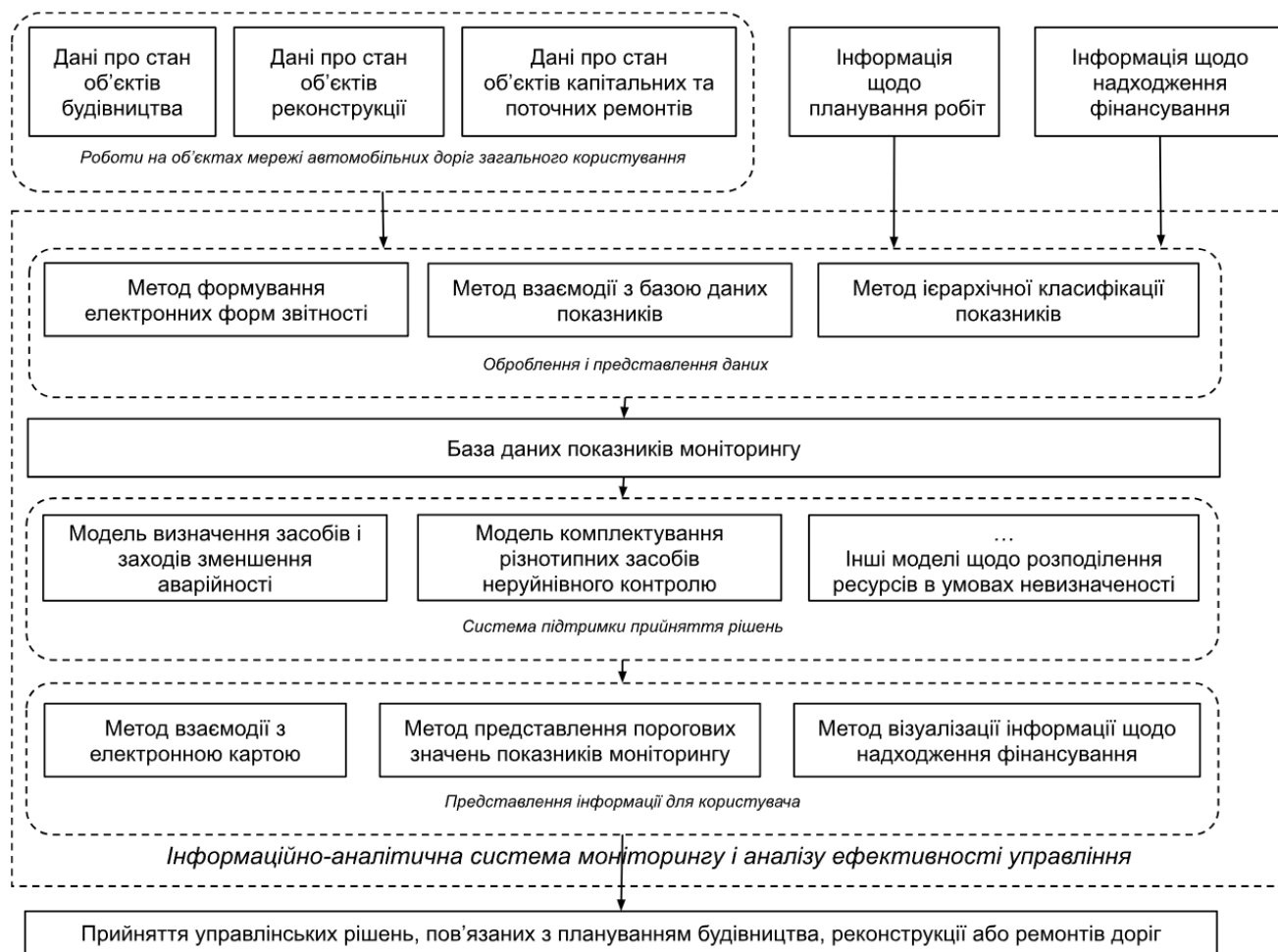


Рисунок 3 – Структурна схема інформаційної технології моніторингу і аналізу ефективності управління

У четвертому розділі «Реалізація інформаційно-аналітичної системи моніторингу дорожнього господарства» розглядаються питання розроблення інформаційно-аналітичної системи моніторингу дорожнього господарства.

