

Міністерство освіти і науки України
Черкаський державний технологічний університет

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

СІДЛЯРЕНКО АНДРІЙ ІГОРОВИЧ

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

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

05.13.06 – інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Науковий керівник
Заславський Володимир Анатолійович
доктор техн. наук, професор

Черкаси - 2025

АНОТАЦІЯ

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

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Черкаський державний технологічний університет Міністерства освіти і науки України, Черкаси, 2025.

Висока значущість для державного розвитку системи дорожнього господарства та однієї з її ключових ланок – мережі автомобільних доріг – відносить їх 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 це вимагає спеціального підходу до розвитку і підтримки автомобільних доріг як ключового елементу КІ, зокрема в контексті швидкого реагування та відновлення на прифронтових територіях.

Зважаючи на масштабність і різноманітність даних у системі управління дорожнім господарством, а також постійні динамічні зміни інформаційних потоків, виділяються 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.

Разом з тим, 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.

Вирішення зазначеної задачі потребує розробки комплексу проблемно-орієнтованих математичних моделей та алгоритмів, застосування інформаційних технологій для підтримки та підвищення прийняття управлінських рішень в автодорожньому господарстві, а тому розроблення комп'ютерних технологій і математичних методів візуалізації та класифікації об'єктів у системі автомобільних доріг є актуальною науково-практичною задачею.

У вступі обґрунтовується актуальність теми, зв'язок з науковими програмами, сформульовані мета і завдання дослідження, предмет, об'єкт і методи дослідження, відзначається наукова новизна й практичне значення, а також апробація отриманих результатів, характеризується структура дисертаційної роботи.

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, представлений 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 математичних моделей, що підвищують ефективність прийняття рішень для постійної підтримки функціонального стану доріг.

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

У другому розділі «Математичні моделі та алгоритми для моніторингу та аналізу стану доріг» розглянуто й обґрунтовано математичні моделі, методи, механізми оперативної оцінки ефективності та інформаційні технології

представлення результатів аналізу даних щодо стану об'єктів у системі автомобільних доріг України.

Зокрема, запропоновано математичне забезпечення для інформаційно-аналітичної системи автомобільних доріг.

Комплекс математичних моделей та методів для прийняття управлінських рішень охоплює:

- математичну модель забезпечення результативності прийняття управлінських рішень, пов'язаних з 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, яка полягає у виборі плану транспортування, що мінімізує людські втрати.

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 державного управління галуззю, результати аналізу об'єктів дорожньо-транспортного господарства та представлено розбиття задач, пов'язаних із цим, на різні рівні.

Визначено й описано основні елементи інформаційного обміну між організаційними підсистемами у дорожньо-транспортному господарстві та модель організаційно-інформаційної взаємодії. Описано схему руху даних.

Запропоновано архітектуру інформаційно-аналітичної системи моніторингу стану автодорожнього господарства та метод її побудови, розроблений таким чином, щоб допускати поетапне створення і впровадження в експлуатацію окремих складових частин, забезпечувати обмін даними з наявними інформаційними системами, іншими організаціями та установами. Запропоновано удосконалену інформаційну технологію.

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

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

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, розроблене з урахуванням принципу модульності. Розроблено підсистему управління модулями, як і підсистеми керування профілями користувачів та підсистему керування сховищем даних, що входять до ядра системи – набору програмних компонентів, що здійснюють основні функції та дозволяють здійснювати розширення функцій шляхом інсталяції модулів.

Також представлено результати розробки модулів геоінформаційної системи.

У висновках сформульовано результати дисертаційного дослідження.

У додатках наводяться акт встановлення та відгуки про результати виконання і впровадження результатів дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів. Для розв'язання задач моніторингу, планування, аналізу та оптимізації ефективності прийняття рішень

в автодорожній галузі розроблено комплекс математичних моделей, методів та алгоритмів, 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.

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, що дало змогу розробити програмне забезпечення, оцінювання ефективності якого 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, 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 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% та на 48% (за розрахункового показника 53%). Результати дисертаційного дослідження використано для вдосконалення теоретико-методологічного забезпечення освітнього процесу в Черкаському державному технологічному університеті та ПЗВО «ІТ СТЕП Університет».

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.

SUMMARY

Sidiarenko 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.

The high significance of the road management system for national development and its key component – the road network – classifies them as part of the state's critical infrastructure (CI) and necessitates a special status for ensuring safety and maintaining them in proper condition. In the context of active military operations in Ukraine, this requires a specialized approach to the development and maintenance of roads as a key CI element, particularly in the context of rapid response and restoration in frontline areas.

Given the scale and diversity of data in the road management system, as well as constant dynamic changes in information flows, the following priority tasks are highlighted: monitoring the condition of public roads, ensuring timely renewal of road surfaces and the implementation of information technologies to improve management efficiency, allocating resources to perform priority works.

At the same time, in conditions of structural changes and limited resources, the lack of a general consolidated system for information-analytical support of management decision-making processes is a fundamental drawback of the road management system.

Solving this task requires the development of a set of problem-oriented mathematical models and algorithms, as well as the use of information technologies to support and improve decision-making processes in road management monitoring. Therefore, the development of computer technologies and mathematical methods for

visualizing and classifying objects within the road system is a relevant scientific and practical challenge.

The introduction substantiates the relevance of the topic, its connection with scientific programs, formulates the goal and objectives of the study, the subject, object and methods of research, highlights the scientific novelty and practical significance, as well as the approval of the obtained results and characterizes the structure of the dissertation.

The first chapter, “Roads as a Component of the State’s Critical Infrastructure. The Current State of Industry Digitalization and Management Issues”, considers the national road network as an integral and significant part of the state’s critical infrastructure and presents an overview of the components of the road network.

Possible risks arising from traffic congestion, accidents, other incidents and roadworks, which are characterized by a change in the capacity of road network elements: complete blockage, reduction, or temporary stoppage of traffic, and their consequences are described. An overview of mathematical models that enhance decision-making efficiency for maintaining roads in functional condition is provided. Geographic information systems (GIS) are described as an effective means of visualizing data on the condition of road network objects.

The second chapter, “Mathematical Models and Algorithms for Road Condition Monitoring, Analysis, and Route Planning”, reviews and substantiates mathematical models, methods, mechanisms for operational efficiency assessment, and information technologies for presenting the results of data analysis on the condition of objects in the road system of Ukraine.

In particular, mathematical support for the information-analytical system of road management is proposed.

The complex of mathematical models and decision-making methods includes:

- a mathematical model for supporting decision-making in road construction, reconstruction, and repair planning based on expert assessments of importance;
- a mathematical model for determining safety measures to reduce accident risk on hazardous road segments;

- a mathematical model for configuring non-destructive testing equipment to detect various types of road damage;
- a mathematical model for planning the evacuation of people by road vehicles, aimed at minimizing human losses.

The third chapter, “Method for Constructing an Information-Analytical System for Road Management Monitoring and Data Flow Analysis”, describes the scheme of information exchange between units of organizational structure of state governance in the sector, presents the results of the analysis of road transport infrastructure objects, and provides a breakdown of related tasks across different levels.

The key elements of information exchange between organizational subsystems within the road transport infrastructure along with a model of organizational and informational interaction are identified and described. The data flow scheme is presented.

The architecture of the information-analytical system for monitoring the condition of the road infrastructure is proposed, as well as the method of its construction, developed in such a way as to allow for phased creation and implementation of individual components, to enable data exchange with existing information systems, other organizations, and institutions. An improved information technology is also proposed.

The fourth chapter, “Implementation of the Information-Analytical System for Road Management Monitoring”, addresses the issues of developing an information and analytical system for road infrastructure monitoring.

The life cycle of tasks and processes related to the construction, repair, and reconstruction of road infrastructure objects is described.

Based on the proposed model of organizational and informational interaction in the road sector, software is developed for the automated generation of general reporting documents based on data received from regional road services. The software is designed according to the modularity principle. Subsystems for module management, user profile management, and data storage management have been developed as part

of the system's core – a set of software components that perform basic functions and allow for extension through module installation.

The results of the development of geographic information system (GIS) modules are also presented.

The conclusions summarize the dissertation research results.

The appendices include the implementation verification act and feedback on the research findings and their application.

Scientific novelty of the obtained results. To solve the problems of road condition monitoring, planning, analysis, and optimization of decision-making efficiency, a complex of mathematical models, methods, and algorithms has been developed. It includes the following scientifically substantiated results:

- a mathematical model for ensuring the effectiveness of decision-making in road construction, reconstruction, or repair planning has been improved, which, unlike existing models, is based on expert assessment of importance and, through the introduction of a work completion indicator, allows for effective redistribution of funds between ongoing and planned works in accordance with the project schedule;

- a mathematical model for determining means and measures for accident reduction has been developed for the first time, which, through the introduction of a utility (accident) function for each cause of traffic accidents, enables planning for the elimination of hazardous road sections and the reduction of the number of such accidents, including those with fatal consequences;

- a mathematical model for assembling non-destructive testing tools for monitoring the condition of roads has been further developed, which is supplemented with the selection of technological options for combining tools of different natures and takes into account the specifics of the monitored objects, which allows for improved detection of damages on such roads and the collection of objective information about damage and its location to populate decision-support databases for these objects;

- a method for constructing an information-analytical system for road infrastructure monitoring has been developed for the first time, which, through the use

of the principle of modularity and an adaptive hierarchical data structure, ensures the processing and presentation of information for strategic and operational decision-making and takes into account the combination of methods for object visualization and classification within the road network system.

The results of the dissertation were implemented at the SE “Ukrdorzviazok” in the form of an information-analytical system for the accumulation, processing, analysis, and exchange of data regarding the condition of infrastructure objects (roads of various categories and jurisdictions, as well as major engineering structures), their construction, reconstruction, capital and routine repairs across regions, as well as for planning and technical accounting of road repairs. An algorithm was developed for processing and presenting information on economic indicators in the road sector, which made it possible to create specialized software; its effectiveness, assessed at “Zhytloshlyakhbud” LLC demonstrated at least a twofold reduction in the time required to retrieve data in various reports. The algorithm for the allocation of financial resources between ongoing and future tasks according to the project implementation schedule was improved; its application by the MC “Kyivavtodor” led to a 3% reduction in average costs related to attracting funding for construction projects. Simulation of the proposed approach to the configuration of non-destructive diagnostic tools for roads and artificial structures confirmed the potential to increase the quality of damage detection on road surfaces by up to 8.53%. Implementation of the proposed risk mitigation plan and set of measures on two pilot segments of the road network resulted in a reduction of road accidents by 52% and 48% (compared to the forecasted value of 53%). The dissertation results are also used to improve the theoretical and methodological support of the educational process at Cherkasy State Technological University and PI “IT STEP University”.

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

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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

[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 В. 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 (TAAC): 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): 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.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень	19
ВСТУП.....	20
РОЗДІЛ 1. АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ ЯК СКЛАДОВА ЧАСТИНА КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЕРЖАВИ. СУЧАСНИЙ СТАН ІНФОРМАТИЗАЦІЇ ГАЛУЗІ ТА ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ	32
1.1. Мережа автомобільних доріг як складова частина критичної інфраструктури дорожнього господарства.....	32
1.2. Огляд задач управління розвитком мережі автомобільних доріг, які потребують застосування математичних моделей та методів для підтримки функціонального стану та ефективного використання ресурсів	38
1.3. Огляд інформаційних та програмних засобів для забезпечення моніторингу та процесів управління дорожнім господарством.....	42
1.4. Особливості інформаційного обміну та інформатизації в дорожньо- транспортному комплексі України	46
1.5. Геоінформаційні системи як спосіб аналізу та представлення інформації щодо стану об'єктів мережі автомобільних доріг	48
Висновки до розділу 1	51
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗУ СТАНУ ДОРІГ	53
2.1. Математичні моделі планування та підвищення якості і безпеки доріг .	53
2.1.1. Планування будівництва, реконструкції та ремонту доріг та капітальних споруд на них за умов невизначеності та скорочення обсягів фінансування	53
2.1.2. Планування заходів з метою усунення аварійно небезпечних ділянок на автомобільних дорогах.....	59
2.1.3 Оптимізація комплексу різнотипних методів неруйнівного контролю для виявлення пошкоджень у дорожньому покритті та складових	

дорожньої інфраструктури.....	65
2.2. Планування перевезення осіб автомобільними транспортними засобами для евакуації під час надзвичайних ситуацій з населених пунктів, що знаходяться в зоні ураження	72
Висновки до розділу 2	76
РОЗДІЛ 3. МЕТОД ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА ТА АНАЛІЗ ПОТОКІВ ДАНИХ В НІЙ	78
3.1. Схема інформаційного обміну в організаційній структурі дорожнього господарства	78
3.2. Модель організаційно-інформаційної взаємодії в автодорожній галузі .	81
3.3. Архітектура інформаційно-аналітичної системи моніторингу стану автодорожнього господарства.	89
Висновки до розділу 3	101
РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА.....	103
4.1. Загальний опис інформаційно-аналітичної системи моніторингу дорожнього господарства.....	104
4.2. Вибір компонентів програмного забезпечення системи моніторингу дорожнього господарства.....	109
4.3. Програмні компоненти обробки геопросторових даних стану об'єктів мережі автомобільних доріг	123
Висновки до розділу 4	135
ВИСНОВКИ.....	136
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	139
Додаток 1. Акт встановлення	149
Додаток 2. Відгуки про виконання НДР.....	150
Додаток 3. Довідки про впровадження.	153

Перелік умовних позначень

БД	База даних
ГІС	Геоінформаційна система
ДТП	Дорожньо-транспортна пригода
ІАС	Інформаційно-аналітична система
КІ	Критична інфраструктура
МНК	Метод неруйнівного контролю
НС	Надзвичайна ситуація
СППР	Система підтримки прийняття рішень
Укравтодор	Державне агентство автомобільних доріг України, з січня 2023 року Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Висока значущість для державного розвитку системи дорожнього господарства та однієї з її ключових ланок – мережі автомобільних доріг – відносить їх до складу критичної інфраструктури (КІ) держави [1], цим обумовлена потреба особливого статусу щодо забезпечення безпеки та підтримання у належному стані [2]. В умовах активних воєнних дій на території України це вимагає спеціального підходу до розвитку і підтримки автомобільних доріг як ключового елементу КІ, зокрема в контексті швидкого реагування та відновлення на прифронтових територіях.

Своєю чергою відкритість економіки багатьох країн світу стимулює розвиток і активізацію торгових відносин та, як результат, розширення мережі транспортних зв'язків, доріг, комунікацій. Це сприяє розвиненню системи транспортування вантажів та пасажиропотоків, що в Україні здійснюється в основному наземним транспортом. За даними Державної служби статистики, у 2021 р. 81 % від загального обсягу перевезень вантажів здійснювався наземним транспортом, зокрема майже 30 % – автомобільним, у 2022 р. перевезення автомобільним транспортом становили 69 % від загального обсягу [3]. Тому розвиток системи дорожнього господарства країни та придорожньої інфраструктури є одним із важливих чинників сталого економічного та регіонального розвитку [4].

Мережа автомобільних доріг загального користування в Україні за протяжністю, щільністю та конфігурацією забезпечує місцеві транспортні зв'язки, але, наприклад, для забезпечення міжнародних транспортних зв'язків з високими швидкостями, комфортом та безпекою не завжди відповідає міжнародним стандартам. Станом на 2019 р., в Україні понад 60 % мостів на дорогах загального користування не відповідали за технічними параметрами вимогам сучасних норм і фактичному навантаженню [3].

Останніми десятиліттями в Україні все більш відчутним є відставання в розвитку транспортної мережі і, перш за все, в розвитку автомобільних доріг загального користування, від темпів зростання кількості автомобілів у країні. Незадовільним є транспортно-експлуатаційний стан автомобільних доріг: 51,1 % не відповідає вимогам за рівністю, 39,2 % – за міцністю. Середня швидкість руху на автодорогах України у 2-3 рази нижча, ніж у західноєвропейських країнах. Лише через неякісний стан доріг Україна щорічно втрачає 32 млрд. грн., або 3 % валового внутрішнього продукту (ВВП) [3]. Водночас із цим разом з розвитком мережі автомобільних доріг зростають і соціально-економічні проблеми розвитку доріг, такі як зростання аварійності на дорогах, збільшення викидів парникових газів в атмосферу тощо.

Таким чином, відсутність належного фінансування та планового підходу до ремонту і модернізації автодоріг призводить до їхнього подальшого погіршення, збільшення витрат на експлуатацію та підвищення аварійності. Це вимагає комплексного підходу до розвитку дорожньої інфраструктури, що включає стратегічне планування, використання сучасних технологій моніторингу стану покриття та підвищення ефективності розподілу ресурсів. Це можна забезпечити за умови системного підходу.

Зважаючи на це, а також наміри України стати частиною Європейського союзу, однією з першочергових задач є створення відповідних міжнародним вимогам автомобільних доріг міжнародного значення та придорожньої інфраструктури з доведенням якості дорожнього покриття, пропускної спроможності до показників, що відповідають європейським стандартам [5].

Для забезпечення України автомобільними дорогами на рівні європейських країн необхідно побудувати та модернізувати майже 200 тис. км, зокрема понад 60 % на регіональному рівні [5]. Для налагодження міждержавних зв'язків необхідне будівництво автомагістралей світового рівня з бетонним або асфальтобетонним покриттям і багатостороннім рухом.

Зважаючи на масштабність і різноманітність даних у системі управління дорожнім господарством, а також постійні динамічні зміни інформаційних потоків, виділяються 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.

Для виконання цих та багатьох інших завдань одним із пріоритетних напрямів розвитку системи управління дорожнім господарством визначено реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування, зокрема шляхом впровадження інформаційних технологій, що базуються на системному багатомодельному підході, який об'єднує різні сфери знань та алгоритми обробки різнотипних великомасштабних масивів даних.

Створення ІАС моніторингу для прийняття рішень в управлінні державними дорогами – одна з основних складових європейської та світової інтеграції України [6, 7].

Вирішення цього завдання вимагає використання як науково-практичних напрацювань українських спеціалістів, так і інструментів, які пов'язані з комп'ютерними системами, програмними компонентами та відповідають сучасним світовим тенденціям. Початок розвитку вітчизняних розробок з проєктування автоматизованих систем управління та ІАС поклали дослідження, проведені в Інституті кібернетики НАН України імені В. М. Глушкова, які продовжили у своїх роботах О. М. Верес, М. І. Шлезінгер, А. А. Шиян, Д. В. Ланде, В. Г. Путятін, О. Г. Додонов [8, 9]. 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 [10–14].

Ролі аналітичних інструментів у перетворенні даних на практично застосовну інформацію, необхідну для прийняття рішень у реальному часі, в інтелектуальних транспортних системах та важливості міждисциплінарного підходу в розробці та впровадженні таких систем приділяють увагу в своїх роботах Е. Апон, М. Чоудхурі, С. Хан, М. Рахман [15].

Математичні моделі та методи, які використовуються для розв'язання задач теорії прийняття рішень, являють собою потужний математичний апарат, а розвиток обчислювальної техніки та інформаційних технологій дозволяє реалізовувати його у вигляді програмних засобів підтримки та супроводження ІАС.

Розв'язування математичних задач оптимізації, які описані у дисертації, здійснюється із застосуванням методів послідовного аналізу варіантів (започаткований у роботах В. С. Михалевича, Н. З. Шора та розвинений для дискретних задач оптимізації науковцями Інституту кібернетики НАН України імені В. М. Глушкова та факультету кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка), метаевристичних алгоритмів (яким у своїх роботах приділяли особливу увагу В. П. Шило, Л. Ф. Гуляницький) [16].

У дорожній галузі значний внесок у розвиток задач оптимізації зробила група науковців Національного транспортного університету під керівництвом С. С. Кизими [12], якою було розроблено підхід до планування ремонтів та реконструкції дорожнього покриття на основі техніко-економічного аналізу. Н. В. Смірнова, В. В. Філіпов досліджували математичні методи планування та оптимізації заходів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг в умовах невизначених ресурсів [17], дослідженням моделей технічного обслуговування дорожнього одягу займалися В. В. Мозговий, А. М. Онищенко, М. В. Гаркуша, О. О. Білан [18]. У дослідженнях С. Радопулу та І. Брілакиса розглядається підхід до вдосконалення моніторингу стану об'єктів дорожньої інфраструктури, зокрема в контексті точності, неповторюваності даних та зниження витрат, а

також узгодження автоматизованих систем моніторингу з нормативними вимогами та очікуваннями замовників [19].

Значний внесок у розроблення процесів оптимізації, моніторингу та інформаційних систем управління для інфраструктури автомобільних доріг зробила група науковців проєкту OMICRON, що складалася з Р. Мартінес, А. Ансуатегі, Х. Лопес, С. Рабадан, Х. Соліс, якою було розроблено підхід до планування ремонтів та реконструкції об'єктів дорожньої інфраструктури на основі використання цифрових двійників та методів штучного інтелекту [20].

Алгоритми для аналізу та програмні засоби, які обробляють дані з бази стану об'єктів будівництва, реконструкції, ремонту та поточного утримання автомобільних доріг мають гарантувати цілісність, несуперечливість, актуальність і доступність інформаційних даних. У зв'язку з цим виникає необхідність у розробці програмних компонент для консолідації та агрегації даних із різних інформаційних джерел системи управління дорожнім господарством: регіональних дорожніх служб, структурних підрозділів, інших державних та недержавних організацій. Такі компоненти можуть включати механізми автоматизованого або напівавтоматизованого аналізу ефективності виконаних робіт, що дозволить оцінювати їх вплив на загальний стан дорожньої мережі та забезпечувати підтримку прийняття управлінських рішень на різних рівнях.

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 [21].

Фрагментарність існуючих інформаційних систем, відсутність уніфікованих форматів даних та обмежені можливості інтеграції між різними рівнями управління ускладнюють оперативне отримання достовірної інформації

та значно знижують ефективність планування і виконання робіт у дорожній галузі. Це також призводить до підвищених витрат на підтримку і оновлення розрізнених систем, що зменшує загальну продуктивність галузі та ускладнює реалізацію стратегічних програм модернізації та розвитку транспортної інфраструктури. А 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 [7].

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

Основні результати дисертаційного дослідження отримано при виконанні наукових досліджень, що виконувались у рамках тематичних планів Укравтодору.

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, автором: у працях [1, 11] – проаналізовано структуру інформаційних потоків даних моніторингу стану об'єктів будівництва, ремонтів та реконструкції дорожньої мережі, запропоновано модель консолідації даних, у праці [4] – запропоновано математичну модель визначення засобів і заходів щодо зменшення аварійності для планування процесу усунення аварійно-небезпечних ділянок автомобільної дороги, у працях [5, 15, 20] – вдосконалено 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] – проаналізовано модель організаційно-інформаційної взаємодії в дорожній галузі, взято участь у розробленні архітектури інформаційно-аналітичної системи та інформаційної технології для інформаційно-аналітичного забезпечення в сфері керування автодорожнім господарством, зокрема із застосування геоінформаційного сервісу, запропоновано структуру інформаційно-аналітичної системи, у праці [7] – вдосконалено математичну модель та виконано розрахунки, описано результати, у праці [13] – вдосконалено математичну модель задачі оптимізації комплексу методів неруйнівного контролю для виявлення дефектів у дорожньому покритті та придорожній інфраструктурі, у працях [16, 18] – вдосконалено 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. Мукачево, 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.

РОЗДІЛ 1. АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ ЯК СКЛАДОВА ЧАСТИНА КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЕРЖАВИ. СУЧАСНИЙ СТАН ІНФОРМАТИЗАЦІЇ ГАЛУЗІ ТА ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ

У цьому розділі дисертаційної роботи державна мережа автомобільних доріг розглядається як невіддільна та вагома частина КІ держави [1, 2, 22–24], представлений огляд складових мережі автомобільних доріг [25–27].

Моніторинг мережі автомобільних доріг як частини КІ є багатоаспектною задачею, що охоплює забезпечення безпеки руху на дорогах, контроль та діагностику їх стану, інформаційний супровід учасників дорожнього руху та інформатизацію системи моніторингу й управління мережею.

Описуються можливі ризики, що можуть статися через затори, аварії, інші пригоди, проведення робіт на дорозі тощо та характеризуються зміною пропускної спроможності елементів дорожньої мережі: повне перекриття, зменшення або тимчасова зупинка руху, та їх наслідки. Проводиться огляд математичних моделей, що підвищують ефективність прийняття рішень для постійної підтримки функціонального стану доріг.

Описуються ГІС як ефективний спосіб візуалізації даних стану об'єктів мережі автомобільних доріг.

1.1. Мережа автомобільних доріг як складова частина критичної інфраструктури дорожнього господарства

Транспорт, автомобільні дороги та придорожня інфраструктура в розвинених країнах світу, як відомо, відносяться до так званої КІ держави [2, 22, 23]. Під КІ розуміють об'єкти та системи, які мають значне загальнодержавне значення, зупинка або обмеження функціонування яких призвело б до: катастрофічних наслідків для здоров'я і життя людей, до тривалих порушень громадської безпеки, порушило б нормальне функціонування економіки, органів влади та підірвало б віру населення в економічні та політичні інститути [1, 2, 22,

28]. Така інфраструктура, в разі її незахищеності, може бути вразливою до дій, спричинених діяльністю людини, катастроф природного характеру, а також терористичних атак.

Одне з головних завдань КІ – визначення тих секторів, які повинні бути першочергово захищені [2]. Захист КІ ґрунтується на заощадженні функціональності, забезпеченні стійкості та надійності її елементів. Це питання розподілу ресурсів, але в широкому розумінні, такому, що виходить за рамки простого цільового розподілу фінансування [29, 30]. Такий розподіл являє собою стратегію, спрямовану на захист життєво важливих секторів. Це завдання є надзвичайно складним через розміри і складність структури кожного окремого сектора, а, крім того, кожний сектор взаємопов'язаний з іншими, що ще більш ускладнює завдання.

КІ являє собою масив матеріальних активів, виробничих потужностей і засобів доставлення, що класифіковані та розбиті на різні сегменти із взаємозв'язками [2]. Згідно з [28] до КІ відносяться 11 секторів державного управління. До елементів КІ відносимо такі структури державного управління, як енергетичні системи, транспортні мережі, нафто- й газопроводи, системи супутникового зв'язку, служби екстреної допомоги населенню, служби реагування на надзвичайні ситуації, безпосередньо державні органи влади, високотехнологічні та оборонні підприємства, об'єкти промисловості, дослідження космосу тощо. Об'єкти КІ відносяться в основному до суспільно-політичної та економічної сфери, але своєю вразливістю ставлять під загрозу життєдіяльність населення загалом, що належить до питань загальнодержавного значення.

Весь масив елементів КІ можна поділити на природну частину, частину, створену людиною, і віртуальну частину [1]. Мережа автомобільних доріг як сегмент КІ буде включати елементи з усіх частин. Це і придорожні території частини доріг, що проходять за межами населених пунктів, наприклад, придорожні садження, ліси, поля, що будуть являти собою елементи природної частини; безпосередньо дороги, штучні споруди, телекомунікаційні та

електромережі, що проходять поруч з дорогами – елементи зі складу частини, що створена людиною. До віртуальної частини будуть відноситись електронні та інформаційні системи, що використовуються для збору, обробки та зберігання даних стану дорожніх об'єктів у системі дорожнього господарства.

У роботах [31, 32] описано класифікації сегментів захисту елементів КІ, які можна представити у загальному вигляді таким чином: фізичний (визначає структуру захисту інженерно-фізичної області зв'язків між елементами КІ), інформаційний (визначає область інформаційного обміну, зокрема електронного, між елементами КІ), геопросторовий (визначає систему спільного розташування елементів КІ в одній місцевості), процедурний (визначає негативні чинники впливу, які можуть з'явитися при зміні або пошкодженні елемента КІ під час небезпеки, що виникла, для кожного іншого елемента КІ), соціальний (визначає комплекс заходів захисту, що залежать від соціальних чинників, таких як громадська думка, суспільна довіра, страх та ін., навіть за відсутності взаємозв'язків із фізичним сегментом).

Детальніше розглядаючи мережу автомобільних доріг України, зазначимо, що дороги, які входять до її складу, можна класифікувати на такі групи (рис. 1.1) [25, 26]:

- автомобільні дороги загального користування;
- вулиці та дороги міст та інших населених пунктів;
- відомчі (технологічні) автомобільні дороги (внутрішньогосподарські технологічні дороги, що знаходяться у власності юридичних або фізичних осіб);
- автомобільні дороги на приватних територіях (автомобільні дороги, що знаходяться на територіях, власниками яких є юридичні (недержавні) або фізичні особи).

У дисертаційній роботі йдеться лише про дороги загального користування. Автомобільні дороги загального користування поділяються на: дороги державного значення та місцевого значення. В свою чергу до доріг державного

значення відносяться міжнародні, національні, регіональні та територіальні (з 2011 р.) дороги, а до доріг місцевого значення – обласні та районні.



Рис. 1.1. Структурна схема класифікації мережі автомобільних доріг

Джерело: складено автором на основі [25,26]

Відповідно до класифікації [26] до міжнародних доріг відносять міжнародні транспортні коридори, дороги, що входять до Єдиної європейської транспортної системи [33]; до національних – автомобільні дороги, які не належать до міжнародних, але збігаються з національними транспортними коридорами, та дороги, які з’єднують міста Київ та Севастополь, адміністративні центри областей та АР Крим, великі промислові та культурні центри країни між собою; до регіональних – дороги, які знаходяться на території більш ніж однієї адміністративно-територіальної одиниці вищого рівня та з’єднують їх транспортними зв’язками, а також дороги, які з’єднують основні міжнародні автомобільні пункти пропуску через державний кордон, морські порти, аеропорти, об’єкти національної культурної спадщини та курортні зони з міжнародними та національними дорогами; до територіальних – автомобільні дороги, які з’єднують міста обласного значення та адміністративні центри

районів між собою та з адміністративними центрами АР Крим і областей, а також з'єднують основні аеропорти, морські та річкові порти, залізничні станції, культурні та курортні центри, прикордонні автомобільні пункти пропуску з дорогами державного значення; до обласних – дороги, які з'єднують адміністративні центри АР Крим та областей з іншими населеними пунктами в межах однієї адміністративно-територіальної одиниці вищого рівня та із залізничними станціями, аеропортами, річковими портами, пунктами пропуску через державний кордон, місцями відпочинку і не належать до доріг державного значення; до районних – дороги, які з'єднують населені пункти в межах району між собою, з адміністративним районним центром, підприємствами, об'єктами культурного значення, іншими дорогами загального користування.

Загальна протяжність автомобільних доріг України загального користування становить 164,7 тис. км, зокрема [3, 25]:

- міжнародні дороги державного значення – 9,3 тис. км (5,6 %);
- національні дороги державного значення – 7,2 тис. км (4,4 %);
- регіональні дороги державного значення – 9,1 тис. км (5,5 %);
- територіальні дороги державного значення – 21,2 тис. км (12,9 %);
- обласні дороги місцевого значення – 50 тис. км (30,4 %);
- районні дороги місцевого значення – 67,9 тис. км (41,2 %).

Забезпечення безпеки мережі автомобільних доріг як частини КІ [24] є багатоаспектною задачею, що включає забезпечення безпеки руху на дорогах, контроль та діагностику їх стану, забезпечення якості дорожнього полотна та стабільної пропускної спроможності доріг, мінімізацію кількості та частоти появи ДТП, інформаційний супровід учасників дорожнього руху та математичне, програмне, інформаційне забезпечення СППР для ефективного функціонування мережі [34, 35]. Умови воєнного стану або розміщення автомобільних доріг на прифронтових територіях можуть накладати додаткові обмеження на можливості забезпечення безпеки [36].

Ефективне управління мережею автомобільних доріг дасть значний поштовх для розвитку транспортних коридорів та регіонального розвитку [4].

Неналежне приділення уваги до мережі в свою чергу, зважаючи на її критичність, уповільнює розвиток економіки держави. Наприклад, у [37] автори наголошують, що інформаційно-аналітична система державного управління, частиною якої має бути інформаційно-аналітична система моніторингу мережі автомобільних доріг, буде сприяти підвищенню економічного зростання, обороноздатності, соціально-політичної стабільності та іміджу України. А однією з пріоритетних задач державної цільової програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення визначається підвищення якості автомобільних доріг, розбудова придорожньої інфраструктури та забезпечення безпеки руху [5, 27]. Тому моніторинг стану дорожнього покриття та методи покращення його якості є важливими аспектами для забезпечення безпеки та комфорту дорожнього руху. Системний підхід до покращення дорожнього покриття і безпеки на дорогах включає не лише технічні аспекти, але й організаційні та управлінські заходи. Це може включати розробку ефективних стратегій планування та управління ремонтними роботами, впровадження систем моніторингу та звітності, навчання водіїв правил безпечного руху та інші заходи [6, 38]. Як результат підвищення рівня безпеки на дорогах можливе за умови системного підходу до моніторингу, ремонту та управління дорожнім покриттям. Важливою складовою такого підходу є інтеграція різних методів та засобів.

Окремим важливим елементом КІ також є система освіти, яка готує відповідних фахівців [39]. Як значуща частина забезпечення національної безпеки захист КІ вимагає навчання кваліфікованих фахівців та професіоналів у конкретних секторах, а також професіоналів для аналізу ризиків, розробки структури партнерських зв'язків між державними, місцевими, територіальними органами влади та приватним сектором. Тобто для захисту мережі автомобільних доріг як складової частини КІ необхідні як фахівці стратегії управління ризиками для стримування загроз, пом'якшення вразливостей і зведення наслідків до мінімуму, так і фахівці, які забезпечать стабільну роботу мережі – збереження пропускної спроможності доріг, зменшення аварійності, підвищення якості та

довговічності дорожнього покриття та штучних споруд тощо, а також фахівці, які проводитимуть навчання, перепідготовку та підвищення кваліфікації для вищезазначених осіб.

1.2. Огляд задач управління розвитком мережі автомобільних доріг, які потребують застосування математичних моделей та методів для підтримки функціонального стану та ефективного використання ресурсів

Серед актуальних задач інформатизації процесу управління розвитком мережі автомобільних доріг, які потребують вирішення, виокремлюємо: задачу планування ремонтів та реконструкції дорожнього полотна, будівництво та безпеку придорожньої інфраструктури [5, 30, 40], що включає аналіз аварійно-небезпечних ділянок на дорогах та вибір найбільш ефективних засобів і способів їх усунення [41]; маршрутизацію та супровід перевезень небезпечних вантажів автомобільним транспортом [42]; планування маршрутів міжміського автомобільного транспорту, об'їзних маршрутів для оптимального збереження автомобілепотоків [43], зокрема під час надзвичайних ситуацій та евакуації населення [44-46]. Окремою задачею слід відзначити задачу аналізу економічних даних стану автомобільних доріг [5, 17, 27, 30].

Задача планування ремонтів та реконструкції доріг. Актуальність задачі полягає в тому, що питання якості дорожнього покриття є питанням як будівництва та ремонту автомобільних доріг, так і безпеки руху на них.

Для оптимального планування постановка задачі оптимізації має враховувати низку критеріїв, таких як: соціально-економічна значущість робіт [30], безпека руху [34], усунення аварійно-небезпечних ділянок на дорогах [47], внесок у розвиток транспортних потоків, міждержавних транспортних коридорів, оцінка економічного ефекту на розвиток регіону (території) [5], наявність частки фінансування з інших джерел (не з Державного бюджету України, взагалі небюджетні кошти) [17], належність об'єкта до переліку пріоритетних завдань, які висуває уряд [27].

Так, у [48] для побудови статистичної моделі взаємозв'язків подібних критеріїв, пов'язаних із дорожніми умовами, пропонується введення в метод коефіцієнтів аварійності додаткових вартісних коефіцієнтів, що дасть змогу встановити ділянки доріг, на яких потрібно проводити заходи щодо ремонту або реконструкції у першу чергу. А для того, щоб визначити не лише ділянку, але й які саме заходи треба проводити на цій ділянці, тобто визначити характер робіт з усунення осередків аварійності, пропонується вигляд мультиплікативної функції як варіант математичної моделі, яка своїми параметрами визначала б характер цілеспрямованих впливів на дорожні умови.

Задача визначення та ремонту аварійно-небезпечних ділянок через значні людські жертви та матеріальні втрати, до яких може призвести її неналежне виконання, є однією із найбільш актуальних задач, коли розглядаються питання забезпечення безпеки учасників дорожнього руху. За даними Патрульної поліції України [49], на початок 2021 р. зафіксовано 236 місць концентрації ДТП, що призвели до фатальних наслідків та значних матеріальних збитків. Тільки за перше півріччя 2021 р. сталося 86 459 ДТП, що на 19,5 % більше, ніж за аналогічний період 2020 р. В цих ДТП загинуло 415 осіб і травмовано 3696 осіб, тобто в середньому за добу на автодорогах нашої країни втрачають життя 7–8 осіб, причому кожний третій загиблий у ДТП – молода людина віком до 29 років. Ці негативні статистичні дані визначають актуальність розробки нових підходів і науково-обґрунтованих моделей та методів ризик-менеджменту для зменшення кількості ДТП і мінімізації тяжкості та фатальності їх наслідків.

Серед заходів із підвищення безпеки руху можна виділити дві основні групи: організаційно-технічні та заходи, пов'язані з людським фактором. До перших відносяться національні вимоги до безпеки дорожнього руху, покращення стану дорожнього покриття та освітлення доріг, будівництво додаткових смуг, перехресть та переходів, а також розвиток придорожньої інфраструктури для відпочинку водіїв та пасажирів [50]. Технічні рішення, такі як впровадження напіваавтоматизованих систем допомоги водіям, автоматичне

екстрене гальмування або утримання в смузі руху, показали значне зниження ризику аварій [51].

До заходів, пов'язаних із людським фактором, можна віднести контроль за дотриманням технічних норм транспортних засобів, дотриманням норм безпеки водія (використання ременів безпеки, шоломів та іншого захисного обладнання), регулювання поведінки водіїв та вимоги до їх професійної підготовки. Важливо також контролювати час керування транспортними засобами для водіїв вантажівок і автобусів, що дозволяє знижувати ризик ДТП через втому [52]. Крім того, встановлення відеоспостереження та обмежень швидкості відіграє вирішальну роль у зниженні кількості аварій на дорогах [51]. Інформаційні кампанії також є важливим елементом забезпечення безпеки руху, причому, за даними [53], позитивно забарвлені повідомлення мають більший вплив на зміну небезпечної поведінки водіїв, ніж негативно забарвлені.

Для задач маршрутизації, які включають супровід перевезень небезпечних вантажів автомобільним транспортом, планування маршрутів міжміського автомобільного транспорту, об'їзних маршрутів для оптимального збереження автомобілепотоків тощо, маршрут може розглядатися як послідовна система, яка складається із ділянок, що мають фіксовані значення коефіцієнтів аварійності (комплексна оцінка ймовірності виникнення на ділянці дорожньо-транспортної пригоди або іншої події, що може сповільнити або зупинити рух, пропускної спроможності у різні часові проміжки тощо) та оцінки важливості ділянки (кількості об'їзних, резервних маршрутів для цієї ділянки). Наприклад, у [54] безпека перевезень небезпечних вантажів розглядається як комплексне питання, що потребує створення компетентного органу у сфері дорожнього перевезення небезпечних вантажів, який проводитиме моніторинг та оцінку аварійності, виникнення можливих ризиків, пов'язаних із транспортуванням та вантажем, можливих еколого-економічних збитків, класифікацію вантажу за ступенями небезпеки, відповідну оцінку ступеня та оцінку відповідності транспортних засобів.

Вимоги до функціонування інфраструктури реагування на надзвичайні ситуації встановлюють підвищені стандарти та специфічні обмеження, які необхідно враховувати при розробці планів реагування, створенні математичних моделей, методів і програмного забезпечення для систем планування та реагування на НС. При виникненні техногенних (наприклад аварія на об'єкті підвищеної небезпеки) або природних (таких як повені, сильні снігопади і т. д.) катастроф автомобільні дороги стають ключовим засобом доставки аварійних бригад, рятувальників, медичного обладнання та персоналу, а також інженерно-технічних і пасажирських транспортних засобів.

Додаткової актуальності набуває задача маршрутизації та безпеки в умовах бойових дій [55]. Виклики, з якими стикається логістика під час бойових дій, зокрема проблеми фізичного знищення транспортної інфраструктури, нестабільності регіонів через обстріли, дефіцит фахівців і ресурсів, потребують оперативного перепланування маршрутів для забезпечення безпечного перевезення особливо небезпечних вантажів, де важливою є не тільки аварійність маршрутів, а й екологічні та економічні ризики.

Розв'язуючи задачу визначення маршруту пересування автотранспортних засобів під час НС, зокрема для евакуації населення, необхідно мінімізувати ризик поранення людей, враховувати характеристики зараження території, наприклад отримані за допомогою моделі просторового переносу отруйних речовин з об'єктів підвищеної небезпеки, пропускну спроможність автомобільних доріг залежно від умов та розвитку ситуації, наявність автотранспортних засобів і палива в населених пунктах, чисельність населення та кількість місць тимчасового розміщення евакуйованих осіб. Для мінімізації часу прибуття рятувальних бригад, наприклад, можна застосовувати методику, описану в роботі [56], яка ґрунтується на теорії графів, а для розрахунку радіаційного зараження місцевості внаслідок аварії можна використати моделі й програмні комплекси, що розроблені авторами роботи [57].

Актуальними задачами також є *задачі аналізу економічних даних*: здійснення аналізу статистичних даних у різних часових розрізах (щотижня,

щомісяця, щокварталу, щорічно), а також значної кількості об'єктів дорожньої інфраструктури та їх характеристик, які можуть динамічно змінюватися і доповнюватися. Розв'язком такої задачі буде створення механізму внесення, редагування та зберігання даних, який дозволить в умовах великої різноманітності структур звітних форм та їх типів використовувати спеціалізовані програмні засоби для створення структур електронних форм і за допомогою спеціалізованого інтерфейсу здійснювати внесення та редагування даних у формах звітності. Наприклад, у роботі [10] розглянуто інформаційно-аналітичну систему управління дорожнім господарством, яка дозволяє здійснювати аналіз експлуатаційного стану дорожнього покриття та мостів. Така система використовує дані з різних джерел, забезпечуючи можливість планування та організації ремонтних робіт на основі зібраних даних.

Розв'язком задач такого типу є математичні моделі та алгоритми для підтримки прийняття управлінських рішень, що забезпечать ефективний розподіл фінансів [6, 10, 30, 38].

1.3. Огляд інформаційних та програмних засобів для забезпечення моніторингу та процесів управління дорожнім господарством

Численні наукові праці вітчизняних і закордонних фахівців [9, 58–60] присвячені дослідженню проблем розробки та впровадження ІАС у діяльність органів державної влади, зокрема впровадженню таких систем у систему управління дорожнім господарством [11–14, 17, 18, 30, 61]. Роботи [6, 10, 62, 63] присвячені розробці математичного та програмного забезпечення для таких ІАС.

Серед інформаційних систем, що збирають і обробляють дані про стан автомобільних доріг державного значення та інженерних споруд на них, можна виділити такі: система управління станом дорожніх покриттів (СУСП), аналітично-експертна система управління мостами (АЕСУМ), електронний паспорт автомобільних доріг (ЕПАД) та інші [7, 10–12, 18, 61].

СУСП [10, 18, 61] (рис. 1.2) – це банк даних, що містить загальні дані, геометричні параметри дороги, різнотипні характеристики транспортного руху, дорожнього покриття та ґрунту земляного полотна, а також погодно-кліматичні умови для прогнозування зміни стану автомобільних доріг і розробки рекомендацій з підвищення їхнього транспортно-експлуатаційного стану з визначенням видів й обсягів робіт зважаючи на обмеження на фінансування.

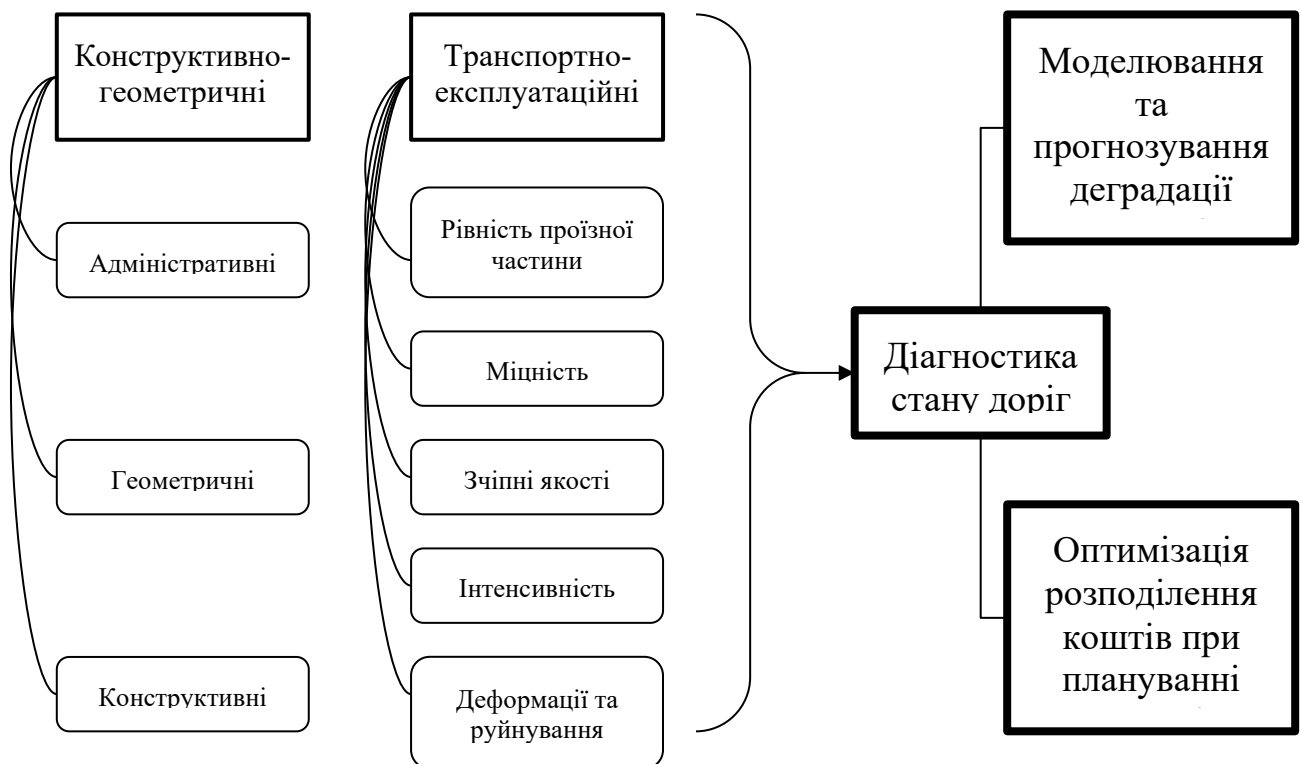


Рис. 1.2. Функціональна схема модулів СУСП

Джерело: складено автором на основі [10, 18, 61]

Починаючи з 2006 р., постійно тривають зміни механізмів функціонування СУСП та планів науково-дослідних розробок щодо її наповнення та вдосконалення.

АЕСУМ [10, 11, 13, 14] (рис. 1.3) розроблена в 2004 р. Основною метою є автоматизація формалізованої оцінки технічного стану автодорожніх мостів і генерація експертних рекомендацій із планування порядку виконання робіт з утримання, ремонту та реконструкції мостів. Система має експлуатуватися на всіх рівнях управління Укравтодору для обробки інформації щодо експлуатації

мостів. Система має централізовану БД, що знаходиться в Укравтодорі. В БД завантажена інформація про стан мостів, що зберігається на сервері в Укравтодорі. Там же має розміщуватися сервер прикладних програм, які здійснюють обробку даних згідно з функціональним призначенням АЕСУМ. Клієнтські програми мають доступ до серверу як користувачі нижчого рівня. Зв'язок користувача із сервером здійснюється через Інтернет або внутрішньокорпоративну мережу. Клієнтські програми містять модулі чотирьох видів: автоматизованої оцінки технічного стану і прогнозу залишкового ресурсу; економічного аналізу та планування ресурсів; теоретичних розрахунків міцності, стійкості й довговічності мостів та їх динамічного аналізу; генерації звітів і техніко-економічної документації галузі мостів. На вищому рівні забезпечено отримання аналітичних розрізів даних, які б давали можливість аналізу стану та планування розвитку транспортних споруд і вирішувати стратегічні завдання фінансування в масштабах галузі, аналогічно на нижчому рівні – аналіз для більш локальних задач. Базу даних АЕСУМ створено на основі MicrosoftSQLServer. У 2006 р. АЕСУМ впроваджено на обласних рівнях у систему експлуатації мостів.