Описано життєвий цикл задач і процесів проведення робіт щодо будівництва, ремонту та реконструкції об'єктів дорожнього господарства (рис. 4).

На основі запропонованої моделі організаційно-інформаційної взаємодії в автодорожній галузі створюється програмне забезпечення для автоматизованого генерування документів загальної звітності за даними, що надходять від регіональних служб автомобільних доріг.

Це завдання вирішується аналітичними програмними засобами, які обробляють дані з бази стану об'єктів будівництва, реконструкції, ремонту та поточного утримання автомобільних доріг. Тому будь-які відомості щодо стану об'єктів будівництва, реконструкції, ремонту та поточного утримання автомобільних доріг мають бути введені в базу даних, і будь-які документи мають бути згенеровані на основі даних, що містяться в базі. Дотримання цього принципу гарантуватиме цілісність і несуперечливість даних.



Рисунок 4 – Життєвий цикл процесу моніторингу та аналізу інформації

Інформаційно-аналітична система створена з урахуванням можливостей модифікації та розвитку, пов'язаних з:

- впровадженням нових інформаційних технологій та задач;
- підключенням до системи нових користувачів;
- розвитком інформаційної інфраструктури об'єктів, що взаємодіють з системою;
- впровадженням у систему нових технічних та програмних засобів.

Значна кількість об'єктів дослідження та їх характеристик, необхідність збереження та здійснення аналізу в часовому розрізі (щотижня, щомісячно, щоквартально, щорічно) спричиняють необхідність розробки спеціальної структури показників та їх представлення в базі даних.

Кожний зареєстрований користувач системи відповідно до своїх службових завдань і повноважень отримує доступ до певного набору програмних модулів.

Користувачі, які мають роль Адміністратора (рис. 5), мають можливості адміністрування ІАС. Для них доступні такі модулі: показники моніторингу, створення профілю користувача, інсталяція програмного модуля, створення групи користувачів, створення облікового запису користувача, оновлення програмного модуля, список користувачів, видалення облікових записів користувачів, редагування облікового запису користувача, управління параметрами системи та надання доступу до програмних модулів.