ЕПАД [64] у 2001 р. розглянуто науково-технічною радою Укравтодору та рекомендовано прийняти його як єдиний документ для обліку доріг. Наказ Укравтодору від 26.06.2001 р. № 164 зобов'язує керівників адміністрацій автомобільних доріг в областях до 31 серпня 2001 р. завершити та передати Управлінню автомобільних доріг збір вихідних даних на автомобільних дорогах державного значення та до 25 грудня 2001 р. впровадити ЕПАД як єдину систему обліку на автомобільних дорогах. Наказом від 02.07.2002 р. № 268 через Інструкцію з паспортизації автомобільних доріг ЕПАД введено в дію з 1 липня 2002 р. Наповнення бази ЕПАД проводиться Укравтодором та регіональними службами за додаткові державні кошти.

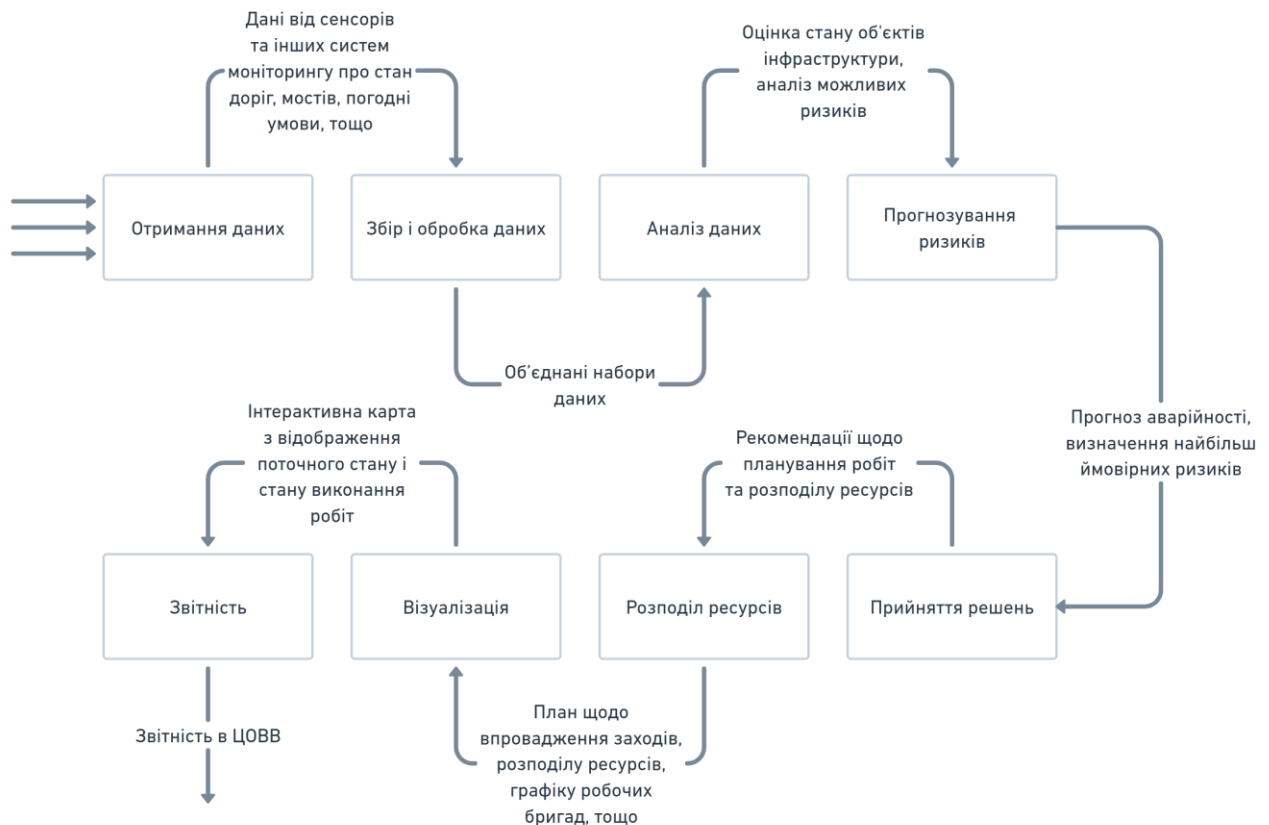


Рис. 1.3. Схема руху та обробки даних в АЕСУМ

Джерело: складено автором на основі [10, 11, 13, 14]

БОС (Єдина база оперативного стану автомобільних доріг) – це централізована база даних стану доріг державного значення та споруд на них, розроблена ДП «Укрдіпдор» для Держслужби автодоріг. Система запущена в дослідну експлуатацію у 2007–2008 рр. після розробки інсталяційної версії, яка дозволяла міграцію даних із наявних систем (СУСП, ЕПАД, АЕСУМ та ін.) до єдиної бази. Вона була розгорнута на центральному рівні (в Укравтодорі) з реплікаціями в областях і АР Крим. Концепція БОС еволюціонувала в бік створення ширшої ІАСУ дорожнього господарства (ІАСУ ДГ).

Інформаційно-аналітична система управління довгостроковими контрактами (ІАСУ–ДККП) почала розроблятися у 2005 р. ІАСУ–ДККП збирає дані вимірювань (про стан покриття, узбіч, розмітки, освітлення тощо), звіти інженерів-консультантів, результати перевірок і на їх основі формує оцінку виконання кожним підрядником своїх зобов'язань. Ця інформація

використовується для прийняття рішень про оплату, застосування штрафних санкцій або бонусів, а також для планування наступних періодів утримання. Як окрему ІАСУ її почали впроваджувати наприкінці 2010-х рр., коли Укравтодор уклав перші п'ятирічні договори експлуатаційного утримання (після створення Дорожнього фонду в 2018 р.). ІАСУ–ДККП діє в структурі Укравтодору та служб автомобільних доріг для моніторингу виконання довгострокових контрактів. Станом на 2020–2021 рр. значна частина доріг державного значення обслуговувалась за ДККП, і система відстежує показники якості, строки та обсяги робіт, необхідні для оплати.

ІАСУ ДГ концептуально сформована у Концепції інформатизації дорожньої галузі [7] як інтегрована система, що мала об'єднати всі розрізнені інформаційні потоки. Практично вона почала створюватись у 2015 р. Впровадження сучасної ІАСУ ДГ як загальнонаціональної системи управління дорогами державного (і частково місцевого) значення відбувається з 2021 р.. В її основі – просторово орієнтована база даних про дорожню мережу, яка містить інформацію про дороги, мости, транспортні потоки, аварійність, стан покриття, ремонти тощо.

Основними недоліками цих інформаційних систем є розрізненість та неконсолідованість інформаційних потоків та вузьке коло доступу користувачів. Дані, що містяться в таких системах, збираються, обробляються та використовуються розрізнено та можуть бути суперечливими. Використання даних за межами системи в більшості випадків не передбачено.

1.4. Особливості інформаційного обміну та інформатизації в дорожньо-транспортному комплексі України

Загалом сучасну систему інформаційного обміну дорожньої галузі України можна охарактеризувати як неконсолідовану, безсистемну і не надто надійну, дані в якій збираються розрізнено та можуть бути суперечливими, яка потребує системного вдосконалення або реорганізації, створення сучасних надійних

захищених каналів зв'язку для передачі інформації та впровадження єдиної інформаційно-аналітичної системи, розробленої на основі сучасних технологій [7, 27].

Серед головних недоліків існуючої системи інформаційного обміну можна виділити віддаленість адміністрування електронних інформаційних ресурсів та відсутність різного рівня доступу до серверів баз даних на різних рівнях їх експлуатації, обмежені можливості щодо вдосконалення існуючих розробок та значну їх залежність від розробників.

Як вже зазначалося, у системі інформаційного обміну у дорожній галузі можна виділити такі аналітичні продукти, як СУСП, ЕПАД, АЕСУМ, також є Єдина база оперативного стану автомобільних доріг державного значення та інженерних споруд на них (БОС), яка об'єднує дані із СУСП, АЕСУМ та ЕПАД, проєкт організації дорожнього руху (ПОДР), галузева база даних обліку ДТП, ІАСУ–ДКПП, ІАСУ ДГ, деякі фрагментарні елементи геоінформаційних систем та інші [7, 11–14, 18, 61]. На практиці дані для цих систем збираються та використовуються безсистемно, через неконсолідованість і розрізненість вводу вони можуть суперечити одне одному, а для їх використання за межами цих систем здебільшого необхідне створення додаткових спеціальних програмних модулів. Як результат звіти збираються у файлах електронних таблиць формату MS Excel, які передаються між робочими місцями через електронну пошту, що не відповідає належному стану захисту інформації державного рівня. При цьому частина роботи з перевірки та впорядкування файлів і даних здійснюється вручну, що призводить до значних втрат часу, а також помилок при обробці даних.

Аналізуючи систему інформаційного обміну, інформаційних зв'язків, інформатизації та функціональних завдань співробітників в органах управління дорожнім господарством, можна виділити такі особливості цієї системи, урахування яких дасть змогу значно покращити ефективність дорожньо-транспортного комплексу:

- відсутність вільного доступу до деяких даних про стан об'єктів дорожнього господарства навіть для відповідальних співробітників або потреба у додатковому навчанні чи консультуванні для співробітників щодо розуміння структури даних і можливостей їх використання;
- лише часткове покриття виробничих потреб програмним забезпеченням СППР для ефективного планування, обліку робіт, розподілу ресурсів та накопичення історичних даних, інколи зовсім його відсутність або неоновлення протягом тривалого часу, що призвело до технічного відставання;
- різний рівень залученості безпосередніх користувачів у впровадження та розробку сучасних програмних продуктів;
- відсутність єдиної інтегрованої системи зберігання та доступу до показників, що надходять з різних джерел – регіональних служб, департаментів, контролюючих установ, що ускладнює агрегацію даних та їх використання в аналітиці;
- недостатня формалізація процедур оновлення, перевірки, затвердження та архівації електронних форм звітності, що призводить до дублювання даних, затримок у прийнятті рішень і втрати історичної інформації;
- неврегульованість прав доступу до даних за ролями та рівнями відповідальності: в одних випадках працівники отримують надмірні повноваження, в інших – не мають змоги переглянути критичну для планування інформацію, що створює ризики для цілісності та безпеки даних.

1.5. Геоінформаційні системи як спосіб аналізу та представлення інформації щодо стану об'єктів мережі автомобільних доріг

Геоінформаційна система (ГІС) – особливі програмно-апаратні комплекси, які забезпечують збір, обробку, відображення та поширення просторово-координованих даних [21, 65, 66]. Одна з основних функцій ГІС – створення і

використання комп'ютерних та електронних карт, атласів та іншої картографічної продукції.

Перші ГІС були створені в середині 1960-х рр. у Канаді, США та Швеції для вивчення природних ресурсів і використовувалися в основному профільними організаціями, але в наш час ці системи все більше входять в наше життя, навіть звичайні люди, які ніяк не пов'язані з географією та інформаційними технологіями, побічно отримують достовірну візуалізовану інформацію за допомогою ГІС на екранах телевізорів та в мережі Інтернет, вони активно впроваджуються в різні галузі народного господарства. Це пояснюють дані досліджень аналітиків компанії MapInfo [67] (одного з провідних розробників ГІС), за якими до 80 % інформації, що зберігається в базах даних, має геопросторову прив'язку. Тому можливість візуалізації цієї інформації у звичному для людського сприйняття вигляді дозволяє значно спростити й удосконалити процеси формування та оцінки управлінських рішень.

На сьогоднішній день на ринку програмного забезпечення існує низка продуктів загального призначення, в яких реалізовані функціональні можливості обробки геопросторової інформації засобами серверних технологій та подальшого відображення на вебсторінках.

ГІС для моніторингу та прогнозування умовно можна поділити на три основні типи [65]:

1. Обліково-інвентаризаційні (кадастрові) містять кількісні і якісні характеристики об'єктів обліку на певних територіях. Вони, як правило, призначені для спеціалістів різних відомств.
2. Інформаційно-довідкові (інформаційно-пошукові) або електронні карти слугують для пошуку потрібної інформації про території та об'єкти.
3. Експертно-аналітичні або електронні карти в комплексі з модулем розрахунку та аналізу певних показників слугують для обґрунтування прийняття управлінських рішень.

Проте на практиці найчастіше реалізуються ГІС, що мають комбінацію функціональних можливостей усіх трьох зазначених типів з пріоритетністю до одного.

Програмне забезпечення, що здійснює обробку, зберігання, представлення та передачу геопросторових даних з використанням геосервісів, називається геосервером. У табл. 1.1 представлений перелік найбільш розповсюджених на сьогодні геосерверів [65, 67–70].

Таблиця 1.1

Порівняння геосерверів

Назва	Номер версії	Підтримка геосервісів	Мова програмування	Інтеграція з базами даних	Підтримка протоколів	Пропускна здатність
1	2	3	4	5	6	7
GeoServer	2.24.5	WMS, WFS, WCS, WPS, INSPIRE	Java	PostGIS, MySQL, SQL Server, Oracle, H2, Db2	HTTP/HTTPS, REST, WMS, WFS, WCS, WPS	до 6000 запитів/с
MapServer	8.0.1	WMS, WFS, WCS, SOS	C	PostGIS, MySQL, Oracle, SQL Server	HTTP/HTTPS, WMS, WFS, WCS, SOAP	до 10 000 запитів/с
ArcGIS Server	11.1	WMS, WFS, WCS, REST, OGC API	.NET, Java	PostgreSQL, SQL Server, Oracle, MySQL	HTTP/HTTPS, REST, WMS, WFS	до 1000 запитів/с
Deegree	3.4.2005	WMS, WFS, WCS, CSW	Java	PostGIS, Oracle, SQL Server	HTTP/HTTPS, WMS, WFS, CSW	середня
ERDAS APOLLO	2023.1	WMS, WFS, WCS, OGC API	Java, .NET	SQL Server, Oracle, PostgreSQL	HTTP/HTTPS, OGC API, WMS, WFS	до 10 000 запитів/с
Manifold System	Release 9	Просторовий SQL, IMS	.NET, C++	SQL Server, PostgreSQL, MySQL	HTTP, WMS, WFS	до 10 000 запитів/с

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7
MapLarge API	-	Geocoding, Routing, 2D/3D/4D візуалізація	C#, Java, Python	SQL Server, Oracle, PostgreSQL	HTTP, REST API	більше 10 000 запитів/с
PostGIS	3.4	WMS, WFS	C	PostgreSQL (інтегроване розшир.)	HTTP, WMS, WFS	до 1000 запитів/с
QGIS Server	3.32	WMS, WFS, WCS	C++, Python	PostgreSQL, MySQL, Oracle	HTTP, WMS, WFS	до 1000 запитів/с
CartoDB	-	WMS, WFS	SQL, JavaScript	PostgreSQL (інтегрована платф.)	HTTP, REST API, WMS, WFS	більше 10 000 запитів/с

Джерело: складено автором на основі [65, 67–70]

Геопросторові дані не мають внутрішньої візуальної складової. Для того щоб побачити дані, вона повинна бути визначена (стилізована) за допомогою вибору кольору, товщини або інших видимих візуальних ознак. Дані для сервера можуть складатися з трьох класів фігур: точки, лінії і багатокутники. У GeoServer ця стилізація здійснюється за допомогою мови розмітки SLD (англ. Styled Layer Descriptor) [68] – сервіс стилізованого опису рівня. SLD – це мова розмітки на основі XML, яка є зручним засобом оформлення відображення геопросторових даних.

Для автомобільних шляхів файл стилізації, написаний мовою SLD, формує оформлення карти залежно від масштабу, типу доріг, виводить маркування доріг.

Висновки до розділу 1

У першому розділі проведено огляд літератури, пов'язаної із дослідженням мережі автомобільних доріг як частини КІ, та робіт, в яких описуються математичні моделі, методи, алгоритми та програмне забезпечення, що можуть бути використані для моніторингу й аналізу стану мережі, і представлено важливість розгляду цих питань.

Встановлена необхідність подальшого розвитку та удосконалення автомобільних шляхів у державі ставить питання налагодження ефективного інформаційного моніторингу стану автомобільних доріг. Показано, що такий моніторинг може здійснюватися із застосуванням сучасних інформаційних технологій та засобів, як-то: розподілених ІАС, БД, СППР, геоінформаційних систем.

Аналіз існуючих підходів до управління дорожнім господарством також свідчить про необхідність подальшого удосконалення механізмів координації між державними органами, підрядниками та організаціями, що здійснюють контроль за якістю виконання робіт. Впровадження єдиної інтегрованої інформаційно-аналітичної системи дозволить значно покращити оперативність обміну даними між усіма учасниками процесу, забезпечуючи актуальність, точність і прозорість інформації. Це своєю чергою сприятиме не лише підвищенню ефективності управління мережею автомобільних доріг, а й забезпеченню довгострокової стійкості дорожньої інфраструктури як критичного елемента державної безпеки та економічного розвитку.

Із проведеного огляду встановлено, що моніторинг і аналіз стану автомобільних доріг – складана комплексна задача, яка включає аналіз вхідних даних, обрання необхідної математичної моделі й обґрунтування її застосування на кожному етапі життєвого циклу інформаційно-технічного супроводження даних стану об'єктів дорожньої інфраструктури. Це дозволить підвищити оперативність, обґрунтованість і як результат ефективність прийняття рішень у галузі управління автомобільними шляхами та їх розвитком. Розширення можливостей аналізу за допомогою автоматизованих інформаційних систем додатково дозволить своєчасно виявляти проблемні ділянки доріг, оптимізувати розподіл ресурсів і зменшити ризики, пов'язані з критичним зношенням дорожнього покриття.

РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗУ СТАНУ ДОРІГ

У цьому розділі запропоновано математичне забезпечення для ІАС.

Комплекс математичних моделей для прийняття управлінських рішень являє собою основу при побудові ІАС та включає:

- 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 щодо 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, яка полягає у виборі плану транспортування, що мінімізує людські втрати.

2.1. Математичні моделі планування та підвищення якості і безпеки доріг

2.1.1. Планування будівництва, реконструкції та ремонту доріг та капітальних споруд на них за умов невизначеності та скорочення обсягів фінансування

Планування робіт із будівництва, реконструкції та ремонту доріг ускладнюється численними факторами, серед яких головну роль відіграє

невизначеність у фінансуванні. Через обмеженість бюджетних коштів і нестабільність економічної ситуації обсяги фінансування можуть суттєво змінюватися, що впливає на строки реалізації проєктів і потребує гнучкого підходу до їхнього коригування. Крім того, пріоритезація робіт має враховувати стратегічне значення кожного окремого об'єкта, потенційний економічний ефект від його введення в експлуатацію, а також соціальні аспекти, пов'язані з безпекою і транспортною доступністю.

У сучасних умовах планування дорожніх робіт повинне базуватися не лише на традиційних фінансово-економічних розрахунках, але й на аналітичних методах, які дають змогу враховувати багатофакторність процесу управління ресурсами. Використання математичних моделей дозволяє оцінити ефективність різних сценаріїв розподілу коштів, передбачити можливі наслідки недофінансування та сформулювати оптимальні стратегії для мінімізації ризиків. Одним із ключових завдань є визначення того, які об'єкти можуть отримати пріоритетне фінансування, а які – бути тимчасово відкладеними, виходячи з комплексної оцінки їх значущості.

Процес прийняття рішень щодо перерозподілу фінансування має бути максимально обґрунтованим, що вимагає систематичного підходу до оцінювання важливості кожного об'єкта. З цією метою використовуються методи експертного оцінювання, багатокритеріального аналізу та математичного моделювання, які дозволяють структурувати інформацію про стан проєктів та впливати на порядок їх реалізації.

Планування робіт з будівництва, реконструкції та ремонту доріг різного підпорядкування та типу, капітальних споруд на них пов'язане з визначенням переліку робіт протягом декількох послідовних періодів часу і, відповідно, обсягів фінансових ресурсів на їх виконання. Принциповою складністю, що впливає на ефективність планування, є невизначеність щодо обсягів фінансування програм з будівництва з Державного бюджету. Наприклад, за

даними [71], обсяги недофінансування у 2020 р. сягали 24,8 % від плану на середні та капітальні ремонти доріг загального користування, а на експлуатаційне утримання доріг було виділено лише 48,9 % коштів від необхідних обсягів фінансування. Ситуація погіршилась в умовах воєнного стану. Так, згідно з [72] вже у 2022 р. обсяги недостатнього фінансування середніх та капітальних ремонтів досягли 71,3 % від потреб, обґрунтованих з наукового погляду.. За інформацією з [73], загальне фінансування дорожньої галузі у 2023 р. зменшиться порівняно з планом 2022 р. на 14,9 млрд. грн.

На сьогодні 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, алгоритмічного підходу до її розв'язання.

Оцінювання значень критеріїв для кожного об'єкта може бути здійснено на основі експертних суджень. Так, соціально-економічна значущість робіт може оцінюватися за градаціями: «пріоритетна, значна, помірковано значна, не має високого значення», а потім приводитися до нормованого на відрізок $[0, 1]$ значення.

Усю сукупність критеріїв, за якими приймається рішення щодо скорочення планів будівництва, реконструкції та ремонтів у разі недофінансування, можна подати у вигляді ієрархії (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Загальна схема критеріїв фінансової важливості робіт

Джерело: складено автором

Відповідно до схеми на рис. 2.1 для прийняття рішення критеріями можуть бути критерії соціально-економічної значущості робіт, такі як:

- ступінь завершеності робіт на об'єкті;
- безпека руху, усунення аварійно-небезпечних ділянок на автошляхах;
- належність об'єкта до переліку пріоритетних завдань, що висуває уряд;
- залишкова вартість робіт;
- частка фінансування з інших джерел (не з Державного бюджету України);
- оцінка економічного ефекту на розвиток регіону (території);
- внесок у розвиток транспортних потоків, міждержавних транспортних коридорів.

В свою чергу об'єктами, які зображені на рис 2.1, буде перелік потрібних робіт на дорогах різного підпорядкування та типу, капітальних спорудах на них, що мають бути профінансовані.

Далі, застосувавши попарні порівняння, які використовуються в методі аналізу ієрархій, визначаємо вагові коефіцієнти для критеріїв.

Постановка задачі. Обчислено вагові коефіцієнти $q_1, q_2, \dots, q_m$ для критеріїв фінансової важливості робіт, де номер критерію $k=1, 2, \dots, m$. Тоді можна розглядати наступний скалярний критерій (лінійну згортку):

$$\sum_{i \in I} \sum_{k=1}^m q_k g_{ik} \gamma_i,$$

де g_{ik} – оцінка i -го об'єкта за k -м критерієм, γ_i – ступінь завершеності виконання робіт по i -му об'єкту.

Відповідно, ступінь завершеності виконання робіт на кожному з об'єктів залежить від виконання плану робіт, тобто:

$$\gamma_i = f_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ie^*}).$$

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

Функції f_i мають такі властивості:

- $f_i \in [0, 1]$,
- для будь-якого булевого вектора $(x_{i1}^1, x_{i2}^1, \dots, x_{ie^*}^1)$, більшого за $(x_{i1}^2, x_{i2}^2, \dots, x_{ie^*}^2)$, виконується $f_i(x_{i1}^1, x_{i2}^1, \dots, x_{ie^*}^1) \geq f_i(x_{i1}^2, x_{i2}^2, \dots, x_{ie^*}^2)$.

Алгоритм розв'язку. Умова поступового виконання етапів (наступний етап може бути виконаний тільки за умов виконання всіх попередніх) може бути записана в такому вигляді:

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

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 $B_0 < B(1)$, тоді треба обчислити матрицю X^* , для якої досягається

$$X^* = \operatorname{argmax}_{x \in X} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m q_k g_{ik} f_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ie^*}) \quad (2.1)$$

за умов:

$$x_{ie} \geq x_{ie+1}, \quad e = 1, 2, \dots, (e^* - 1), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (2.2)$$

$$B(X) = \sum_{i \in I} \sum_{e=1}^{e^*} b_{ie} x_{ie} \geq B_0. \quad (2.3)$$

В умовах невизначеності обсягів недофінансування може бути поставлена така задача: знайти для заданих $B_1^0, B_2^0, \dots, B_d^0$ ($B_1^0 < B_2^0 < \dots < B_d^0$) оптимальні матриці $X_1^*, X_2^*, \dots, X_d^*$, для яких буде виконуватись додаткова умова «нарощення»:

$$X_1^* < X_2^* < \dots < X_d^*.$$

Виконання такої умови дозволяє поступово «нарощувати» план робіт з отриманням фінансування.

Постановка оберненої задачі. Перепишемо задачу (2.1)–(2.3) таким чином:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m q_k g_{ik} f_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ih^*}) \rightarrow \max, \quad (2.4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{e=1}^{e^*} b_{ie} x_{ie} \leq B_0, \quad (2.5)$$

$$x_{ie} \geq x_{ie+1}, \quad e = 1, 2, \dots, (e^* - 1), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (2.6)$$

$$x_{ie} \in \{0, 1\}, \quad e = 1, 2, \dots, e^*, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.7)$$

Введемо булеві змінні $\tilde{x}_{ie}$, які зв'язані з x_{ie} таким чином: $\tilde{x}_{ie}=1$, якщо $x_{ik}=1$ для $\forall k \leq e$ та $x_{ik}=0$ для $\forall k > e$; $\tilde{x}_{ie}=0$ в інших випадках. Позначимо функцію $\tilde{f}_i(\cdot)$, яка встановлює зв'язок між змінними $x_{ie} = \tilde{f}_i(e, \tilde{x}_{i1}, \tilde{x}_{i2}, \dots, \tilde{x}_{ie^*})$, $e = 1, 2, \dots, (e^* - 1)$, $i = 1, 2, \dots, n$.

Тоді функція ступеня завершеності робіт набуде вигляду:

$$\gamma_i(h, \tilde{x}_{i1}, \tilde{x}_{i2}, \dots, \tilde{x}_{ie^*}) = f_i(\tilde{f}_i(1, \tilde{x}_{i1}, \tilde{x}_{i2}, \dots, \tilde{x}_{ie^*}), \dots, \tilde{f}_i(e^*, \tilde{x}_{i1}, \tilde{x}_{i2}, \dots, \tilde{x}_{ie^*})).$$

Відповідно постановка еквівалентної для (2.4)–(2.7) задачі матиме вигляд:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m q_k g_{ik} f_i(\tilde{f}_i(1, \tilde{x}_{i1}, \tilde{x}_{i2}, \dots, \tilde{x}_{ie^*}), \dots, \tilde{f}_i(e^*, \tilde{x}_{i1}, \tilde{x}_{i2}, \dots, \tilde{x}_{ie^*})) \rightarrow \max, \quad (2.8)$$

за умов:

$$\sum_{e=1}^{e^*} \tilde{x}_{ie} = 1, i = 1, 2, \dots, n, \quad (2.9)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{e=1}^{e^*} \tilde{b}_{ie} \tilde{x}_{ie} \leq B_0, \quad (2.10)$$

де $\tilde{b}_{ie}$ – вартість виконання запланованих робіт на етапі номер e для такої задачі.

Тут, задача (2.8)–(2.10) є задачею розподілу ресурсів, що є задачею лінійного програмування з булевими змінними, а її розв'язок можна отримати шляхом побудови в порядку неспадання міноранти, яка збігається з цільовою функцією (2.8), послідовності e^* -мірних булевих векторів, що відповідають умові (2.9), до виконання умови (2.10) .

2.1.2. Планування заходів з метою усунення аварійно небезпечних ділянок на автомобільних дорогах

Управління безпекою дорожнього руху є однією з ключових складових стратегічного планування розвитку дорожньої інфраструктури, зокрема для забезпечення безпеки водіїв та пішоходів. Оскільки автомобільні дороги є

важливим елементом критичної інфраструктури, що безпосередньо впливає на соціально-економічну стабільність і національну безпеку, виникає необхідність у постійному удосконаленні методів управління, аналізу та зменшення аварійності на цих шляхах. Виявлення аварійно небезпечних ділянок та їх усунення є важливим етапом у забезпеченні безпеки руху.

Запропоновані методи оптимізації ресурсів та застосування математичних моделей для мінімізації кількості ДТП, зокрема фатальних випадків, базуються на врахуванні різних факторів: технічних характеристик доріг, категорій транспорту, а також впливу людського фактора. Тому важливим є розроблення ефективних математичних моделей та алгоритмів для управління заходами з покращення безпеки на автомобільних дорогах.

Постановка задачі. 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, що 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 $p_{ik}(z_i)$ – ймовірність транспортної пригоди на ділянці drs_i автодороги для k -тої категорії транспорту

при застосуванні заходу $z = (z_{1_s}, \dots, z_{i_s}, \dots, z_{n_s}) \in Z = \prod_{i \in I} Z_i$ для зменшення аварійності на ділянці drs_i , де s – кількість таких заходів. Значення $p_{ik}(z_i)$ можуть бути обчислені на основі моделі, наприклад нелінійної, що запропонована в [74].

Кожний захід $z_i \in Z_i$ характеризується економічними, технічними та іншими показниками (ресурсами, витратами) при впровадженні цього заходу на ділянці drs_i , де $u \in U = \{1, 2, \dots, u^*\}$ – індекс різних видів витрат, пов'язаних із впровадженням заходів зменшення аварійності.

Задача полягає у формуванні плану заходів та їх впровадження на кожній ділянці дороги (за умов обмеженості ресурсів) з метою зменшення аварійності на ділянках дороги, мінімізації кількості ДТП і, таким чином, зменшенні людських, матеріальних та фінансових втрат в результаті можливих ДТП. Задача планування усунення аварійно-небезпечних ділянок та мінімізації ризику ДТП (математичного сподівання втрат) формально може бути представлена в такій загальній постановці:

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} a_k p_{ik}(z_i) \rightarrow \min, \quad (2.11)$$

за умов:

$$b_u(z) = \sum_{i \in I} b_{iu}(z_i) \leq b_u^*, \quad (2.12)$$

$$z = (z_{1s}, \dots, z_{is}, \dots, z_{ns}) \in Z = \prod_{i \in I} Z_i, i \in I, \quad (2.13)$$

де a_k – величина збитків при ДТП з категорією транспорту $k \in K$; b_u^* , $u \in U$ – задана величина обмежень по ресурсу u .

Задача (2.11)–(2.13) належить до класу адитивних задач дискретного програмування з багатьма обмеженнями [75]. Для її розв’язання можуть бути використані алгоритми, що описані в [63].

Алгоритм розв’язку. Визначення збитків a_k , $k \in K$ є окремою задачею, що включає оцінку вартості життя загиблих в ДТП осіб, втрати, пов’язані з лікуванням постраждалих та наслідками травмувань, матеріальні втрати від пошкодження автотранспортних засобів та придорожніх об’єктів тощо.

При плануванні заходів щодо мінімізації втрат у ДТП важливим є людський фактор: травматизм та фатальні випадки з учасниками дорожнього руху. ДТП з фатальними наслідками виникають з різних причин, що представлені статистичними даними МВС України [76] (табл. 2.1.). Серед 28 причин найбільшими є такі порушення, як перевищення безпечної швидкості та порушення правил маневрування, сумарна частота виникнення яких становить понад 60 %.

Таблиця 2.1

**Розподіл за видами причин виникнення кількості та частоти виникнення
ДТП з постраждалими за 2022 р.**

Причина виникнення	Кількість	Частота, %
Перевищення безпечної швидкості	7561	40,25
Порушення правил маневрування	3846	20,47
Порушення правил проїзду перехресть	1467	7,81
Порушення правил проїзду пішохідного переходу	1443	7,68
Недотримання безпечної дистанції	843	4,49
Керування транспортним засобом у нетверезому стані	790	4,21
Перехід пішоходом дороги у не призначеному для цього місці	593	3,16
Перевищення дозволеної швидкості на поворотах	469	2,49
Виїзд на смугу зустрічного руху	418	2,23
Недотримання водіями сигналів регулювальника	236	1,25
Інші причини (частота кожної < 1%)	1118	5,96

Джерело: складено автором на основі [76]

Враховуючи мінімізацію фатальних випадків у ДТП як одну з основних задач при забезпеченні безпеки дорожнього руху, розглянемо формально цю постановку задачі.

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, наприклад на основі статистичних даних з табл. 2.1.

Для оцінки можливої ефективності впровадження (застосування) засобів z_i , $i \in I$, для зменшення аварійності на кожній ділянці drs_i , $i \in I$, введено функцію $f_{il}(z_i) \in [0; 1]$ – 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 можна розглядати задачу мінімізації кількості осіб, що загинули та постраждали у ДТП, в такій постановці:

$$\sum_{l \in L} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \rho_{li} w_k N_{ik} (1 - f_{li}(z_i)) \rightarrow \min, \quad (2.14)$$

за умов:

$$b_u(z) = \sum_{i \in I} b_{iu}(z_i) \leq b_u^*, u \in U, \quad (2.15)$$

$$z = (z_{1_s}, \dots, z_{i_s}, \dots, z_{n_s}) \in Z = \prod_{i \in I} Z_i, i \in I, \quad (2.16)$$

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 у транспортних засобах категорії $k \in K$.

Задача (2.14)–(2.16) відноситься до класу задач дискретного програмування з багатьма обмеженнями, для розв’язання якої можуть використовуватись алгоритми послідовного аналізу варіантів та наближені методи [63, 77]. Враховуючи, що транспорт відноситься до критичної інфраструктури країн Європи, моделювання процесів підвищення безпеки,

мінімізації ризиків та зниження кількості ДТП є важливою прикладною проблемою.

Розглянемо приклад для категорії транспортних засобів i : «легкові та вантажні», причини ДТП k : перевищення швидкості та неналежне освітлення.

Маємо такі дані:

- середня частота ДТП на ділянці: $N_{ik} = 60$ ДТП/рік;
- середня кількість осіб у ДТП: $w_k = 2$ особи/ДТП;
- бюджетне обмеження: $U = 100\,000$ грн.

Заходи та їх параметри:

z_1 : застосування автоматичного фоторадара TrueCam H7; $c_1 = 30\,000$ грн; $f_{li}(z_1) = 0,5$ (зменшення ДТП через впровадження засобів фіксації швидкості на 50 %) – відповідає 30 % причин аварій;

z_2 : модернізація освітлення; $c_2 = 25\,000$ грн; $f_{li}(z_2) = 0,4$ (зменшення ДТП через недостатню видимість на 40 %) – відповідає 20 % причин аварій;

z_3 : встановлення бар'єрних огорожень; $c_3 = 40\,000$ грн; $f_{li}(z_3) = 0,6$ (зменшення наїздів на аварійних з'їздах на 60 %) – відповідає 50 % причин аварій.

Тоді сумарне зниження інтенсивності становитиме: $R = \omega_1 \cdot f_{li_1} + \omega_2 \cdot f_{li_2} + \omega_3 \cdot f_{li_3} = 0,3 \cdot 0,5 + 0,2 \cdot 0,4 + 0,5 \cdot 0,6 = 0,53 \rightarrow 53\%$.

Витрати: $30\,000 + 25\,000 + 40\,000 = 95\,000$ грн ≤ 100 тис. грн.

Очікувана кількість ДТП після реалізації: $N_{ik}^* = 60 \times (1 - 0,53) = 28$ ДТП/рік, що відповідає зниженню на 53 %.

Як підтвердження достовірності запропонованої моделі та правильності проведених розрахунків автором досліджено низку ділянок автодоріг до та після впровадження на них вищезазначених заходів, що підтвердило результати, отримані автором, а саме: після впровадження таких заходів кількість ДТП на таких ділянках (зокрема з летальним наслідком) [76]:

- на трасі Н-15 (Запорізька область, км 112–117, реалізовано у 2021 р.) зменшилася на 52 %;

- на трасі Н-11 (Миколаїв – Кривий Ріг, км 45–50, реалізовано у 2022 р.) зменшилася на 48 %.

Таким чином, план заходів обґрунтовано і підтверджено числовим прикладом, що дозволяє досягти зниження ДТП до 53 % без перевищення загальної вартості впроваджуваних засобів.

2.1.3 Оптимізація комплексу різнотипних методів неруйнівного контролю для виявлення пошкоджень у дорожньому покритті та складових дорожньої інфраструктури

Забезпечення належного технічного стану автомобільних доріг загального користування та штучних споруд на них є важливим завданням управління дорожньою мережею. Виявлення та оцінка пошкоджень на ранніх стадіях дозволяє запобігти їх подальшому розвитку, уникнути аварійних ситуацій і зменшити витрати на ремонтні роботи. У цьому контексті методи неруйнівного контролю (МНК) відіграють ключову роль, оскільки дають змогу проводити діагностику без демонтажу конструкцій та безперервного виведення доріг з експлуатації. Вдосконалення підходів до проведення МНК сприяє підвищенню ефективності моніторингу стану дорожньої мережі та оптимізації ресурсів, що витрачаються на ремонт і реконструкцію.

Різнотипні методи неруйнівного контролю використовуються залежно від особливостей об'єкта дослідження та типу можливих пошкоджень. Для оцінки стану мостів і шляхопроводів можуть застосовуватися методи акустичної емісії, ультразвукової діагностики, радіохвильового зондування та лазерного сканування, тоді як для моніторингу стану дорожнього полотна ефективними є георадарне сканування, інфрачервона термографія та візуальний контроль. Незважаючи на широкий спектр доступних методів, кожен із них має свої переваги та обмеження, що вимагає комплексного підходу до планування неруйнівного контролю.

Різні типи пошкоджень потребують застосування відповідних методів контролю, оскільки їхні фізичні характеристики можуть суттєво різнитися.

Наприклад, тріщини у дорожньому покритті можуть бути виявлені шляхом оптичного або лазерного сканування, тоді як оцінка прихованих дефектів, таких як розшарування основи чи пошкодження підшарів, потребує застосування георадарних методів. Деформації мостових конструкцій ефективно визначаються акустичними або ультразвуковими методами, що дозволяє отримати інформацію про глибокі тріщини чи внутрішні напруження в матеріалі. Таким чином, вибір оптимального комплексу МНК визначається особливостями досліджуваного об'єкта та характером можливих дефектів.

Оптимізація комплексу МНК передбачає вибір методів залежно від поставленої задачі, доступності технічного обладнання, часу на проведення контролю та допустимих витрат. Важливим фактором є також можливість накопичення та обробки даних, отриманих у процесі неруйнівного контролю, для побудови аналітичних моделей і прогнозування довговічності дорожніх конструкцій. Таким чином, комплексний підхід до вибору методів МНК дає змогу не лише отримувати більш точні результати контролю, а й оптимізувати витрати на ремонтно-будівельні роботи.

Дефекти ділянок доріг загального користування та елементів дорожньої інфраструктури (мостів, шляхопроводів, тунелів тощо), такі як: руйнування дорожнього покриття та гідроізоляції, поява тріщин і підвищена ямковість, надмірні пластичні деформації частин дороги, надмірне тремтіння гнучких елементів, руйнування захисного шару та поява тріщин залізобетонних конструкцій, елементів огорожі, руйнування елементів деформаційних швів, втрата стійкості елементів конструкції тощо, різко погіршують умови експлуатації дорожнього покриття [78].

На появу значної кількості пошкоджень впливають природні фактори, що призводить до різкої зношеності (старіння) дороги, порушення умов експлуатації (перевантаження), відсутності технічного обслуговування придорожньої інфраструктури.

Використання окремих методів неруйнівного контролю (МНК) дає певні результати виявлення окремих пошкоджень, зі своїми перевагами та недоліками

[79]. Цей перелік результатів може не відповідати фактичному стану об'єкта дослідження через неповноту інформації про знайдені пошкодження. Разом з тим, наприклад, застосування методів візуального контролю для дорожнього покриття дає можливість оперативно виявити поверхневі пошкодження, але не дозволяє визначити руйнування чи деформацію нижніх шарів дорожнього покриття, що може стати причиною необ'єктивної оцінки стану ділянки автомобільної дороги. Виправлення таких пошкоджень може тимчасово полегшити ситуацію, але початковий стан швидко може відновитися або навіть призвести до погіршення.

Одночасне застосування різнотипних і різних за своєю природою та формою контролю МНК дає можливість прискорити процес та підвищити ймовірність виявлення дефектів. Це дозволяє отримати детальну та достовірну інформацію про експлуатаційний стан і ступінь відповідності прийнятим нормам для об'єкта контролю, його параметри та відповідність вимогам безпеки руху. МНК дають змогу досліджувати стан різних елементів дорожньої інфраструктури, не виводячи їх з експлуатації. Накопичені статистичні дані про виявлені пошкодження можуть бути використані при усуненні цих пошкоджень та можливих помилок при повторному проведенні контролю [80].

Постановка і аналіз задачі. Нехай $H = \{h_i, i \in I = \{1, 2, \dots, i^*\}\}$ – скінченна множина типів пошкоджень, що можливі на ділянках дорожнього покриття та елементах дорожньої інфраструктури (мости, шляхопроводи, тунелі 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 пошкодження, можливість виникнення ДТП та ін.

Для діагностики пошкоджень $h_i \in H$ можуть бути використані різні МНК, їх типи або способи реалізації. Вони характеризуються різними ймовірностями виявлення пошкоджень і необхідних витрат ресурсів. Наприклад, на якість проведення візуального контролю впливає рівень підготовки спеціалістів, які

оцінюють ступінь пошкодженості верхнього шару дорожнього покриття, поверхневі деформації дорожнього покриття та елементів конструкцій штучних споруд, зношеність верхнього шару та ін. Такий метод можна вважати оперативнішим та дешевшим порівняно з іншими, які потребують тривалої обробки даних у межах лабораторних досліджень або кошовної спецтехніки. Ще одним типом методу може бути моніторинг стану дорожнього покриття, штучних споруд та інших елементів дорожньої інфраструктури за допомогою систем космічного спостереження, проте це також потребує додаткового технічного оснащення, навчання співробітників тощо.

Позначимо $M_j = \{m_{jk}\}$ – множину МНК j -го типу, де $j \in J$ – множина індексів типів МНК, $k \in K_j \subseteq K$ – множина індексів способів реалізації типів МНК. На рис. 2.2. зображено спрощену схему взаємозв'язку різнотипних МНК для виявлення деякого пошкодження $h_i \in H$.

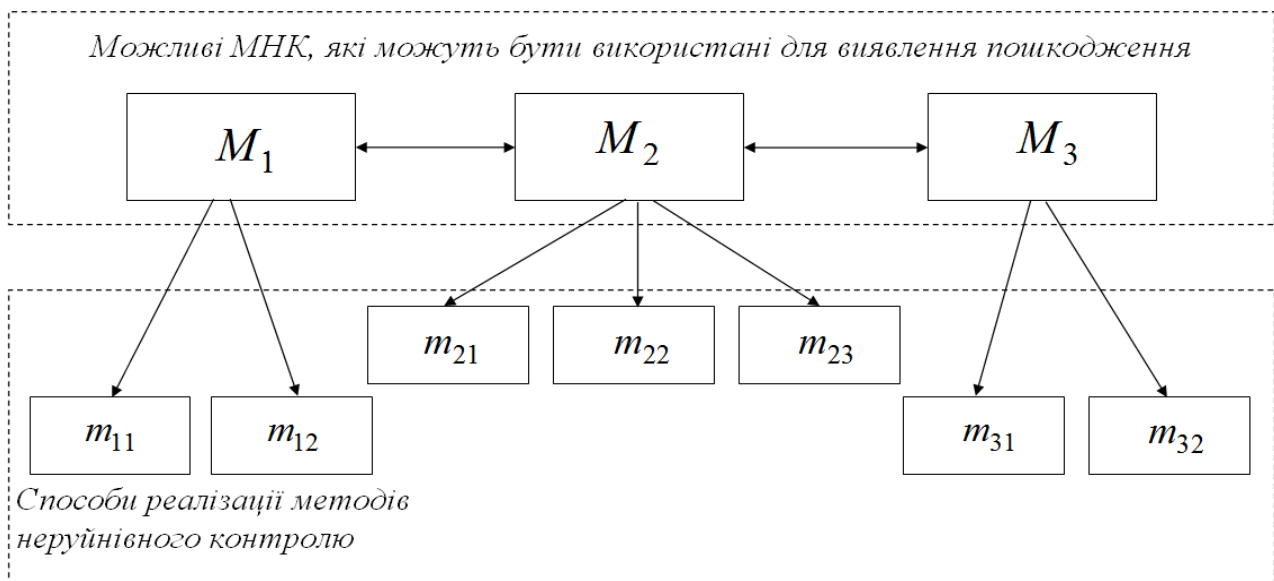


Рис. 2.2. Схема способу побудови комплексу МНК

Джерело: складено автором

Позначимо $p(m_{jk})$ – апіорне значення ймовірності виявлення пошкодження методом m_{jk} . Значення ймовірностей $p(m_{jk})$ виявлення різних

типів пошкоджень задаються в технічній документації приладів, визначаються на основі експериментальних досліджень або відомі з аналогічних досліджень.

Множина R_i альтернативних технологій виявлення пошкодження $h_i \in H$, $i \in I$, комплексом МНК задається таким чином:

$$R_i = \{r_i^1, r_i^2, \dots, r_i^{\tau_i}\},$$

де елементами множини R_i є фіксовані технології виявлення пошкоджень r_i , які є сполученням індексів $j \in J$ множин різнотипних МНК і мають вигляд $r_i = \{j_1, \dots, j_s\}$, $j_1, \dots, j_s \in J_i \subseteq J$. Тоді множина R_i матиме вигляд:

$$R_i = \left(\begin{array}{cccc} j_1^1 & j_2^1 & \dots & j_{s_1}^1 \\ j_1^2 & j_2^2 & \dots & j_{s_2}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ j_1^{\tau_i} & j_2^{\tau_i} & \dots & j_{s_{\tau_i}}^{\tau_i} \end{array} \right), j_1^1, \dots, j_{s_1}^1, \dots, j_1^{\tau_i}, \dots, j_{s_{\tau_i}}^{\tau_i} \in J_i.$$

Таким чином, сполучення $r_i = \{j_1, \dots, j_s\} \in R_i$ – це фіксована технологія виявлення пошкодження $h_i \in H$, в якій задіяні певні типи МНК і яка враховує як специфіку ділянки, що досліджується, так і прилади, що застосовуються для проведення неруйнівного контролю та можливості їх спільного використання.

Кожна технологія $r_i \in R_i$ представляється можливими варіантами типів МНК (комплексом МНК) $v_{r_i} = (m_{j_1 k}^i, \dots, m_{j_s k}^i) \equiv (m_{jk}^i)_{j \in r_i}$, який застосовується для виявлення пошкодження $h_i \in H$.

Множина $V_{r_i} = \prod_{j \in r_i} M_j$ – множина можливих варіантів v_{r_i} реалізації технології $r_i \in R_i$; $V_i = \bigcup_{r_i \in R_i} V_{r_i}$ – множина всіх альтернативних комплексів МНК для виявлення пошкодження $h_i \in H$; $V = \prod_{i \in I} V_i$ – множина альтернативних

комплексів МНК $v = (v_{r_1}, \dots, v_{r_i}, \dots, v_{r_i^*}) \equiv (v_{r_i})_{i \in I}$, $v_{r_i} \in V_i, i \in I$, $v \in V = \prod_{i \in I} V_i$ для виявлення всіх пошкоджень $h_i \in H$.

Імовірність невникнення аварійної ситуації в об'єктах контролю після виявлення та усунення пошкодження $h_i \in H$ визначається так:

$$P_i(p(v_{r_i})) = 1 - p(v_{r_i}), \quad (2.17)$$

$$\text{де } p(v_{r_i}) = 1 - \prod_{j \in J_i} (1 - p(m_{jk})) \text{ — імовірність виявлення пошкодження } h_i \in H$$

при застосуванні комплекту v_{r_i} для технології r_i .

Якщо розглядати задачу виявлення одночасно всіх пошкоджень з множини пошкоджень H і припустити, що $h_i \in H$ відомі та для їх виявлення використовуються різні комплекти $v_{r_i} \in V_i$, то (2.17) виглядатиме:

$$P_H(v) = \prod_{i \in I} p(v_{r_i}). \quad (2.18)$$

Значення $P_H(v)$ є нижньою оцінкою імовірності виявлення множини пошкоджень H і може використовуватись як критерій при виборі МНК для одночасного виявлення всіх пошкоджень $h_i \in H$.

Нехай на реалізацію МНК (закупівлю приладів, розробку методології, навчання людей тощо) виділено кошти у розмірі C_0 , тоді задача формування комплексу МНК матиме вигляд:

$$P_H(v) = \prod_{i \in I} p(v_{r_i}) \rightarrow \max; \quad (2.19)$$

$$C(v) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ji}(v_{r_i}) \leq C_0, \quad (2.20)$$

$$v \equiv (v_{r_i})_{i \in I}, v_{r_i} = (m_{j_1 k}^i, \dots, m_{j_s k}^i) \in V_i, k \in K_j \subseteq K, v \in V = \prod_{i \in I} V_i, \quad (2.21)$$

де c_{ji} — обсяг фінансування, що необхідний для реалізації варіанта v_{r_i} .