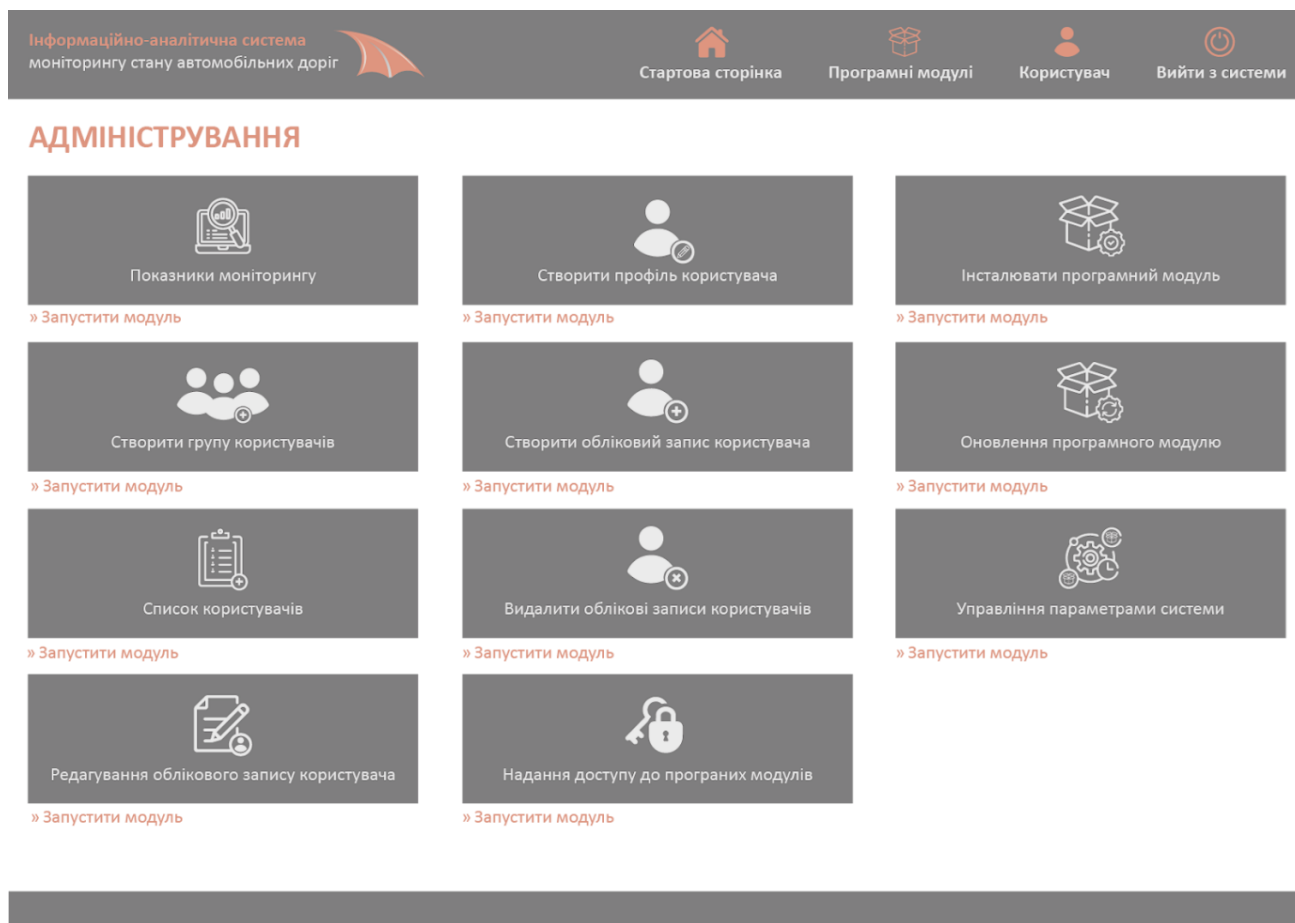


Рисунок 5 – Профіль користувача Адміністратор

Представлено результати розробки модулів геоінформаційної системи. Розроблено ГІС з урахуванням принципу модульності. Модулем у цьому контексті називається набір програмних файлів (скриптів, бібліотек) і допоміжних файлів (дані та стилізація), що мають певне функціональне призначення в програмній системі, функціонують у взаємодії з іншими модулями та компонентами системи, і водночас за своєю побудовою модуль є відокремленою частиною. Підсистема управління модулями, як і підсистеми керування профілями користувачів та підсистема керування сховищем даних, входять до ядра системи – набору програмних компонентів, що здійснюють основні функції та дозволяють здійснювати розширення функцій за рахунок інсталяції модулів.

Управління модулями системи здійснюється шляхом реєстрації всіх встановлених компонентів. Склад кожного модуля записується в файл опису модуля, що має спеціальний формат. В базі даних, де містяться параметри ІАС, відповідно, реєструється інформація по встановлених модулях. Електронна карта для відображення та редагування геопросторових даних розроблена з застосуванням серверних технологій (AJAX, php, Javascript), запитів до бази даних (структурованою мовою запитів – SQL).

В базу даних внесено дані про об'єкти таких типів:

- дороги загального призначення,

- мости,
- придорожня інфраструктура,
- місця концентрації ДТП.

Електронна карта надає можливість редагувати дані по всіх об'єктах, внесених до бази даних, а також вносити нові об'єкти.

Геопросторові дані, що отримуються через геосервіс WFS-трансфер, не мають стилізації. Тобто для них не передаються якісь особливі параметри відображення (колір заливки, товщина і колір ліній, підписи та інше). Їхня стилізація виконується програмними скриптами після отримання даних.