Задача (2.19)–(2.21) є задачею дискретного програмування з багатьма обмеженнями, для розв’язання якої можуть використовуватись алгоритми послідовного аналізу варіантів та наближені методи [63, 77]. Результатом розв’язку задачі є комплекс різнотипних МНК $v^* = (v_{r_1}^*, \dots, v_{r_i}^*, \dots, v_{r_i^*}^*)$, де $v_{r_i}^* = (m_{j_{1i}}, \dots, m_{j_{si}})$, значення ресурсів $C(v^*)$ та значення ймовірності $P_H(v^*)$.

Як приклад розрахунку розглянемо мостову конструкцію. Об’єктами, до яких будуть застосовані МНК, будуть асфальтобетон, залізобетонні конструкції, місця зварювання, інші складові. Для виявлення множини пошкоджень H у мостовій конструкції можемо використовувати методи візуального контролю ($M_1 = \{m_{1k}\}, k \in K_1$), акустичні МНК ($M_2 = \{m_{2k}\}, k \in K_2$), радіолокаційні МНК (георадар) ($M_3 = \{m_{3k}\}, k \in K_3$), методи радіоскопії ($M_4 = \{m_{4k}\}, k \in K_4$). Водночас значення ймовірності виявлення множини пошкоджень цими методами при їх застосуванні у класичному підході становили: $P_{H1} = 0,891$; $P_{H2} = 0,85$; $P_{H3} = 0,8$; $P_{H4} = 0,75$.

Тоді у результаті розв’язку цієї задачі кожний комплект $v_{r_i}^*$ матиме вигляд $v_{r_i}^* = (m_{1k_1}, m_{2k_2}, m_{3k_3}, m_{4k_4})$, де $k_1 \in K_1 \subseteq K, k_2 \in K_2 \subseteq K, k_3 \in K_3 \subseteq K, k_4 \in K_4 \subseteq K$ – вибрані k -і модифікації відповідних МНК для виявлення i -го дефекту.

Спочатку використаємо лише візуальний контроль, тому ймовірність виявлення дефекту: $P_{поч} = p_1 = 0,891$.

У новому підході об’єднуємо три методи: візуальний + акустичний + георадар:

$$\begin{aligned} P_{онм} &= 1 - (1 - p_1)(1 - p_2)(1 - p_3) = 1 - (1 - 0,891)(1 - 0,85)(1 - 0,80) = \\ &= 1 - (0,109)(0,15)(0,20) = 1 - 0,00327 = 0,9967. \end{aligned}$$

Однак, припустимо, з якихось причин (наприклад складність або обмеження бюджету) в реальності не всі три методи були включені в повному обсязі. Тоді ймовірність підвищується не до 0,9967, а до: $P_{реал} = 0,967$.

$$\Delta P = ((0,967 - 0,891) \cdot 100\%) / 0,891 = 8,53\%.$$

Тому бачимо, що завдяки комбінації методів (навіть не всіх на 100 %) ймовірність виявлення дефекту може істотно зрости, у нашому випадку – на 8,53 % у відносному вираженні, що може критично вплинути на ефективність дорожнього ремонту.

Таким чином, способи удосконалення моделі можуть бути отримані шляхом додаткової оцінки критичності дефектів та критичності частин конструкції, на якій застосовуються МНК, або шляхом спрощення вибору комплексу МНК для окремих частин конструкції, що не потребують комплексного підходу.

2.2. Планування перевезення осіб автомобільними транспортними засобами для евакуації під час надзвичайних ситуацій з населених пунктів, що знаходяться в зоні ураження

У надзвичайних ситуаціях (НС), таких як техногенні аварії, природні катастрофи чи воєнні дії, оперативна й ефективна евакуація населення з небезпечних територій є критично важливою для збереження життя і здоров'я людей. В умовах таких подій прийняття рішень щодо перевезення населення має здійснюватися з урахуванням багатьох факторів, включаючи наявність транспортної інфраструктури, доступність ресурсів та ступінь небезпеки на різних ділянках маршруту. При цьому ефективне планування евакуації потребує комплексного підходу, який передбачає координацію між різними службами, забезпечення безпеки пересування, а також інтеграцію реального часу даних про стан транспортних коридорів і рівень загрози на відповідних територіях. Важливу роль відіграє також питання логістики тимчасового розміщення населення в зонах безпеки, що вимагає прогнозування потреб у ресурсах та розробки сценаріїв подальшого транспортування евакуйованих осіб.

Планування перевезень осіб автомобільними транспортними засобами в умовах обмежених ресурсів, складної інфраструктури та високого рівня ризику

потребує застосування математичних моделей, що дозволяють оптимізувати процеси евакуації. Оскільки у разі НС рішення щодо евакуації приймаються в умовах високої невизначеності, ці моделі мають враховувати різні сценарії розвитку подій, включаючи можливість блокування окремих маршрутів, зміну інтенсивності потоків транспорту та населення, а також появу нових загроз у процесі евакуації. Крім того, важливим аспектом є можливість гнучкого коригування маршрутів відповідно до змінних умов, що вимагає інтеграції системи моніторингу стану доріг у реальному часі. Окрім суто транспортних аспектів, такі моделі повинні враховувати й гуманітарні фактори, включаючи особливі потреби різних категорій населення (діти, особи похилого віку, люди з обмеженими можливостями), психологічний стан евакуйованих осіб, можливість утворення критичних скупчень людей на пунктах збору та транспортування.

Враховуючи, що управління евакуаційними процесами відбувається в умовах невизначеності та постійно змінної ситуації, актуальним є використання підходів, що базуються на теорії графів, диференціальних рівняннях та оптимізаційних методах. Це дозволяє моделювати транспортні мережі як системи з множиною обмежень і критеріїв ефективності, зокрема мінімізацію людських втрат. Використання математичних моделей дає можливість визначити найбільш безпечні й ефективні маршрути евакуації, оцінити потреби в транспортних засобах та ресурсах, а також здійснити розрахунок часу, необхідного для повного вивезення населення із зони ураження. Впровадження таких моделей дозволяє значно підвищити рівень підготовленості до надзвичайних ситуацій, що, у свою чергу, мінімізує ризики та сприяє підвищенню загального рівня безпеки під час евакуації.

Постановка і аналіз задачі. Нехай мережа автомобільних доріг (road network) представлена 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. Позначимо RS_i^+ – множина індексів вершин, які є суміжними з a_i , $i \in I$.

Позначимо $\delta_{ij}(t)$ – заплановане перевезення населення на момент $t \in (0, t^*)$ (чисельність осіб, яких відправляють з вершини a_i у вершину a_j), $y_{ij}(t)$ – потужність запланованої передислокації автотранспорту (спроможність перевезення населення, тобто кількість місць в автотранспорті) в момент $t \in (0, t^*)$ з вершини a_i у вершину a_j .

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 (кількість місць для пасажирів) автотранспортних ресурсів; $ER_i(\bullet, t)$ – обсяг наявних паливних ресурсів; та QT_i – кількість місць для тимчасового розміщення евакуйованих осіб.

Залежно від виду НС, наприклад техногенна аварія, природне лихо тощо, стан довкілля в кожному пункті, яким відповідають вершини a_i , $i \in I$, може належати до одного стану деякої скінченної множини $\Omega = \{1, 2, \dots, \omega^*\}$, де кожному стану $\omega \in \Omega$ в такому разі, наприклад, 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 $\omega \in \Omega$.

Нехай для кожного ребра $(a_i, a_j) \in RS$ задані значення таких характеристик: $\beta_{ij}(t)$ – пропускна спроможність автодороги; ds_{ij} – відстань; vd_{ij}^1 – швидкість перевезення осіб автотранспортом при евакуації; vd_{ij}^0 – швидкість передислокації порожнього автотранспорту (без жодної людини з-поміж людей, яких може перевозити).

Тоді для вершин такого графа можна записати різницеві рівняння для

чисельності населення:

$$Q_i(\bullet, t + \Delta t) = Q_i(\bullet, t) + \sum_{j \in RS_i^+} \delta_{ji}(t) \Delta t v d_{ji}^1 / ds_{ji} - \sum_{j \in RS_i^+} \delta_{ij}(t) \Delta t v d_{ij}^1 / ds_{ij}$$

Звідси запишемо диференційне рівняння та початкові умови:

$$\frac{dQ_i(\bullet, t)}{dt} = \sum_{j \in RS_i^+} (\delta_{ij}(t) v d_{ij}^1 - \delta_{ji}(t) v d_{ji}^0) / ds_{ij}, \quad Q_i(\bullet, 0) = Q_i^0 - \sum_{j \in RS_i^+} \delta_{ij}(0), \quad i \in I$$

де Q_i^0 – задані значення, $i \in I$. Подібні диференційні рівняння можна записати для наявних автотранспортних засобів та палива:

$$\begin{aligned} \frac{dVC_i(\bullet, t)}{dt} &= \sum_{j \in RS_i^+} (v d_{ji}^1 (\delta_{ji}(t) - \delta_{ij}(t)) + v d_{ji}^0 (y_{ji}(t) - y_{ij}(t))) / ds_{ij}, \\ \frac{dER_i(\bullet, t)}{dt} &= \sum_{j \in RS_i^+} ER^* (v d_{ji}^1 (\delta_{ji}(t) - \delta_{ij}(t)) + v d_{ji}^0 (y_{ji}(t) - y_{ij}(t))), \end{aligned}$$

де ER^* – коефіцієнт витрат палива, а початкові умови матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} VC_i(\bullet, 0) &= VC_i^0 - \sum_{j \in RS_i^+} (\delta_{ij}(0) + y_{ij}(0)), \\ ER_i(\bullet, 0) &= ER_i^0 - \sum_{j \in RS_i^+} ER^* ds_{ij} \delta_{ij}(0), \end{aligned}$$

де VC_i^0, ER_i^0 – задані значення, $i \in I$.

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

$$\sum_{i \in I} \sum_{\omega \in \Omega} \int_0^{t^*} R^{(\omega)} p_i^{(\omega)}(t) Q_i(\bullet, t) dt, \quad (2.22)$$

за умов:

$$ER_i(\bullet, t) \geq 0, VC_i(\bullet, t) \geq 0, Q_i(\bullet, t) \geq 0, i \in I, t \in (0, t^*), \quad (2.23)$$

$$\sum_{j \in RS_i^+} (\delta_{ij}(t) + y_{ij}(t)) \leq VC_i(\bullet, t), i \in I, t \in (0, t^*), \quad (2.24)$$

$$\sum_{j \in RS_i^+} \delta_{ij}(t) \leq Q_i(\bullet, t), i \in I, t \in (0, t^*), \quad (2.25)$$

$$\delta_{ij}(t) + y_{ij}(t) \leq \beta_{ij}(t), (a_i, a_j) \in RS, t \in (0, t^*), \quad (2.26)$$

$$\delta_{ij}(t) \geq 0, y_{ij}(t) \geq 0, (a_i, a_j) \in RS, t \in (0, t^*), \quad (2.27)$$

$$Q_i(\bullet, t^*) \leq Q_i(\bullet, 0) + QT_i, i \in I. \quad (2.28)$$

Умова (2.23) задає невід'ємність об'ємів паливних ресурсів, транспортних засобів та кількості населення в пунктах на весь період планування; (2.24) означає, що запланована кількість перевезень не перевищує наявної кількості транспортних засобів; (2.25) – кількість осіб, що планується вивезти з пункту, не перевищує наявної кількості населення; (2.26) – автошлях дозволяє здійснювати перевезення заданої потужності; (2.27) – невід'ємність чисельності осіб, яких заплановано перевезти, та потужності (кількості місць в автотранспорті) запланованого перевезення; (2.28) – обмеження на кількість місць для тимчасового розміщення евакуйованого населення.

Модель (2.22)–(2.28) є суттєвим спрощенням реальної ситуації. Шляхами її вдосконалення є модифікація критерію (2.22) 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 (діти, особи літнього віку, жінки), а також врахування особливостей аварій (необхідність санітарної обробки транспорту, неможливість його повторного використання після дезактивації при радіаційній аварії та ін.).

Висновки до розділу 2

У розділі 2 розглянуто й обґрунтовано математичні моделі, методи, механізми оперативної оцінки ефективності та інформаційні технології представлення результатів аналізу даних щодо стану об'єктів у системі автомобільних доріг України. Окремі висновки по деяких з них наведені нижче.

Показано, що скорочення фінансування будівництва, реконструкції або ремонту автомобільних доріг є вагомою причиною для зміни або перерозподілу коштів на роботи, що вже тривають, та ті, що мають початися пізніше згідно з планом робіт. Розв'язок задачі (2.8)–(2.10) надає план виділення фінансування за умови його скорочення і дозволяє змінювати обсяги фінансування, комплексно оцінюючи стан об'єкта: тут враховуються експертні оцінки важливості та стан завершеності робіт.

Планування усунення аварійно-небезпечних ділянок розглядається як задача мінімізації кількості ДТП на ділянках автомобільної дороги та мінімізації кількості можливих фатальних випадків у ДТП. Розв'язком задач (2.11)–(2.13) та (2.14)–(2.16) є план впровадження засобів та заходів, застосування яких зменшуватиме кількість ДТП на аварійно-небезпечних ділянках, а сукупна вартість таких засобів не буде перевищувати заданих обмежень.

Розглянута задача неруйнівного контролю полягає у виборі МНК у випадку, коли необхідно виявити одночасно всю множину пошкоджень H , оцінкою якості виявлення пошкоджень є показник, який сформований у критерії (2.20). Інформація про пошкодження та їх розташування є вхідними даними для баз даних і систем прийняття рішень інформаційного супроводження цих об'єктів.

Задача (2.22)–(2.28) планування евакуації населення автомобільним транспортом у разі надзвичайної ситуації, що загрожує здоров'ю людей на значній території, є складною як у плані моделювання, так і з погляду розробки алгоритму розв'язування. Тому наступним кроком її розв'язання має бути декомпозиція на більш прості за виконанням та зрозумілі підзадачі.

РОЗДІЛ 3. МЕТОД ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА ТА АНАЛІЗ ПОТОКІВ ДАНИХ В НІЙ

У цьому розділі розглядаються ключові аспекти організації інформаційного обміну та управління даними в системі моніторингу дорожнього господарства. Основна увага приділяється побудові ефективної моделі інформаційної взаємодії між різними рівнями управління в галузі, що охоплює як центральні органи, так і регіональні підрозділи. В умовах постійного зростання обсягів даних про стан автомобільних доріг процеси їх обробки, аналізу та використання для прийняття рішень потребують комплексного підходу, що поєднує організаційні та технічні рішення.

Проведено аналіз інформаційних потоків, що забезпечують обмін даними між різними учасниками системи дорожнього господарства, а також моделі, які дають змогу структурувати й оптимізувати ці процеси. Такі моделі базуються на принципах централізованого управління даними, що дозволяє забезпечити їхню цілісність, узгодженість та оперативну доступність. Крім того, розглядаються питання побудови інформаційно-аналітичної системи, яка інтегрує різноманітні дані для підтримки процесів планування, контролю та моніторингу в дорожній галузі.

3.1. Схема інформаційного обміну в організаційній структурі дорожнього господарства

Підтримка прийняття управлінських рішень щодо розробки виробничих планів, розвитку виробничих потужностей і об'єктів виробничого призначення, що мають загальногалузеве значення відповідно до стратегії розвитку й удосконалення мережі автомобільних доріг загального користування, державних, цільових комплексних і соціальних програм розвитку дорожнього

господарства, забезпечення отримання детальної оцінки стану об'єктів будівництва, реконструкції, ремонту та поточного утримання автомобільних доріг, зважаючи на велику кількість даних і можливих учасників прийняття та коригування рішення, є складним процесом, який потребує детального аналізу та побудови схеми обміну інформацією.

Ефективний інформаційний обмін є критично важливим для забезпечення безперервності управлінських процесів, координації діяльності між підрозділами та прийняття своєчасних рішень щодо стану дорожньої інфраструктури. У контексті управління дорожнім господарством це означає не лише передачу звітної інформації, але й оперативний обмін аналітичними даними, планами робіт, ресурсними потребами та іншими даними, що впливають на планування і реалізацію заходів з будівництва, реконструкції, ремонту та утримання автомобільних доріг. Наявність чітко визначеної схеми інформаційного обміну дозволяє знизити ризики втрати важливих даних, забезпечити їх актуальність і достовірність, а також сприяти підвищенню ефективності взаємодії між усіма учасниками процесу.

Аналізуючи інформаційні потоки центрального органу виконавчої влади, який відповідає за дорожню галузь, форми звітності, електронне представлення документів, можна визначити наступні основні елементи циклу інформаційного обміну (рис. 3.1).

Звіти за планові та позапланові роботи по кожній ділянці мережі автомобільних доріг готуються на рівні регіональних служб автомобільних доріг, далі направляються до відповідальних за різні напрями роботи відділів, департаментів та управління державної агенції автомобільних доріг України. Вже там формуються фінальні звіти для моніторингу й оцінки поточного стану та можливості коригування майбутніх робіт, які будуть направлені назад у регіональні служби.

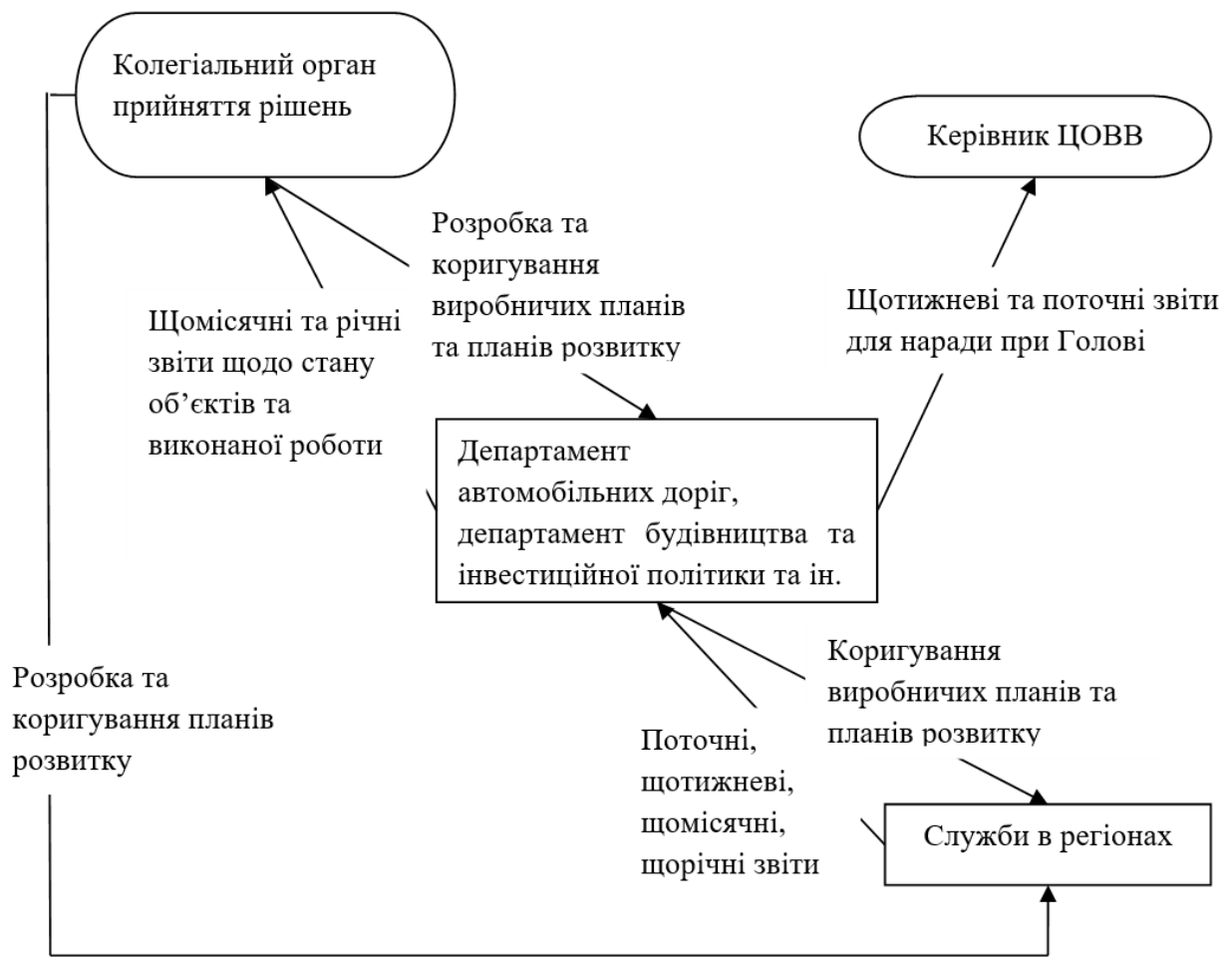


Рис. 3.1. Спрощена схема інформаційного обміну між організаційними підсистемами

Джерело: складено автором

Відправним етапом кожного циклу можна вважати подання звітів з регіонів, а завершальним – формування аналітичних звітів на основі поданих регіонами річних звітів.

Основною задачею при створенні програмного забезпечення для такої системи є створення засобів автоматизованого генерування документів загальної звітності на основі даних, отриманих від регіонів. Це завдання може вирішуватися 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.

3.2. Модель організаційно-інформаційної взаємодії в автодорожній галузі

Організаційно-інформаційна взаємодія в автодорожній галузі є складним багаторівневим процесом, який включає координацію між центральними органами управління, регіональними службами та іншими зацікавленими сторонами. Для ефективного управління дорожнім господарством необхідно забезпечити систематизований збір, обробку та аналіз даних щодо стану автомобільних доріг, планових і фактичних ремонтних робіт, використання фінансових ресурсів, а також інших критично важливих показників. Відсутність єдиного підходу до інформаційного обміну може призвести до розбіжностей у даних, що ускладнює прийняття управлінських рішень та ефективне планування розвитку дорожньої інфраструктури.

У зв'язку з цим виникає необхідність у створенні моделі, яка б забезпечувала стандартизовану інформаційно-організаційну взаємодію між різними рівнями управління дорожнім господарством. Така модель має передбачати єдиний формат подання звітної інформації, автоматизовані механізми збору та обробки даних, а також можливість інтеграції з іншими інформаційними системами, які використовуються в галузі. Використання сучасних інформаційних технологій дозволяє значно підвищити ефективність роботи дорожніх служб, зменшити адміністративне навантаження та прискорити процеси прийняття рішень.

Основним інтерфейсом для інформаційно-організаційної взаємодії для ІАС або іншої системи підтримки прийняття рішень є форма звітності. Інформаційні потоки введення та редагування даних у формах звітності можна представити у схематичній формі (рис. 3.2). У головному адміністративному органі дорожньої галузі встановлюються спеціальні шаблони звітності, які

передаються регіональним службам для їх заповнення. Також у центральному апараті здійснюється збір та об'єднання інформації з різних підрозділів, департаментів, управлінь тощо.



Рис. 3.2. Схема інформаційної взаємодії між робочими місцями організації через форми звітності

Джерело: складено автором

Основна мета структури саме такої взаємодії – забезпечити стандартизований, контрольований і прозорий процес обміну звітною інформацією між регіональними підрозділами дорожніх служб і центральними органами управління галузі.

У структурі взаємодії виокремлюються два основні рівні користувачів: регіональні співробітники, відповідальні за заповнення форм, і уповноважені співробітники центрального апарату, які аналізують, об'єднують і

використовують інформацію для прийняття рішень. Обмін інформацією відбувається через захищене мережеве середовище (локальна мережа та Інтернет), що забезпечує уніфікований доступ до централізованого сховища форм звітності.

Схема включає ключові етапи інформаційного циклу: створення шаблонів звітності, введення первинних даних у форми, відкриття доступу до спільної роботи над звітом, формування підсумкових документів та повторне внесення змін у разі необхідності. Центральна роль тут належить функції відкриття доступу до форм, яка передбачає регламентований механізм делегування прав редагування або перегляду, що підвищує безпеку і контрольованість інформаційного процесу.

Узгоджена логіка передачі звітності дозволяє реалізувати покрокову перевірку на кожному етапі: від створення та редагування форм до їх узагальнення у фінальних документах, що надходять до вищих органів управління. Така організація мінімізує ризики втрати або викривлення даних, а також зменшує кількість неузгоджених дій між учасниками процесу. Запровадження такої моделі інтегрується з архітектурою ІАС і дозволяє забезпечити цілісність інформаційного середовища, в якому обробляються економічні й технічні показники стану дорожньої інфраструктури.