Для геосервісу WMS в GeoServer стилізація шарів електронної карти прописується в файлах спеціального формату (мовою розмітки, що базується на XML) – SLD (Styled layer description, опис стилізованого картографічного шару) і може бути керована геосервером. Формат SLD файлів визначений OGC.

GeoServer підтримує три класи геопросторових об'єктів: точки, лінії та полігони. Лінії є найпростішим з цих класів щодо стилізації (визначаються товщина і колір лінії та заливки, підписи). Полігони і точки мають кромку та внутрішню площу, які стилізуються окремо. Для заливки внутрішньої площі задаються колір та прозорість, для кромки – колір та товщина. Допускаються й інші види стилізації. Для точок можна задавати фігуру відображення: коло, квадрат, зірочка та навіть графічні об'єкти (завантажені з графічних файлів); лінії можуть відображатися пунктиром і з перпендикулярними рисками; внутрішня площа полігонів може бути замальована текстурою з графічного файлу.

Стилї можуть визначатися значеннями атрибутів з таблиць даних, пов'язаних з геопросторовими об'єктами (наприклад, відображення різною товщиною та кольором доріг залежно від їх значення – державного або місцевого). Також можливим є виведення надписів (з відповідних полів таблиці даних) до геопросторових об'єктів. Об'єкти на електронній карті також можуть бути стилізовані залежно від масштабу відображення карти. Для об'єктів електронної карти автодоріг можуть бути застосовані такі варіанти стилізації: залежно від масштабу, мітки доріг, позначення для придорожньої інфраструктури.

Оцінювання ефективності інформаційно-аналітичної системи моніторингу дорожнього господарства на ТОВ «Житлошляхбуд» свідчить про зменшення часу на отримання даних у різних формах звітності щонайменше в 2-3 рази.

ВИСНОВКИ

У дисертації проведено теоретичне узагальнення та отримано нове рішення науково-практичної задачі розроблення моделей, методів і системи моніторингу та аналізу ефективності управління автомобільними дорогами в умовах

невизначеності обсягів фінансування та розподілу ресурсів, що відповідає меті та задачам дослідження і відображене в науковій новизні.

Удосконалено математичну модель забезпечення результативності прийняття управлінських рішень, пов'язаних із плануванням будівництва, реконструкції або ремонтів автомобільних доріг, яка побудована на основі моделей експертного оцінювання важливості та з урахуванням завершеності робіт, що дає змогу ефективно перерозподіляти кошти на роботи, які тривають, і роботи, які мають розпочатися пізніше згідно з планом робіт (завдяки цьому вдалося знизити середні витрати на залучення фінансування робіт щодо об'єктів будівництва на 3 %).

Набула подальшого розвитку математична модель комплектування різнотипних засобів неруйнівного контролю стану автомобільних доріг при забезпеченні високого рівня безпеки руху, що дозволяє підвищити якість виявлення пошкоджень таких доріг (для дослідженого прикладу показник якості збільшився на 8,53 %), а об'єктивна інформація про пошкодження та їх розташування дозволяє наповнити бази даних для систем прийняття рішень інформаційного супроводження цих об'єктів.

Вперше розроблено математичну модель для розв'язування прикладної задачі планування процесу усунення аварійно-небезпечних ділянок автомобільної дороги, яка формалізується за допомогою дискретної оптимізації, на основі алгоритмів послідовного аналізу варіантів та наближених методів, що дозволяє зменшувати кількість ДТП на цих ділянках, зокрема з фатальними випадками (застосування плану впровадження спеціальних заходів і засобів зменшення аварійності на двох пілотних ділянках автомобільної дороги дозволило зменшити кількість ДТП на 52% та на 48%).

Вперше розроблено метод побудови інформаційно-аналітичної системи моніторингу дорожнього господарства, який забезпечує оброблення і представлення інформації для прийняття стратегічних та оперативних управлінських рішень і враховує комбінацію методів візуалізації та класифікації об'єктів у системі автодоріг, що дає змогу: приймати стратегічні та оперативні управлінські рішення на основі комплексу даних, зменшити кількість ітерацій введення та обробки даних щодо стану об'єктів будівництва, ремонту та реконструкції, підвищити доступність даних про стан поточних об'єктів будівництва за рахунок зменшення часу на отримання даних у різних формах звітності щонайменше вдвічі.

Основні результати дисертаційної роботи знайшли практичне застосування у вітчизняних автодорожніх господарствах (ДП «Укрдорзв'язок», КК «Київавтодор», ТОВ Житлошляхбуд), а також використовуються в освітньому процесі в Черкаському державному технологічному університеті для підготовки здобувачів освітнього ступеня магістра зі спеціальностей 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» та 274 «Автомобільний транспорт», зокрема при викладанні навчальних дисциплін «Математичне моделювання транспортних систем», «Математичне моделювання

технічних систем в автотранспорті» на кафедрі автомобілів та технології їх експлуатації, та ПЗВО «ІТ СТЕП Університет» при підготовці здобувачів освітнього ступеня магістра зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», зокрема при викладанні навчальних дисциплін «Управління ІТ проєктами», «Дослідження даних».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу

[1] Sidliarenko A., Myronets I. Description of data consolidation process of the condition monitoring of road network in the information analysis system. *Scientific Journal of Polonia University*. 2021. Vol. 44. P. 298–303. DOI: 10.23856/4436

Наукові статті, опубліковані у наукових періодичних фахових виданнях України

[2] Сідляренко А. І. Математичні моделі будівництва, реконструкції та ремонту доріг за умов невизначеності. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2023. № 3 С. 113–127. DOI: 10.24025/2306-4412.3.2023.287845

[3] Сідляренко А. І. Модель оптимізації комплексу методів неруйнівного контролю для виявлення пошкоджень у дорожньому покритті та придорожній інфраструктурі. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Серія: Інформатика і моделювання. 2014. № 62 (1104). С. 109–116.

[4] Бірюков Д. С., Заславський В. А., Сідляренко А. І. Планування заходів з усунення аварійно-небезпечних ділянок на автомобільних дорогах. *Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб.* Київ: КНУБА, 2012. № 45, ч. 3. С. 19–23.

[5] Бірюков Д. С., Заславський В. А., Сідляренко А. І. Критична інфраструктура в умовах надзвичайних ситуацій: на прикладі мережі автомобільних доріг. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Серія: Інформатика і моделювання. 2012. № 62 (968). С. 3–7.

[6] Бірюков Д. С., Заславський В. А., Сідляренко А. І. Розвиток і впровадження інформаційно-аналітичного забезпечення в сфері керування автодорожнім господарством регіонів. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2012. № 8 (179), ч. 2. С. 10–16.

[7] Заславський В. А., Сідляренко А. І. Про регулювання викидів шкідливих речовин вздовж автомобільних доріг. *Автошляховик України: наук.-вироб. журн.* 2008. № 2. С. 40–43.

Публікації у матеріалах конференцій

[8] Сідляренко А. І. Удосконалення організаційно-інформаційної взаємодії в автодорожній галузі. *Датчики, прилади та системи – 2023*: зб. пр. Х МНТК, м. Черкаси, 2023 р. С. 122–125. URL: <https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/4561/1/Збірник%20матеріалів%20МНТК%20ДПС-2023.pdf#page=122>

[9] Сідляренко А. І. Застосування інформаційних технологій для моніторингу мережі автомобільних доріг. *Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-ОДЕСА-2020)*: IX міжнар. наук.-практ. конф., м. Одеса, 24–26 верес. 2020 р. С. 194–196.

[10] Сідляренко А. І. Консолідація даних стану мережі автомобільних доріг на різних етапах життєвого циклу. *Проблеми інформатики і моделювання (ПІМ-2020)*: XX міжнар. наук.-техн. конф., м. Харків – м. Одеса (Кароліно-Бугаз), 16–21 верес. 2020 р. С. 79.