Інформація, що міститься у звітах, відіграє ключову роль у створенні системи моніторингу стану автомобільних доріг. Пропонується новий системний підхід, який охоплює моніторинг різних рівнів та типів доріг, а також капітальних споруд на них. Його головна особливість полягає у розгляді економічних показників дорожнього господарства (плановані, фактичні та витрачені кошти, а також фізичні параметри, які є цільовими для цих витрат). Ці дані використовуються для аналізу і планування робіт з будівництва, реконструкції та ремонту автомобільних доріг загального значення. Структура обміну даними у такій системі ілюструється на схемі, показаній на рис. 3.3.

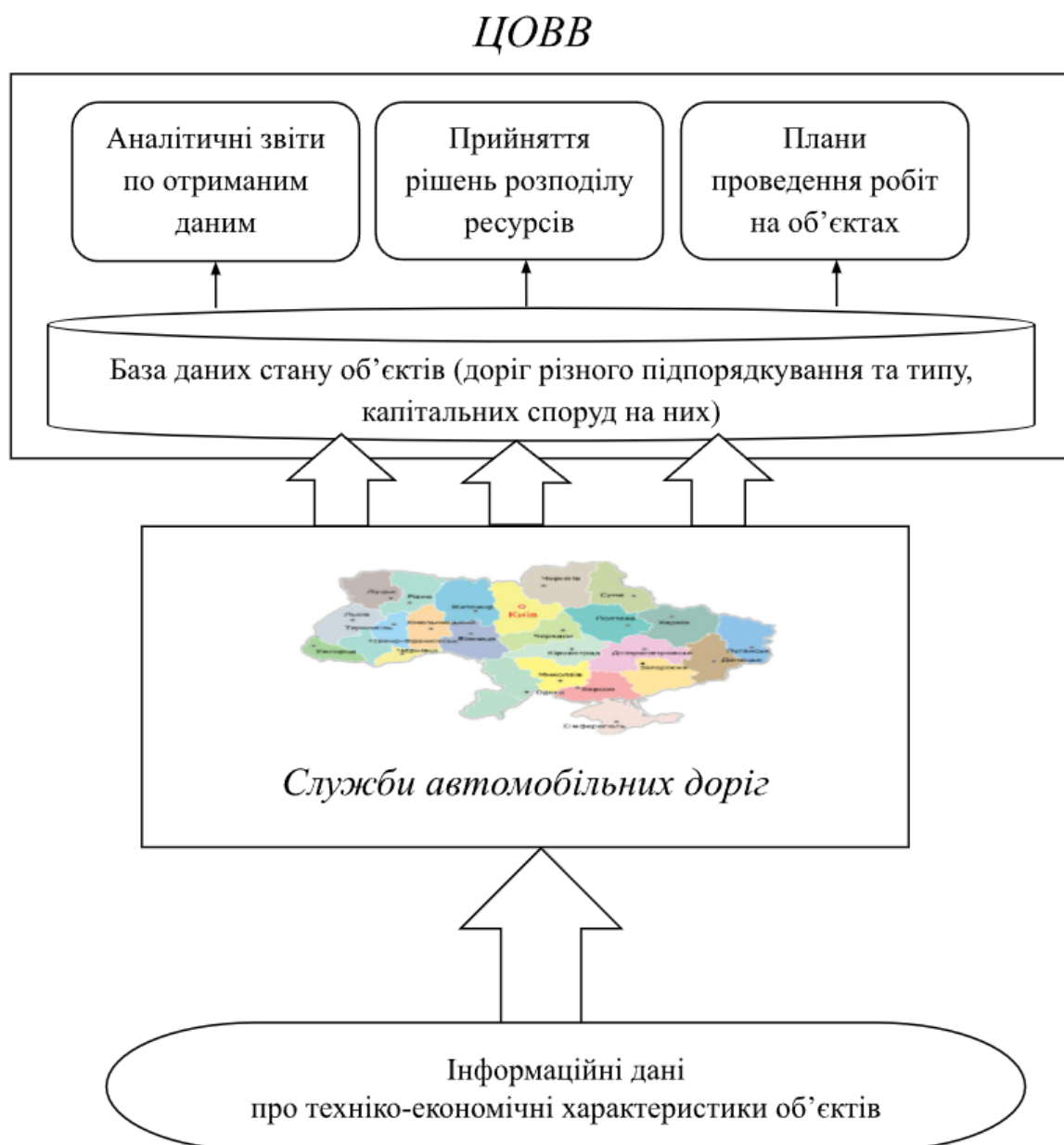


Рис. 3.3. Загальна схема інформаційних зв'язків в ІАС

Джерело: складено автором

Цей підхід визначається своєрідністю в оцінюванні не лише технічного стану доріг, але й їх ефективності з економічного погляду. Це дозволяє здійснювати збалансований та цілеспрямований підхід до управління дорожнім господарством, що є ключовим чинником у плануванні та виконанні робіт з покращення дорожньої інфраструктури.

Загальна схема інформаційних зв'язків, зображена на рис. 3.3, відображає ключові механізми збору, передачі, накопичення та подальшого використання

даних у межах функціонування ІАС. На базовому рівні формування інформаційного потоку відбувається за рахунок збору даних у службах автомобільних доріг, розташованих у різних регіонах. Ці служби здійснюють первинне наповнення системи інформацією про техніко-економічні характеристики об'єктів дорожньої інфраструктури, включаючи поточний стан покриття, наявність і стан штучних споруд, обсяг виконаних робіт, а також заплановані або фактично витрачені ресурси.

Зібрані дані систематизуються за встановленими форматами та передаються до центральної бази даних стану об'єктів. У цій базі відбувається консолідація інформації за різними рівнями підпорядкування, типами об'єктів (дороги загального користування, мости, шляхопроводи тощо), а також за формами фінансування. Важливим аспектом є те, що система враховує не лише фізичні характеристики об'єктів, а й економічні параметри, що дозволяє пов'язувати технічний стан із плановими та фактичними витратами. Створення такої зв'язності дозволяє побудувати інтегрований масив даних, на основі якого реалізуються аналітичні функції.

Використання математичних моделей, реалізованих у функціональних модулях ІАС, дає змогу здійснювати обробку зібраних даних із метою генерації трьох основних типів інформаційних продуктів: аналітичних звітів за отриманими даними, рішень щодо розподілу ресурсів, а також планів проведення робіт на об'єктах дорожнього господарства. Аналітичні звіти включають як підсумкові, так і порівняльні показники, що дозволяють оцінити динаміку технічного стану або фінансових витрат за періодами. Механізм прийняття рішень щодо розподілу ресурсів спирається на пріоритетність об'єктів, виявлену за результатами аналізу, а плани робіт формуються з урахуванням доступного фінансування та прогнозованої ефективності втручань.

ІАС створює можливість збирати, обробляти та аналізувати великий обсяг інформації з різних джерел, що допомагає приймати обґрунтовані рішення з управління автомобільною інфраструктурою. Це важливий крок у напрямі

оптимізації витрат, підвищення ефективності та забезпечення безпеки на дорогах.

ІАС має модульну структуру, до складу якої входять підсистеми управління користувачами, управління модулями (програмними компонентами), управління параметрами (показниками) і сховищем даних, різноманітні функціональні модулі, які реалізують конкретні завдання обробки інформації (рис. 3.4).

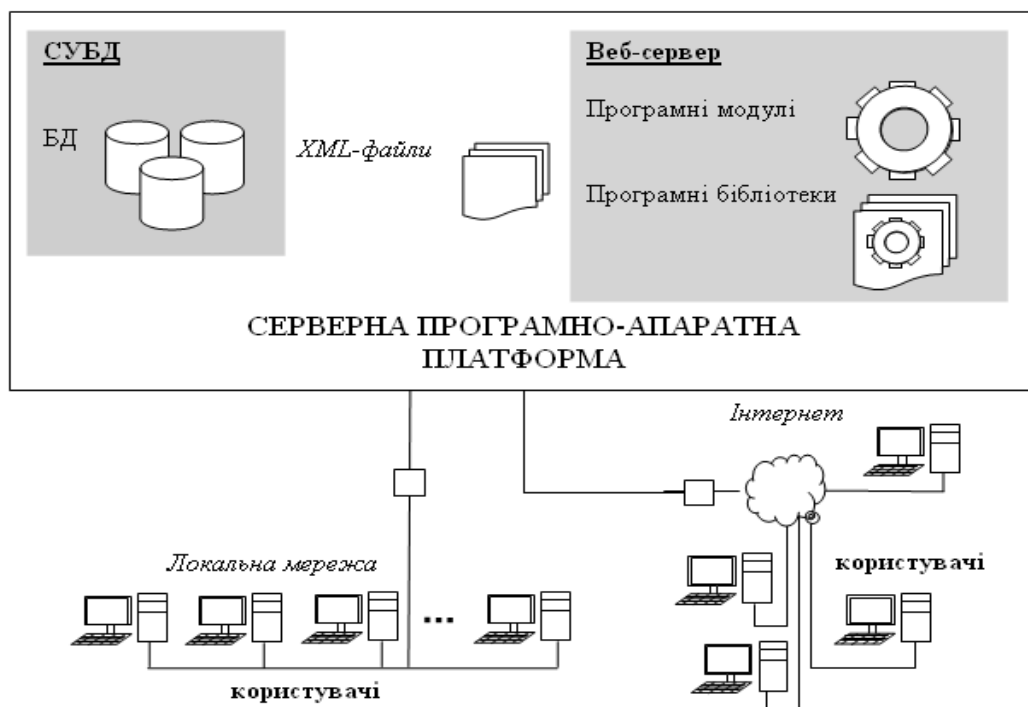


Рис. 3.4. Схема функціональної взаємодії основних компонентів ІАС моніторингу дорожньо-транспортного господарства

Джерело: складено автором

Згідно зі схемою на рис. 3.4 ІАС включає:

- апаратне забезпечення (комплекс технічних засобів – мережеве, серверне обладнання);
- програмне забезпечення (засоби, що забезпечують зберігання даних, моделі та методи аналізу, агрегації, візуалізації даних);
- дані (якісні та кількісні характеристики об'єктів);

- користувачів (технічних спеціалістів та відповідальних співробітників, які користуються системою).

Рис. 3.4 ілюструє логіку взаємодії між основними компонентами ІАС у процесі обробки запитів, що надходять від користувачів, і формування відповідей у вигляді візуалізованої або табличної інформації. Архітектура побудована за клієнт-серверним принципом, де користувачі взаємодіють із вебінтерфейсом, який є посередником між ними та центральною серверною платформою.

Запити користувачів передаються через локальну мережу або Інтернет на вебсервер, де розміщено програмні модулі та бібліотеки, що реалізують логіку обробки даних. Вебсервер виконує роль центру маршрутизації запитів: залежно від їх змісту запити можуть бути спрямовані на отримання збережених даних із бази даних, ініціювання обчислень, формування динамічних звітів або запуск модуля візуалізації.

Особливістю взаємодії є чітке розмежування між середовищем зберігання даних (СУБД) і програмними компонентами, які здійснюють логіку доступу та обробки. Дані з бази можуть передаватись у форматі XML-файлів або через прямі SQL-запити, що дає змогу забезпечити як структуровану передачу великих обсягів інформації, так і швидке отримання результатів у відповідь на прості запити.

Програмні бібліотеки, що працюють на стороні сервера, відповідають за формування відповідей у форматі, зручному для подальшої інтерпретації, – наприклад графіки, діаграми, інтерактивні таблиці. Це дозволяє реалізувати повний цикл: від введення запиту до отримання управлінської інформації у зрозумілому вигляді. Узгоджена робота серверної платформи з мережею клієнтів забезпечує паралельну підтримку великої кількості користувачів із різних територіальних рівнів, що є критично важливим для державного моніторингу дорожньої інфраструктури.

Відповідно ІАС має відповідати таким основним вимогам:

- реалізована як централізована система з віддаленим клієнтом на базі веббраузера;
- характеризується відкритістю, модульністю побудови, гнучкістю, надійністю, технологічністю, наступністю, а також можливістю здійснення ізольованої розробки;
- забезпечує доступ до всіх інформаційних ресурсів системи з урахуванням встановлених прав доступу та за рахунок забезпечення ефективної обробки інформації, що надходить;
- забезпечує оптимальне розподілення обробки даних в обчислювальній мережі для підвищення ефективності функціонування;
- забезпечує вільне змінювання масштабу та адаптацію до зміни кількості користувачів.

ІАС забезпечуватиме:

- простоту використання і встановлення клієнтських компонентів програмного забезпечення;
- єдиний інтерфейс роботи користувачів з компонентами ІАС;
- організацію доступу користувачів до компонентів та інформаційних ресурсів системи згідно з їхніми посадовими обов'язками;
- проведення аналізу даних, формування таблиць і створення діаграм для звітів та інших аналітичних документів.

Програмне забезпечення призначене для впровадження алгоритмів підтримки процесів зберігання, оновлення, обміну, збирання та аналітичної обробки даних.

Система управління базами даних ІАС забезпечує:

- безперебійну обробку всіх операцій та здійснення всіх операцій в режимі транзакцій;
- безперебійну роботу системи в режимі онлайн (без зупинки роботи системи) у разі збою комп'ютерної техніки та/або обладнання;

- розмежування доступу операторів (відповідальних користувачів) інформаційної системи до її різних компонент;
- створення резервних копій даних і відновлення баз даних із цих резервних копій;
- конвертування баз даних в інші можливі формати даних.

Програмна реалізація інформаційного забезпечення виконує такі функції:

- введення та накопичення даних;
- швидкий пошук та доступ до необхідних даних у системі;
- забезпечення обробки даних різних звітних періодів.

Вога враховує такі основні принципи:

- централізоване управління даними, що накопичуються у базах даних системи;
- багатоцільове використання даних загального користування різними групами користувачів з різним рівнем доступу.

Інформаційне забезпечення системи відповідає таким вимогам:

- зберігає інформацію в потрібному та достатньому для вирішення завдань системи обсязі, а також для забезпечення реалізації функцій системи;
- забезпечує копіювання і зберігання певних масивів інформації згідно з вимогами до зберігання інформації;
- забезпечує мінімальний обсяг ручного введення вхідних даних;
- забезпечує можливість розширення інформаційних масивів, враховуючи перспективи планів розвитку системи.

3.3. Архітектура інформаційно-аналітичної системи моніторингу стану автодорожнього господарства

Ефективне управління дорожньою інфраструктурою потребує комплексного підходу до збору, обробки та аналізу даних, що стосуються стану

доріг, транспортних потоків, фінансування та виконання ремонтних робіт. Структура ІАС також має враховувати різноманітні потреби користувачів – від керівників національного рівня, які формують стратегічні плани розвитку дорожнього господарства, до регіональних служб, які здійснюють безпосереднє виконання ремонтних та експлуатаційних робіт.

ІАС спроектована з урахуванням можливості етапного розвитку та впровадження окремих компонентів, забезпечення обміну даними з наявними інформаційними системами, а також з іншими організаціями та установами, їхні дані використовуються за узгодженням з центральним державним органом управління.

ІАС розроблена з урахуванням можливостей модифікації окремих модулів та системи загалом, а також розвитку, пов'язаних із:

- впровадженням нових інформаційних технологій і задач організації;
- підключенням до системи нових користувачів різних рівнів;
- розвитком інформаційної інфраструктури об'єктів, що взаємодіють з ІАС;
- впровадженням у систему нових технічних або 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.

Враховуючи формат електронних звітних форм, в яких агрегуються дані, отримані з регіональних служб автомобільних доріг, можна запропонувати ієрархічну систему показників (фрагмент представлено на рис. 3.5).

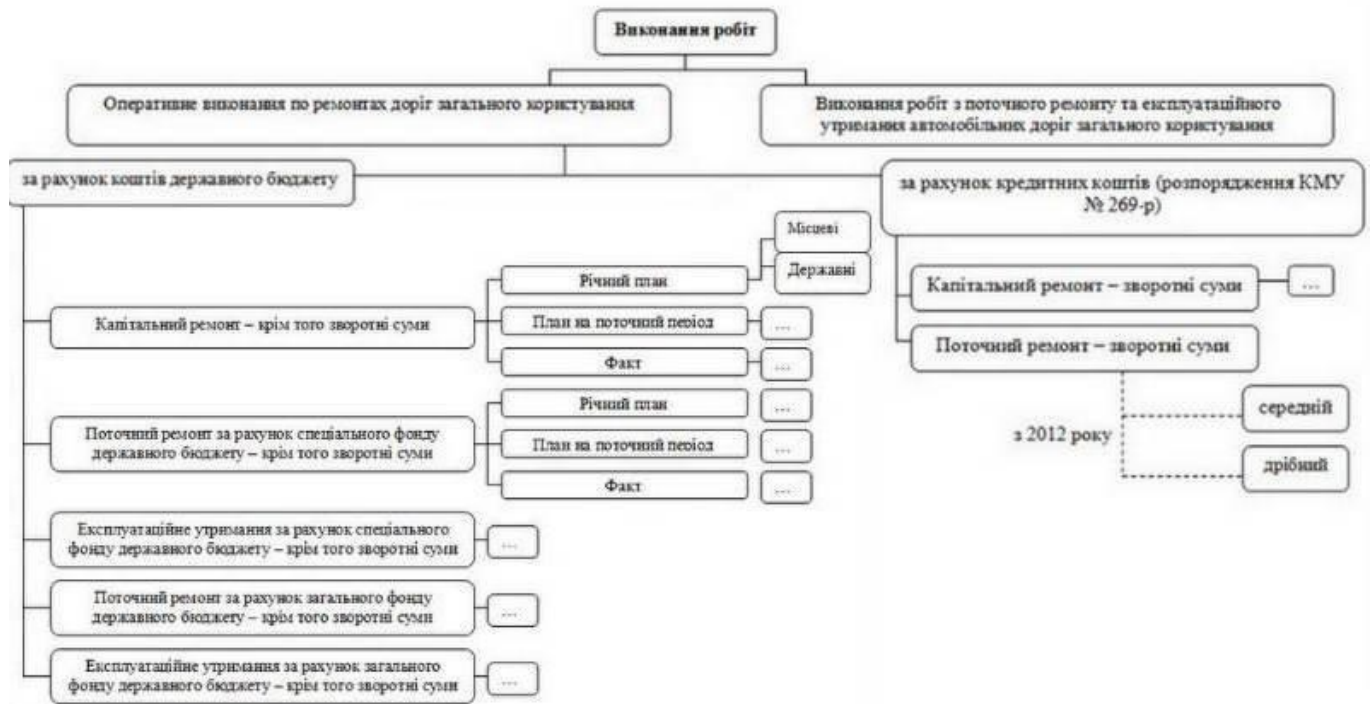


Рис. 3.5. Фрагмент ієрархічної системи показників

Джерело: складено автором

Структура показників фіксується шляхом введення порозрядної кодифікації, приклад якої наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Фрагмент таблиці ієрархічних кодів для показників

1100000000	Оперативне виконання по ремонтах доріг загального користування
1110000000	за рахунок коштів державного бюджету
1111000000	Капітальний ремонт
1111100000	Річний план
1111110000	Місцеві
1111112000	Державні
1111200000	План на поточний період
...	
1111300000	Факт
...	
1112000000	Капітальний ремонт – крім того, зворотні суми
...	

1112200000	План на поточний період
...	
1112300000	Факт
...	
...	

Джерело: складено автором

Введення ієрархічної структури показників дає змогу впорядковувати і класифікувати дані на кожному рівні ієрархії. Наприклад, на рис. 3.6–3.11 показано розбиття даних по показниках за їх класифікаційними ознаками.

Детальніше розглянемо по одному прикладу кожного рівня. Так, роботи, що проводяться на автомобільних дорогах загального користування, можна розбити за такою класифікацією на капітальні ремонти і роботи з поточних ремонтів та експлуатаційного утримання (рис. 3.6).

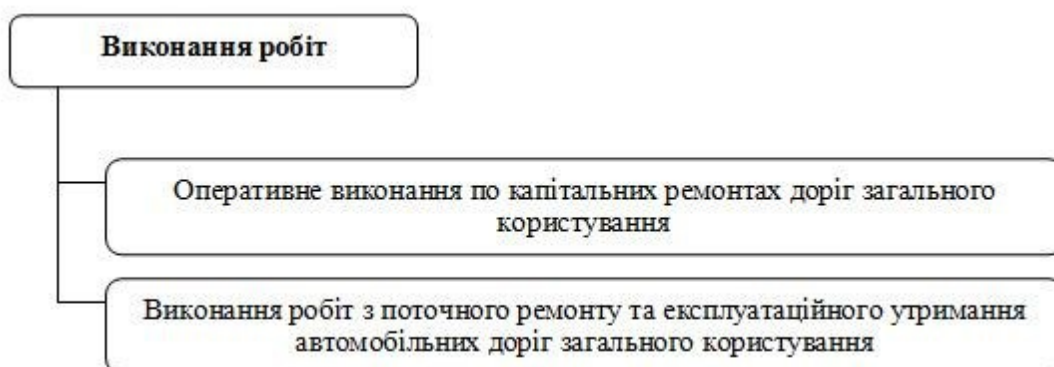


Рис. 3.6. Приклади класифікації показників першого рівня

Джерело: складено автором

Прикладом класифікації другого рівня ієрархії буде розбиття робіт з ремонту та експлуатаційного утримання окремо на дорогах загального, а окремо на дорогах місцевого значення (рис. 3.7).

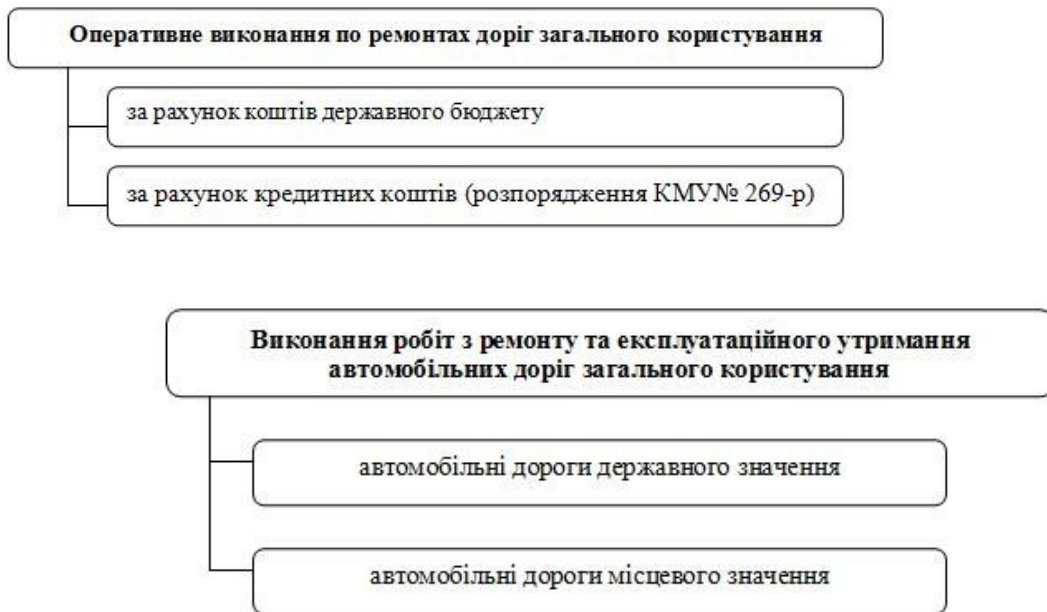


Рис. 3.7. Приклади класифікації показників другого рівня

Джерело: складено автором

На третьому рівні фінансування робіт на дорогах матиме показники річного плану, фактично виконаних робіт та робіт, на які фінансування не було виділене, але було заплановане (рис. 3.8).



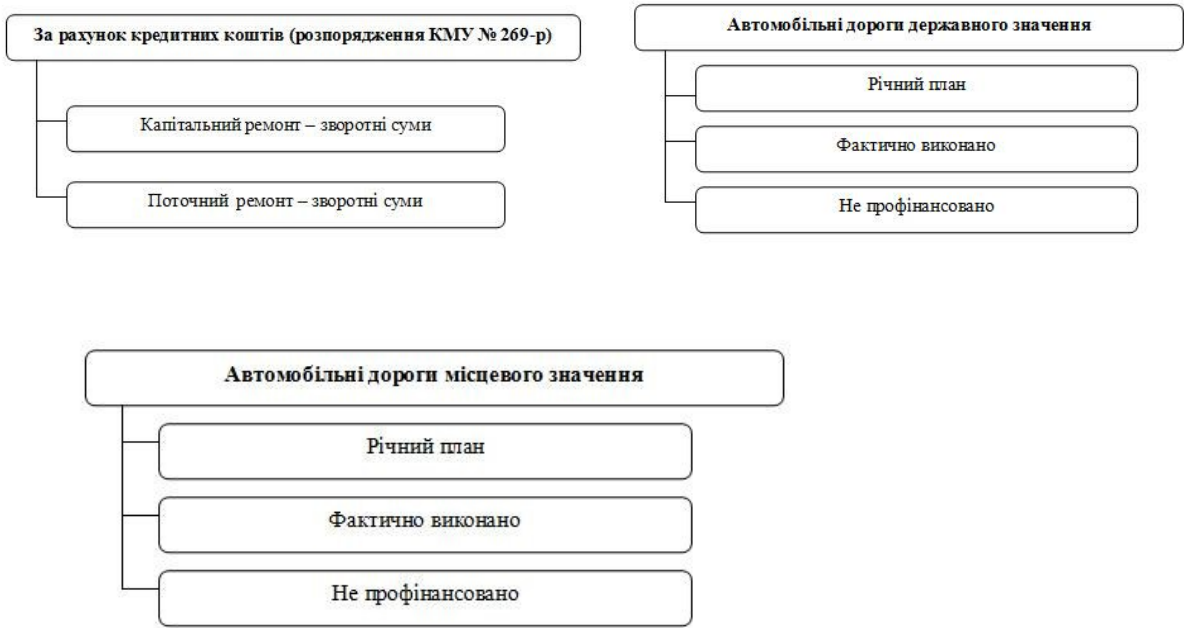


Рис. 3.8. Приклади класифікації показників третього рівня
Джерело: складено автором

На четвертому рівні ієрархії, наприклад, показник фінансування капітальних ремонтів зі зворотними сумами розділяється на показник річного плану, плану на поточний період та показник виконаних і профінансованих робіт (рис. 3.9).

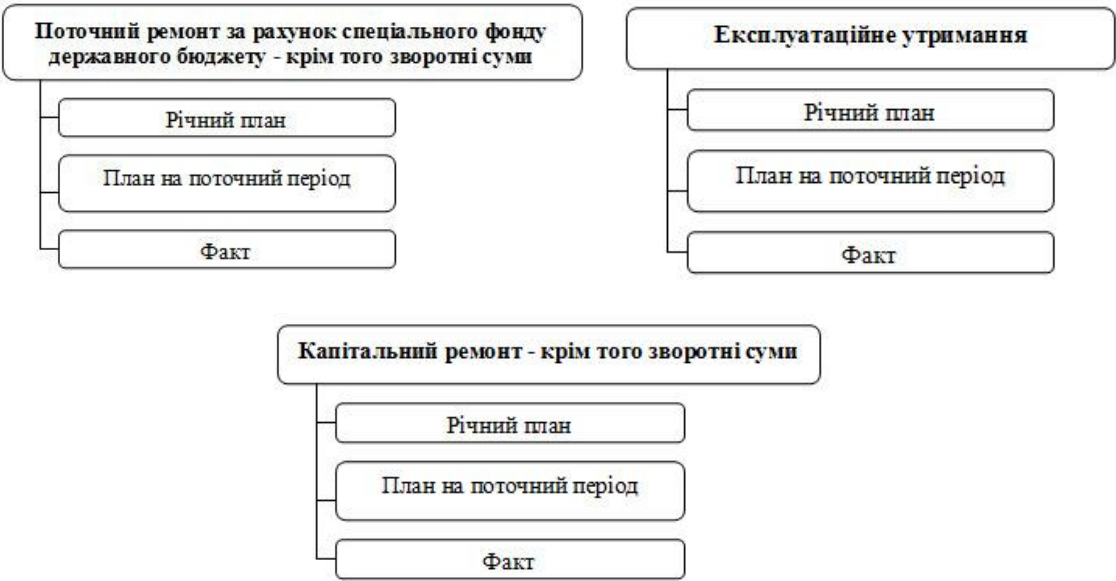


Рис. 3.9. Приклади класифікації показників четвертого рівня
Джерело: складено автором

На рис 3.10 та 3.11 наведено приклади показників п'ятого рівня ієрархії, які є останніми та вводяться відповідальними співробітниками.

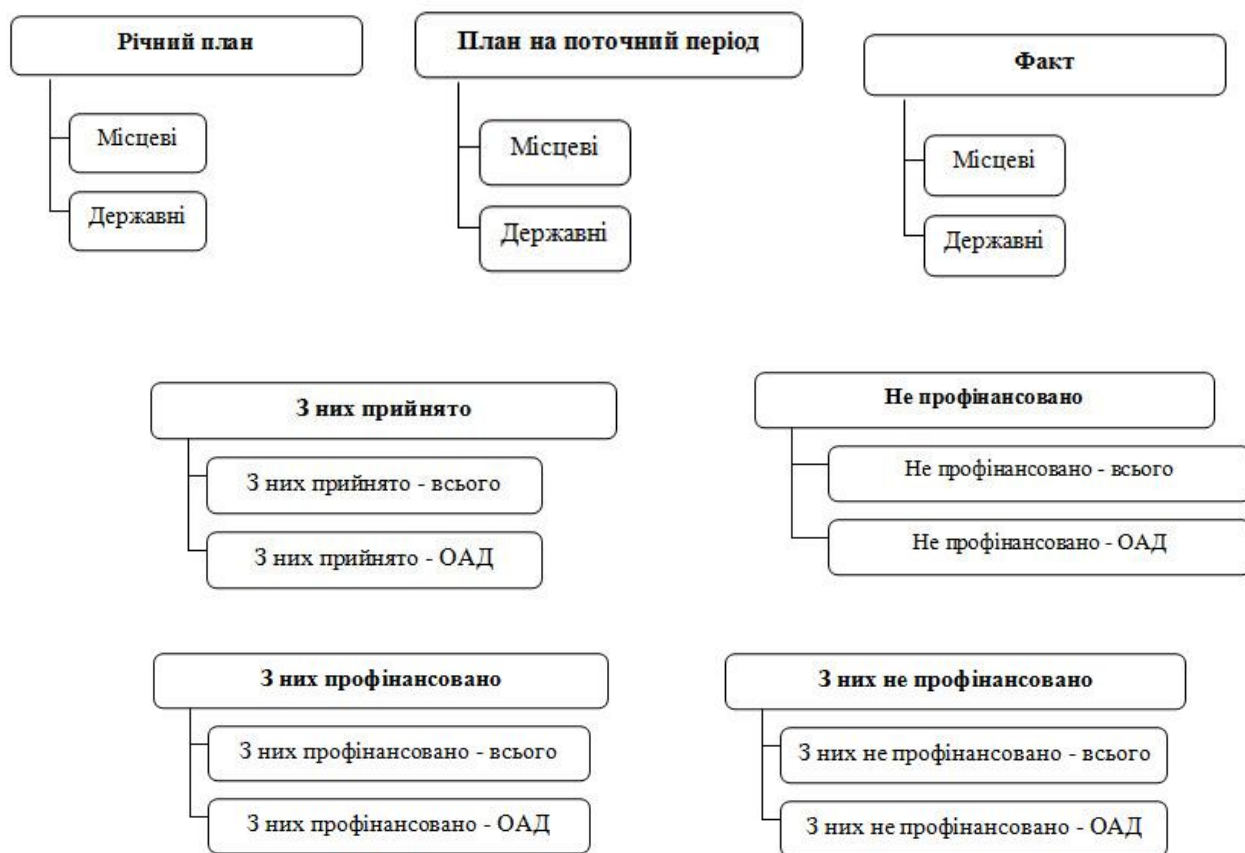


Рис. 3.10. Приклади класифікації показників п'ятого рівня

Джерело: складено автором

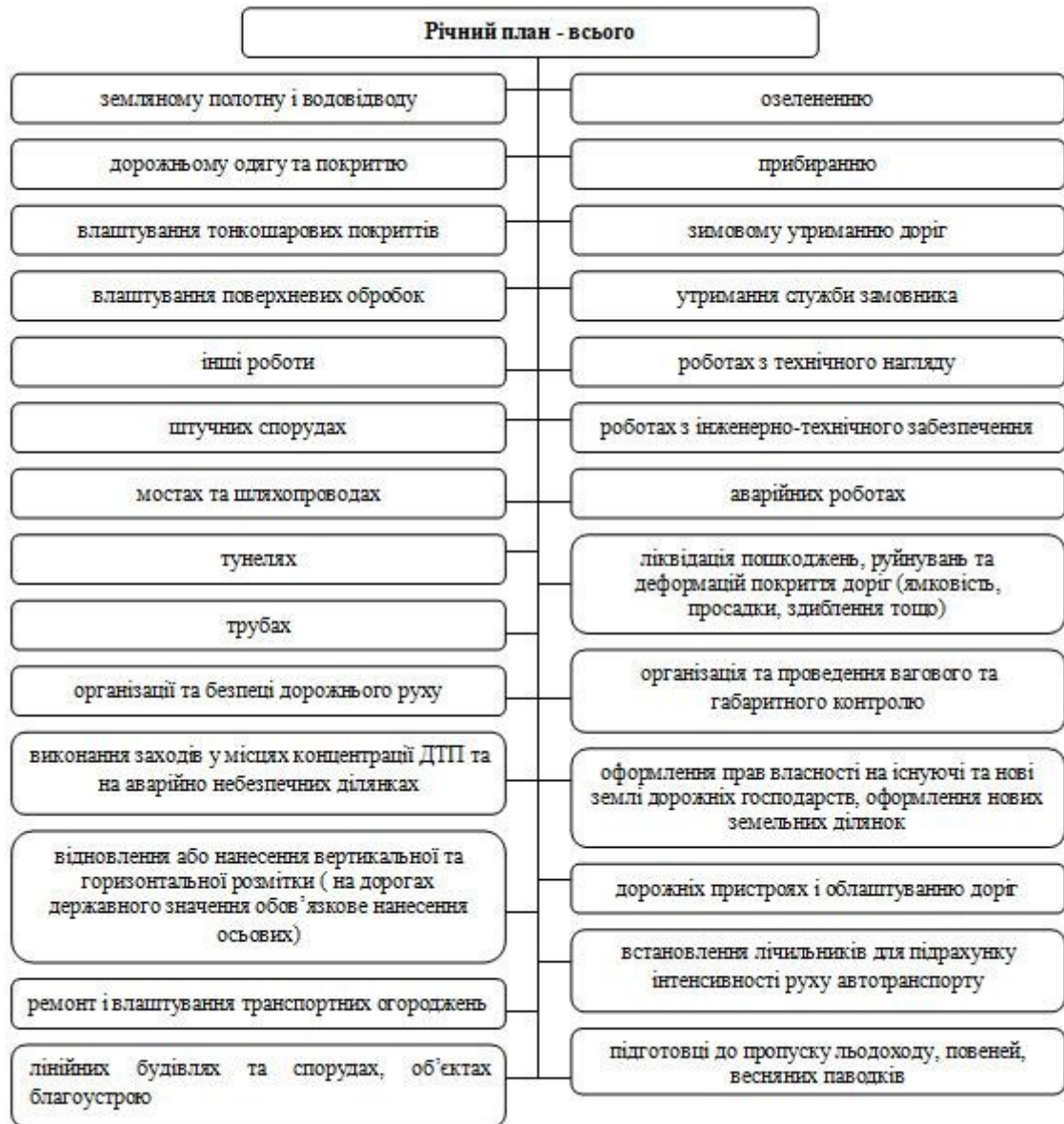


Рис. 3.11. Приклад класифікації показника п'ятого рівня

Джерело: складено автором

Таким чином, ієрархічна система показників дозволяє структуровано зберігати та обробляти великі обсяги даних, що є критично важливим для аналізу динаміки змін у стані доріг, ефективності використання фінансових ресурсів і планування ремонтних робіт. Такий підхід сприяє не лише покращенню процесів моніторингу, а й підвищенню рівня прозорості та обґрунтованості управлінських рішень, оскільки забезпечує цілісність і узгодженість інформації на всіх рівнях управління.

Класифікація показників за ієрархічною моделлю створює умови для ефективної агрегації даних та їх подальшого аналізу, що дозволяє формувати комплексні аналітичні звіти, прогнозувати потреби у фінансуванні й оперативно ідентифікувати критичні ділянки дорожньої мережі. Це значно підвищує ефективність використання ресурсів, оптимізує процеси планування ремонтних і будівельних робіт.

Ця ієрархічна структура класифікації може бути перебудована зі зміненням рівнів. В результаті на найвищому рівні в класифікації може розглядатися показник, за яким дороги класифікуються на державні та місцеві.

Використовуючи цю ієрархічну структуру, проаналізовану схему інформаційного обміну та запропоновану модель організаційно-інформаційної взаємодії, розроблено метод побудови інформаційно-аналітичної системи моніторингу дорожнього господарства (рис. 3.12), що відповідає потребам державного регулювання і враховує специфіку фінансування дорожніх робіт.

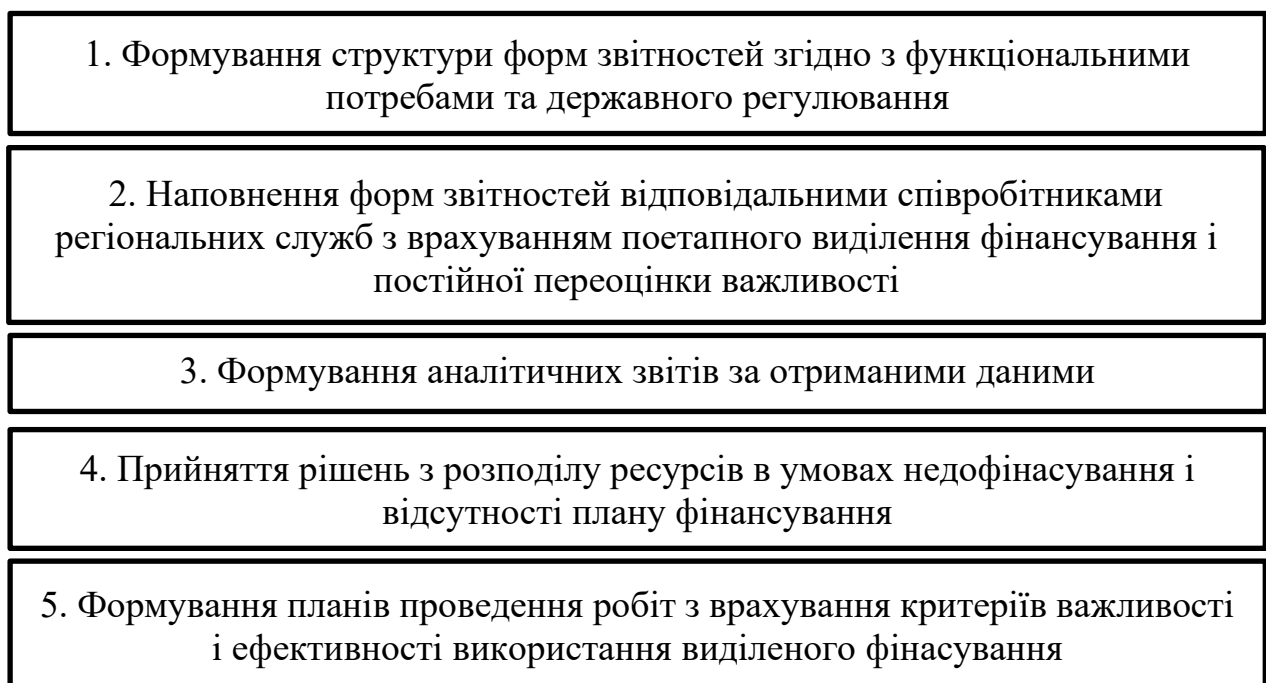


Рис. 3.12. Метод побудови інформаційно-аналітичної системи

Джерело: складено автором

Метод дає змогу зменшити навантаження на регіональні підрозділи за рахунок уніфікованих форм збору даних та забезпечити оперативну підтримку прийняття управлінських рішень. Він передбачає поетапну організацію процесу прийняття управлінських рішень у дорожньому господарстві.

Метод побудови інформаційно-аналітичної системи моніторингу дорожнього господарства 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 й 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 і дає змогу зменшити кількість ітерацій введення та обробки даних щодо стану об'єктів будівництва, ремонту та реконструкції щонайменше вдвічі.

Також пропонується удосконалена інформаційна технологія моніторингу та аналізу ефективності управління автомобільними дорогами (рис. 3.13) з врахуванням попередніх результатів.

Така структура інформаційної технології забезпечує підтримку стратегічних і оперативних рішень у сфері планування, реконструкції та ремонту дорожньої інфраструктури. Вона побудована на основі взаємопов'язаних елементів, що охоплюють збір, обробку, збереження, аналіз та візуалізацію даних, необхідних для ефективного управління.

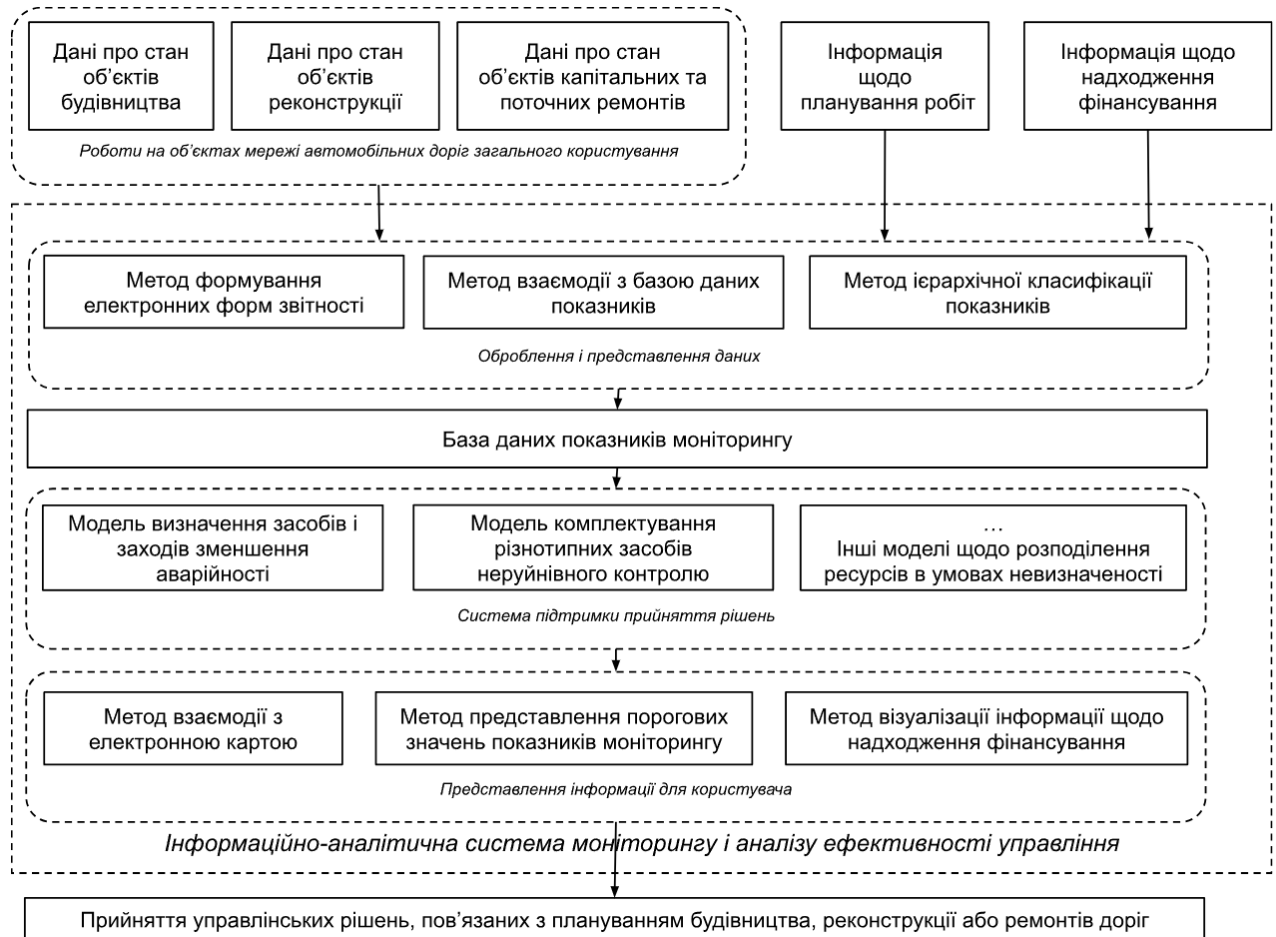


Рис. 3.13. Структурна схема інформаційної технології моніторингу і аналізу ефективності управління

Джерело: складено автором

На першому рівні передбачено надходження вхідних даних, зокрема інформації про стан об'єктів будівництва, реконструкції, капітального та поточного ремонту, а також даних про планування робіт і фінансування. Ці дані надходять з різних джерел і відображають поточний стан об'єктів дорожньої інфраструктури.

На етапі оброблення і представлення даних використовуються метод формування електронних форм звітності, метод взаємодії з базою даних показників та метод ієрархічної класифікації показників. Зібрана інформація уніфікується та зберігається в базі даних показників моніторингу, яка є центральним ядром.

Далі реалізується блок підтримки прийняття рішень, який включає модель визначення засобів і заходів зменшення аварійності, модель комплектування засобів неруйнівного контролю, а також інші моделі, орієнтовані на розподіл ресурсів в умовах невизначеності. Це дозволяє оптимізувати розподіл обмежених фінансових та матеріально-технічних ресурсів, враховуючи пріоритетність об'єктів.

Завершальний рівень відповідає за представлення інформації для користувача. До нього належать метод взаємодії з електронною картою, метод представлення порогових значень показників моніторингу та метод візуалізації інформації про надходження фінансування. Сукупність цих компонентів забезпечує формування прозорого інформаційного середовища для прийняття управлінських рішень щодо планування дорожніх робіт в умовах дефіциту ресурсів і високого рівня невизначеності.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі детально проаналізовано структуру і рух інформації в органі державного управління дорожньою галуззю, виділено основні інформаційні потоки системи прийняття управлінських рішень у галузі.

Виділено проблеми інформаційного обміну та інформатизації потоків даних. Сформовано ефективну модель інформаційного обміну в організаційній структурі управління дорожньою галуззю, яка враховує багаторівневу систему взаємодії між регіональними службами, центральними органами управління та іншими учасниками процесу прийняття рішень. Запропонована схема обміну інформацією забезпечує цілісність, несуперечливість і актуальність даних, що дозволяє оперативно формувати аналітичні звіти та підвищує якість управлінських рішень.

Розроблено модель організаційно-інформаційної взаємодії, що базується на системному підході до аналізу економічних показників дорожнього

господарства. Ця модель охоплює моніторинг як технічних параметрів, так і фінансових аспектів управління дорожньою інфраструктурою, що забезпечує інтеграцію різних видів даних для комплексної оцінки ефективності виконання робіт з будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг.

Обґрунтовано архітектуру ІАС моніторингу стану автодорожнього господарства, яка забезпечує гнучкість, масштабованість і адаптивність системи до потреб різних рівнів управління. Запропонований принцип побудови архітектури ІАС дозволяє легко інтегрувати нові функціональні компоненти, підключати додаткових користувачів і впроваджувати нові технології без значних витрат на реорганізацію існуючих процесів.

Запропоновано ієрархічну систему показників для моніторингу стану дорожньої інфраструктури. Базуючись на результатах аналізу та потреб у використанні різних даних спроектовано структуру БД, яка буде використовуватися в ІАС.

Розроблено метод, що дає змогу приймати стратегічні та оперативні управлінські рішення на основі комплексу даних, підвищити доступність даних про стан поточних об'єктів будівництва та зменшити час на їхню обробку щонайменше удвічі.

РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА

Аналіз і моніторинг дорожнього господарства – це складна багаторівнева задача, що потребує системного підходу.

Забезпечення повноти та цілісності інформації, що використовується для моніторингу стану мережі автомобільних доріг в Україні, а надалі стає основою для прийняття управлінських рішень на різних організаційних рівнях – одна з основних і важливих задач під час побудови та впровадження ІАС.

Активна реалізація задач управління при обробці великих масивів інформації неможлива без впровадження сучасних ІАС та СППР.

У цьому розділі розглядаються структура ІАС, її основні програмні модулі для моніторингу автодорожнього господарства. Також представлено складові геоінформаційної системи (ГІС) як компоненти ІАС. Також розглянуто структуру, основні функціональні можливості та програмні компоненти ІАС. Описано принципи збору, обробки та аналізу даних.