[11] Заславський В. А., Сідляренко А. І. Проблеми консолідації різнотипних даних на стадіях життєвого циклу інформаційно-аналітичної системи моніторингу стану мережі автомобільних доріг. *Problems of Decision Making Under Uncertainties (PDMU-2014)*: XXIII Int. conf., Mukachevo, Ukraine, May 12–16, 2014. С. 106–107.

[12] Сідляренко А. І. Застосування різнотипних методів неруйнівного контролю для виявлення комбінацій пошкоджень у дорожніх покриттях та елементах дорожньої інфраструктури. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*: XXI міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 29–31 трав. 2013 р. Ч. IV. С. 45.

[13] Заславський В. А., Качура О. А., Сідляренко А. І. Визначення комплексу методів неруйнівного контролю дорожнього покриття. *Problems of Decision Making Under Uncertainties (PDMU-2013)*: XXI Int. conf., Shidnytsia, Ukraine, May 13–17, 2013. С. 137.

[14] Makhno M. F., Sidliarenko A. I. Geospatial data presentation of road infrastructure in Kherson region. *Theoretical and Applied Aspects of Cybernetics (ТААС)*: 2nd Int. sci. conf. of students and young scientists, Kyiv, Ukraine, Nov. 12–16, 2012. Р. 47–49.

[15] Бірюков Д. С., Заславський В. А., Сідляренко А. І. Критична інфраструктура в умовах надзвичайних ситуацій: на прикладі автомобільних доріг. *Проблеми інформатики і моделювання (ПІМ-2012)*: XII міжнар. наук.-техн. конф., м. Харків – м. Ялта, 24–30 верес. 2012 р. С. 10.

[16] Бірюков Д. С., Заславський В. А., Сідляренко А. І. Оптимальне планування будівництва та реконструкції автодоріг при скороченні обсягів

фінансування. *Контроль і управління в складних системах (КУСС-2012)*: XI міжнар. конф., м. Вінниця, 9–11 жовт. 2012 р. С. 221.

[17] Бірюков Д. С., Заславський В. А., Сідляренко А. І. Розвиток і впровадження інформаційно-аналітичного забезпечення в сфері керування автодорожнім господарством регіонів. *Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій в науці, освіті та економіці*: VI всеукр. наук.-практ. конф., м. Луганськ, 31 трав. – 01 черв. 2012 р. С. 19–21.

[18] Бірюков Д. С., Заславський В. А., Сідляренко А. І. Планування будівництва, реконструкції та ремонту доріг та капітальних споруд на них за умов невизначеності обсягів фінансування. *Problems of Decision Making Under Uncertainties (PDMU-2012)*: XIX Int. conf., Mukachevo, Ukraine, Apr. 23–27, 2012. С. 59–60.

[19] Сідляренко А. І. Створення інформаційно-аналітичної системи для прийняття управлінських рішень в транспортно-дорожніх комплексах. *Theoretical and Applied Aspects of Cybernetics (TAAC)*: Int. sci. conf. of students and young scientists, Kyiv, Ukraine, Febr. 21–25, 2011. С. 324–326.

[20] Шурупов В. О., Сідляренко А. І. Маршрутизація перевезень небезпечних вантажів автомобільним транспортом. *Problems of Decision Making Under Uncertainties (PDMU-2008)*: Int. conf., Kyiv – Rivne, Ukraine, May 12–17, 2008. С. 224–225.

АНОТАЦІЯ

Сідляренко А. І. Інформаційно-аналітична система моніторингу та аналізу ефективності управління автомобільними дорогами як складовою частиною критичної інфраструктури. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології. – Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, 2025.

Дисертація присвячена дослідженню математичних моделей та інформаційних технологій для моніторингу, аналізу та управління мережею автомобільних доріг як складової критичної інфраструктури держави.

Актуальність роботи зумовлена необхідністю ефективного планування заходів з підтримки дорожньої мережі, усунення аварійно-небезпечних ділянок та оптимального розподілу ресурсів на ремонтні та відновлювальні роботи в умовах обмеженого фінансування та підвищених ризиків.

Запропоновано комплекс математичних моделей, що включає моделі прогнозування стану доріг, планування ремонтних заходів, оптимізації маршрутів для перевезень і евакуації, а також оцінки ефективності прийняття рішень у системі дорожнього господарства. Розроблено інформаційно-аналітичну систему для підтримки прийняття управлінських рішень у сфері

дорожнього господарства, що дозволяє автоматизувати процеси аналізу стану доріг та розподілу фінансових ресурсів.

Наукова новизна дослідження полягає в розробці нових підходів до оптимізації дорожніх робіт, інтегрування геоінформаційних технологій у процес управління дорожньою мережею, а також у створенні математичних моделей, що забезпечують підвищення ефективності прийняття рішень.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання запропонованих підходів у державних і регіональних органах управління дорожнім господарством для покращення стану інфраструктури, підвищення безпеки дорожнього руху та зниження економічних витрат на експлуатацію автомобільних доріг.

Ключові слова: автомобільні дороги, аналіз потоків даних, будівництво, інформаційно-аналітична система, критична інфраструктура, моніторинг, модель планування, реконструкція, ефективність управління автомобільними дорогами, ремонт доріг та капітальних споруд.

ABSTRACT

Sidliarenko A. I. Information-analytical system for monitoring and analysis of road management efficiency as a component of critical infrastructure. – Qualification scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.13.06 – Information Technologies. – Cherkasy State Technological University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Cherkasy, 2025.

This dissertation is devoted to the study of mathematical models and information technology for monitoring, analysing, and managing the road network as a component of the state's critical infrastructure.

The relevance of the research is determined by the need for effective planning of repair and maintenance activities, elimination of hazardous road sections, and optimal allocation of limited resources under conditions of increased risks. Considering the scale and heterogeneity of data in road infrastructure management systems and the dynamic nature of information flows, priority tasks include monitoring the condition of public roads, renewing pavement, and implementing information technologies to improve management efficiency and resource distribution. A critical issue is the absence of a consolidated information-analytical system to support decision-making processes in the context of structural changes.

A comprehensive set of mathematical models is proposed, including models for road condition forecasting, planning of repair activities, optimization of transportation and evacuation routes, and assessment of road management decision-making efficiency. A method for building an information-analytical system for road infrastructure monitoring has been developed, which provides a modular and adaptive structure for data processing and visualization. An improved information technology

for monitoring and analysing management efficiency is proposed, supporting automation of road condition assessment and financial resource allocation processes.

The scientific novelty of the research lies in the development of mathematical models and an integrated method for supporting decision-making in road infrastructure management. The proposed models enhance planning efficiency, enable resource redistribution based on work completion and priority, reduce accident risks through cause-based utility functions, and improve damage detection via optimized configurations of non-destructive monitoring tools. An information-analytical system architecture with adaptive hierarchical data structures has been developed to support strategic and operational decisions using integrated visualization and classification methods.

The practical significance of the obtained results is reflected in the potential application of the proposed methods and algorithms by state and regional road management authorities to improve infrastructure conditions, enhance road safety, and reduce economic costs associated with road network operation.

Keywords: roads, data flow analysis, construction, information-analytical system, critical infrastructure, monitoring, planning model, reconstruction, road management efficiency, roadworks and infrastructure repair.

Підписано до друку 18.04.2025. Формат 60х90/16. Папір *офісн.*
Друк оперативний. Обл.-вид. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Зам. №25-42

Черкаський державний технологічний університет
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 896 від 16.04.2002 р.
Редакційно-видавничий відділ ЧДТУ
бульвар Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006.

Надруковано: ФОП Попадюк С.В.
Україна, 18000, м. Черкаси, бул. Шевченка, 389, оф. 27, тел. (067) 950-54-10