Окрему увагу приділено розробці програмних компонентів ІАС, що забезпечують взаємодію з іншими інформаційними системами, підтримку роботи з геопросторовими даними, формування звітності. Описано технічні аспекти реалізації ІАС, зокрема особливості архітектури системи та її модульної побудови, що розроблена для забезпечення ефективної обробки великих обсягів інформації.

Представлено підходи до інтеграції ІАС із геоінформаційними системами (ГІС) для візуалізації просторових характеристик дорожньої мережі та аналізу динаміки її змін.

4.1. Загальний опис інформаційно-аналітичної системи моніторингу дорожнього господарства

IAC моніторингу дорожнього господарства розроблюється для підтримки прийняття управлінських рішень щодо розробки виробничих планів з будівництва та реконструкції, ремонту та поточного утримання автомобільних доріг загального користування, розвитку виробничих потужностей і об'єктів виробничого призначення, що мають загальногалузеве значення відповідно до стратегії розвитку і удосконалення мережі автомобільних доріг загального користування, державних, цільових комплексних і соціальних програм розвитку дорожнього господарства, забезпечення отримання детальної оцінки стану об'єктів будівництва, реконструкції, ремонту та поточного утримання автомобільних доріг.

Реалізація IAC моніторингу дорожнього господарства забезпечує отримання детальної оцінки стану об'єктів будівництва, реконструкції, ремонту та поточного утримання автомобільних доріг. Це дозволяє оптимізувати процеси планування робіт з будівництва та ремонту, враховуючи реальний стан дорожньої інфраструктури та визначаючи пріоритетні ділянки для ремонту або реконструкції. Крім того, система сприяє ефективному розподілу ресурсів, що є особливо важливим в умовах обмеженого фінансування та воєнних дій, коли необхідно раціонально використовувати наявні матеріальні та фінансові ресурси.

IAC також надає аналітичну підтримку для прийняття управлінських рішень, зокрема у сфері впровадження нових технологій, матеріалів та конструкцій, що сприяє підвищенню якості та довговічності автомобільних доріг. Система дозволяє автоматизувати процеси звітності, що спрощує підготовку інформації для державних органів, а також забезпечує моніторинг виконання державних та соціальних програм розвитку дорожнього господарства. Інтеграція з іншими інформаційними системами дає змогу ефективно співпрацювати з різними організаціями, що беруть участь у реалізації дорожніх проєктів.

Процес прийняття рішень у державних територіально-розподілених організаційних системах, таких як система моніторингу дорожнього господарства, пов'язаний зі збором, накопиченням та обробкою різноманітної інформації з різних джерел, перевіркою даних на коректність, актуалізацію та надійність, візуалізацією інформації та розробкою зручного інтерфейсу для особи, що приймає рішення.

Під час моніторингу та аналізу стану автомобільних доріг для забезпечення прийняття управлінських рішень необхідно вирішити низку задач управління автодорожнім господарством. Такі задачі можуть виникати на кожному етапі життєвого циклу інформаційно-технічного супроводження процесу моніторингу та контролю стану об'єктів дорожнього господарства (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Життєвий цикл процесу моніторингу та аналізу інформації щодо проведення робіт з будівництва, ремонту та реконструкції об'єктів дорожнього господарства

Джерело: складено автором

На кожному етапі відбувається послідовний збір, обробка та аналіз даних. Етап «моніторинг» передбачає аналіз поточного стану дорожньої інфраструктури, визначення проблемних ділянок і встановлення першочергових потреб. Це створює основу для подальшого стратегічного планування та формування пропозицій щодо необхідних робіт.

На етапі «планування» розробляються детальні плани з урахуванням технічних та економічних обмежень, визначаються пріоритетні завдання та розподіляються наявні ресурси. Завдяки цьому забезпечується ефективне використання бюджетних коштів та оптимізація графіків виконання робіт.

Етап «проведення робіт» полягає у реалізації запланованих заходів, контролі виконання та аналізі досягнутих результатів. Всі отримані дані фіксуються для подальшого використання, що дозволяє здійснювати оцінку ефективності проведених робіт, коригувати підходи до планування та управління.

Безперервна реалізація циклу етапів «моніторинг» – «планування» – «проведення робіт» сприяє підвищенню ефективності використання бюджетних коштів, забезпечує прийняття обґрунтованих управлінських рішень на основі актуальних даних про стан доріг, а також дозволяє враховувати реальні потреби, наявні ресурси та наявні обмеження.

Дані на кожному етапі життєвого циклу можуть надходити з різних джерел інформації (регіональні служби, державні органи влади, оперативні аналітичні дані тощо), мати різну структуру та пріоритетність (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

**Інформаційні потоки для аналітичної обробки на різних етапах
життєвого циклу**

№ з/п	Етап життєвого циклу	Джерела інформаційних потоків	Форми подачі інформації
1	Моніторинг	Регіональні служби автомобільних доріг, департаменти Державного агентства автомобільних доріг України, органи державної влади, науково-дослідні інститути	Річні звіти регіональних служб і департаментів Державного агентства автомобільних доріг України щодо стану об'єктів дорожнього господарства, їх будівництва, реконструкції та ремонту, державні програми розвитку, наукові аналітичні матеріали, наукові розробки щодо дослідження якості дорожнього покриття
2	Планування	Регіональні служби автомобільних доріг, департаменти Державного агентства автомобільних доріг України, міністерства, Кабінет міністрів України	Річні календарі та поточні плани виконання робіт, розпорядження керівництва Державного агентства автомобільних доріг України, розпорядження та накази державних органів виконавчої влади
3	Проведення робіт	Регіональні служби автомобільних доріг	Поточні звіти, аналітичні довідки

Джерело: складено автором

На початковому етапі, що календарно відбувається в кінці року, проводяться аналіз і моніторинг стану об'єктів мережі дорожнього господарства, за результатом яких створюється та наповнюється база даних показників стану об'єктів, а саме:

- кількість об'єктів, які потребують ремонту, реконструкції, та їх географічне розташування;
- складність ремонту та реконструкції по кожному об'єкту;
- пріоритетність проведення робіт;
- потреби на проведення робіт;
- поточний стан вже розпочатих робіт.

Зокрема формується попередній план строків та обсягів державного та приватного фінансування.

Після формування переліку об'єктів, потреб на проведення робіт на них, пріоритетності об'єктів та планового фінансування складається календарний план проведення робіт. Далі проводиться етап виконання робіт. Потім у кінці календарного року знову проводяться моніторинг та аналіз показників.

На етапі моніторингу збираються та агрегуються різні форми звітності по всіх об'єктах дорожнього господарства для генерування комплексного звіту стану дорожньої галузі. За результатами детального аналізу даних комплексного звіту формуються перелік потрібних робіт з будівництва, реконструкції та ремонту, перелік ресурсів, потрібних на їх реалізацію, строки проведення та пріоритетність.

Дані, сформовані на етапі моніторингу, є вхідними даними для складання календарного плану. За результатами етапу планування отримуємо план потреб ресурсів для виконання робіт будівництва, реконструкції та ремонту об'єктів дорожнього господарства з урахуванням ресурсних можливостей та планових фінансових надходжень.

Етап проведення робіт передбачає повний інформаційний супровід виконання кожного пункту календарного плану, починаючи від відбору виконавців і закінчуючи описом та аналізом результатів проведення робіт, для занесення їх у базу даних та подальшого використання для комплексного аналізу на етапі моніторингу.

Систематизація даних на всіх етапах життєвого циклу забезпечує їхню цілісність і узгодженість, що підвищує точність прогнозування та ефективність розподілу ресурсів. Автоматизоване опрацювання цих даних дозволяє значно скоротити час на аналіз та прийняття управлінських рішень, що є критично важливим в умовах обмеженого фінансування та необхідності швидкого реагування на зміни.

4.2. Вибір компонентів програмного забезпечення системи моніторингу дорожнього господарства

ІАС моніторингу дорожнього господарства – це програмний комплекс з розподіленою архітектурою на основі серверних технологій. Доступ до програмних модулів ІАС через локальну комп’ютерну мережу та мережу Інтернет можуть отримувати як керівники та відповідальні співробітники, так і керівники та співробітники регіональних служб автомобільних доріг.

ІАС має модульну структуру та розроблена як розподілена на основі технологій клієнт-сервер програмна система з підтримкою багатьох користувачів з неоднорідним набором функцій та прав роботи з даними.

Система працює в такому програмному середовищі:

- операційна система типу Linux для центральних серверів, системи управління базами даних та серверних додатків;
- операційна система клієнтських робочих станцій – Microsoft Windows XP і вище;
- мережеве програмне забезпечення із використанням протоколу TCP-IP;
- клієнтське програмне забезпечення, реалізоване на базі архітектури клієнт-сервер як «тонкий клієнт» з використанням веббраузера;
- система управління базами даних mySQL;

- програмне забезпечення аналітичної обробки даних та генерування звітів.

Функції взаємодії сервера застосувань та браузера для клієнта реалізуються засобами відповідних модулів сервера Apache, а взаємодія сервера застосувань та СУБД виконується на основі запитів до бази даних.

Інтерфейс користувача відповідає вимогам фізичного і психологічного комфорту користувача, є ефективним, швидкодіючим, поєднує можливості інтерактивного введення, текстових і графічних меню. Ефективність і швидка дія інтерфейсу користувача забезпечуються шляхом максимального використання можливостей, що надаються апаратним (просторове і колірне розрізнення графічних адаптерів, графічні співпроцесори) і системним програмним забезпеченням. Призначений для користувача інтерфейс повинен забезпечити багатовіконне відображення графічних даних із можливістю відкриття необмеженої кількості вікон, пов'язувати з вікнами як різні зображення, так і фрагменти того самого зображення, представленого в різних масштабах. Мова інтерфейсу користувача – українська.

На початку роботи з ІАС користувач повинен авторизуватися в системі: відкрити в браузері «Сторінку авторизації» (рис. 4.2) та заповнити поля (логін і пароль) для входу в систему (зверху праворуч).

Якщо логін і пароль відповідають зареєстрованим в ІАС, то користувачу надається доступ до набору програмних модулів, інакше – на екрані виводиться повідомлення про порушення доступу (потрібно повторно ввести логін і пароль або звернутися до адміністратора ІАС для отримання нових логіну та паролю).

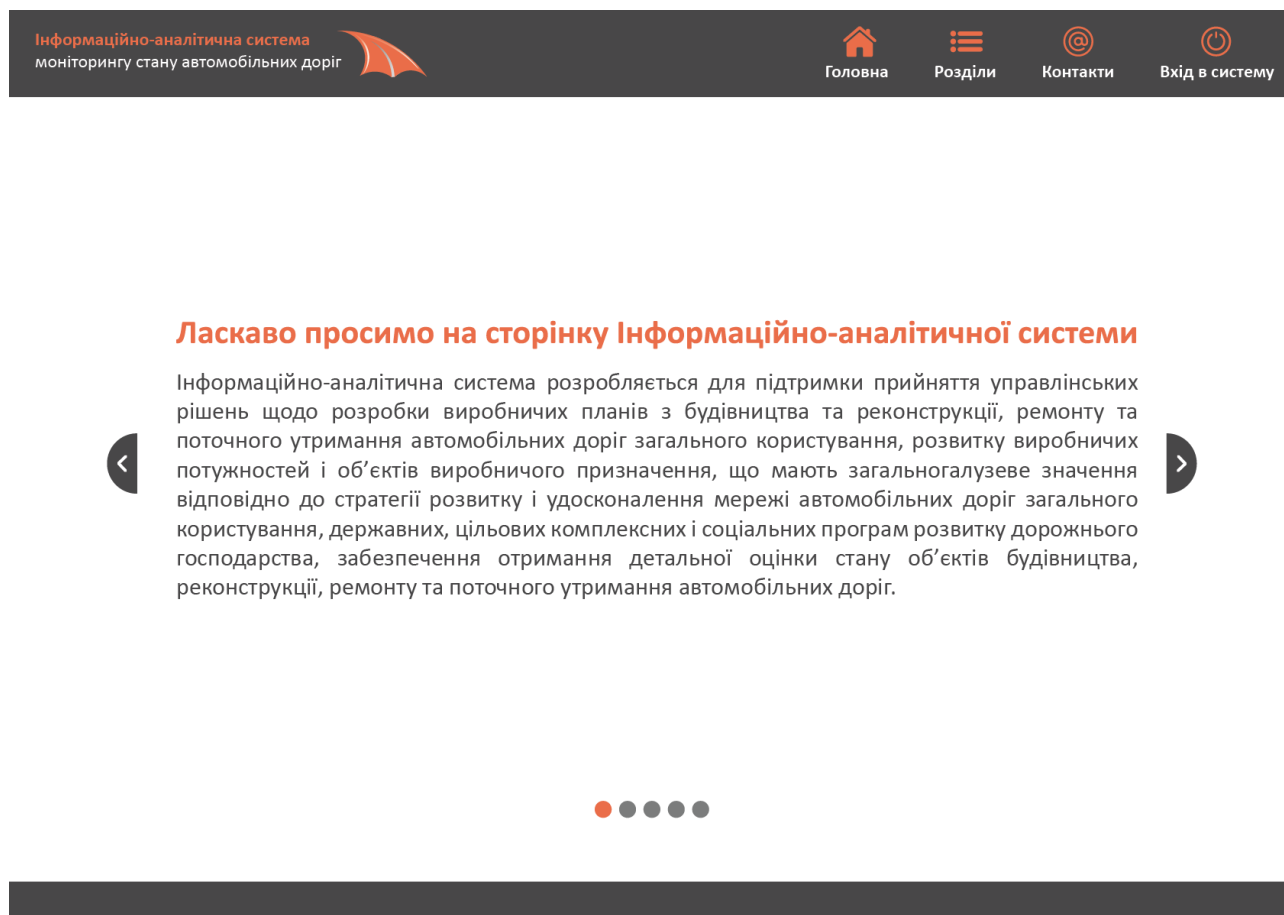


Рис. 4.2. Сторінка авторизації

Працювати в ІАС можуть лише користувачі, для яких відкрито доступ, їм надано унікальний логін і пароль (випадкова комбінація символів та цифр). Доступ в ІАС надається для виконання функціональних завдань, наприклад внесення даних зі звітів або формування звітних форм.

Після того як користувач успішно авторизувався в ІАС, для нього формується «Стартова сторінка». На цій сторінці користувач отримує список програмних модулів, до яких йому відкрито доступ.

Для роботи з окремими програмними модулями потрібно на сторінці «Стартова сторінка» обрати його в меню «Програмні модулі» або у списку за категоріями програмних модулів та натиснути на відповідне посилання. Після цих дій буде сформовано та завантажено контент програмного модуля для цього користувача (рис. 4.3).

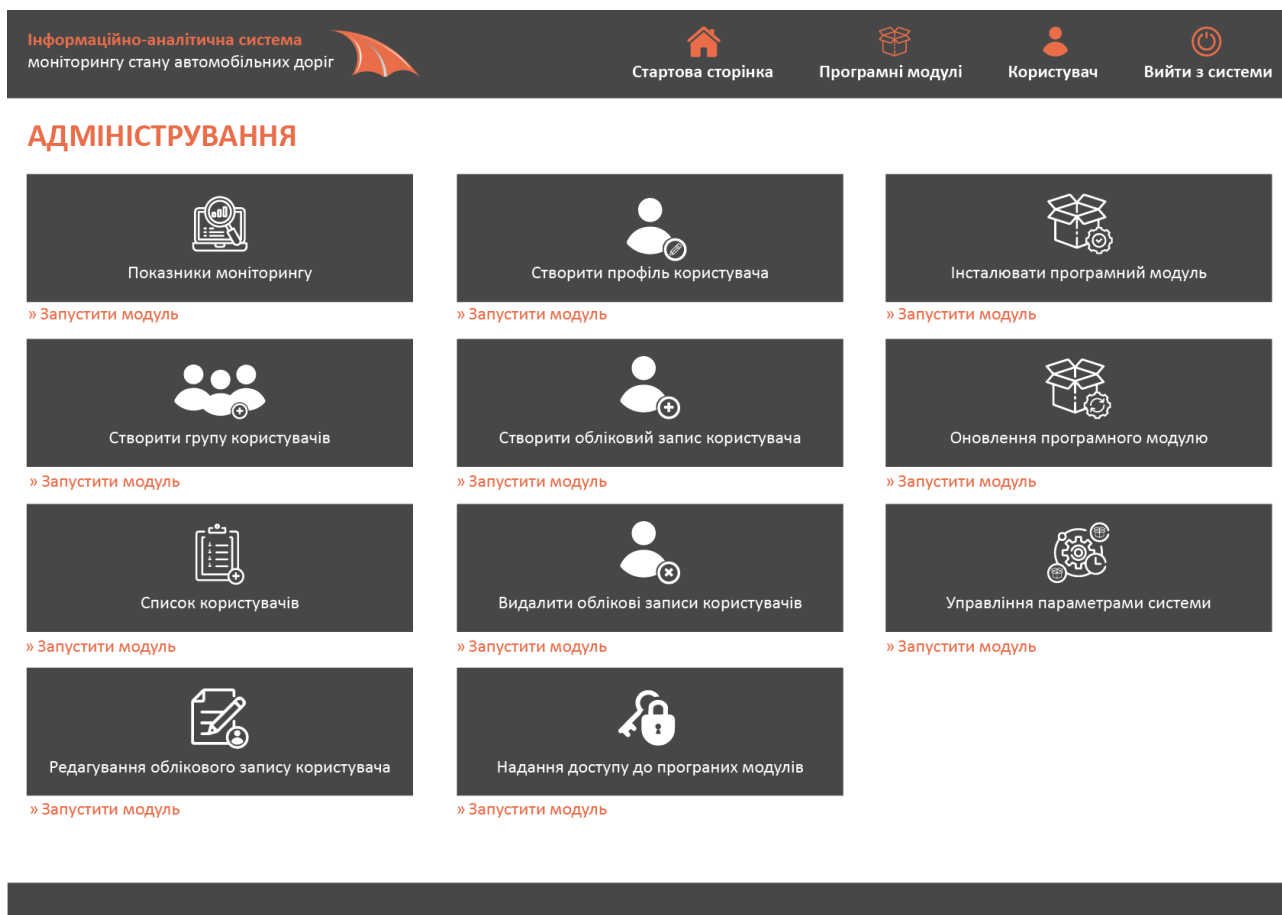


Рис. 4.3. Стартова сторінка (на прикладі профілю користувача «Адміністратор»)

На «Стартовій сторінці» програмні модулі показані за такими категоріями (для певних користувачів будуть наявні модулі з відповідних категорій): адміністрування, форми звітності, електронні карти.

Для ролі «Адміністратор» (рис. 4.3) 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.

Модуль «Показники моніторингу» дозволяє адміністратору змінювати структуру даних, що містяться в ІАС.

Модуль «Створення профілю користувача» дає можливість визначати типові ролі та повноваження користувачів.

Модуль «Інсталяції програмних модулів» забезпечує розширення можливостей ІАС, дозволяючи впроваджувати нові функціональні можливості швидко і гнучко.

Модуль «Створення групи користувачів» дає змогу об'єднувати користувачів за функціональними ознаками для полегшення надання доступу і управління.

Модуль «Створення облікових записів користувачів» дозволяє додавати нових співробітників з урахуванням їх профілів і груп.

Модуль «Оновлення програмного модуля» забезпечує впровадження нових версій.

Модуль «Список користувачів» надає адміністраторам можливість переглядати всю базу користувачів, що дозволяє моніторити активні облікові записи та їх використання.

Модуль «Видалення облікових записів користувачів» дає змогу видалити користувачів, які вже не повинні мати доступ.

Модуль «Управління параметрами системи» дозволяє адміністраторам налаштовувати роботу ІАС відповідно до вимог чинного законодавства та правил організації, які можуть часто змінюватись.

Модуль «Редагування облікового запису користувача» дозволяє вносити зміни до профілю або прав доступу користувачів.

Модуль «Надання доступу до програмних модулів» надає права доступу користувачам або групам до окремих модулів.

Відповідно користувач, що має права адміністратора ІАС, якому відкрито доступ до описаних вище програмних модулів з категорії адміністрування, може далі переходити до цих програмних модулів і здійснювати функції

адміністрування. Інші користувачі, як правило, отримують доступ до модулів роботи з формами звітності, тобто внесення та обробки даних у звітних формах.

У верхній частині стартової сторінки є кнопки «Стартова сторінка» (повернення на список програмних модулів), «Вихід з системи» (для виходу та видалення інформації про сесію роботи з системою).

В ІАС передбачається використання різноманітних електронних форм звітності різними користувачами шляхом використання спеціалізованого візуального інтерфейсу. Зокрема підтримується можливість одночасної роботи з інформацією багатьма користувачами, які працюють через локальну мережу організації або Інтернет.

Різнноманіття звітних форм і необхідність розмежування прав доступу до інформації викликають необхідність створення користувачів і відповідно програмних профілей користувачів з різними правами та можливостями для зручної та ефективної організації роботи зі звітними формами (рис. 4.4). Кожний зареєстрований користувач системи відповідно до своїх службових завдань і повноважень отримує доступ до певного набору програмних модулів.

The screenshot shows a web form titled "Створити профіль користувача" (Create user profile) with an orange header bar. On the left, there is a user icon. The form contains three main sections:

- Найменування профіля користувача:** A text input field containing "Ім'я користувача".
- Створюється в межах групи користувачів:** A dropdown menu with "Співробітники Укравтодору" selected.
- Опис профілю користувача:** A text area containing the text "Профіль створено для надання доступу користувачу до функціональних можливостей ІАС".

An orange button labeled "Створити новий профіль користувача" is located at the bottom right of the form.

Рис. 4.4. Створення профілю користувача

Під профілем користувача розуміємо набір характеристик, що визначають права користувача (особи, що використовує програмне забезпечення) щодо функціональних можливостей програмного забезпечення, зміни параметрів і режимів його роботи, прав доступу до даних, внесення змін у конфігурацію програмного забезпечення (оновлення модулів, інсталяцію, видалення модулів і т. ін.).

Схожі за характеристиками профілі користувачів поєднуються в групи – набори профілів користувачів, що мають схожі характеристики і до яких потрібно застосовувати схожі підходи щодо інформаційної безпеки, побудови користувацького інтерфейсу, надання прав застосування функціональних можливостей програмного забезпечення тощо. В групи об'єднуються профілі користувачів, які мають багато спільних характеристик.

Порядок створення груп і профілів є наступним: спочатку визначаються групи користувачів, а потім профілі користувачів, що входять у відповідні групи.

Таким чином, підсистема управління профілями користувачів являє собою набір програмних засобів, що дозволяють:

- створювати нові групи користувачів;
- формувати профілі користувачів (задавати значення параметрів роботи користувачів).

Функціональна можливість створення груп і профілів користувачів надається користувачам з групи «Адміністратор ІАС». В ІАС передбачені декілька груп користувачів з різним набором функціональних можливостей (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Групи користувачів, права доступу до функцій ІАС

№ з/п	Назва групи	Особи, що входять до групи	Функції
1	2	3	4
1	Адміністратори ІАС	Уповноважені співробітники органу державного управління дорожньою галуззю	Реєстрація та редагування даних про користувачів; Інсталяція, зміна, видалення модулів ІАС
2	Керівники	Керівники відповідних департаментів, начальники відділів	Перегляд звітів та агрегованих таблиць з даними; Перегляд статистики заповнення (передачі) даних регіональними службами
3	Співробітники	Уповноважені співробітники державного управління дорожньою галуззю	Формування звітів; Редагування даних по всіх регіонах; Агрегування даних з регіонів
4	Співробітники регіональних служб	Уповноважені співробітники служб автомобільних доріг у регіонах	Внесення і редагування даних по заданому регіону; Передача даних у загальні електронні форми

Джерело: складено автором

Також створений модуль формування форм для заповнення даних по звітах. Призначенням цього модуля є надання адміністратору ІАС можливості для швидкого створення електронних форм звітності, які будуть заповнюватися користувачами (співробітниками регіональних служб).

Файли з описом електронних форм звітності будуть зберігатися в системі. Модуль заповнення форм електронної звітності буде зчитувати файли з описом та реалізовувати інтерфейс користувача з відповідними значеннями параметрів (наприклад регіон і період, по якому вносяться дані).

Адміністратор отримує можливість як створити або редагувати ті форми електронної звітності, що діють відповідно до існуючого порядку передачі звітних даних і форм, так і створити повністю нові форми електронної звітності, які можуть використовуватись для внутрішнього користування та обміну даними між організаціями. При заповненні електронних форм дані будуть перевірятися на відповідність формату, передаватися на сервер і вноситися в БД. Користувач отримує можливість роздрукувати дані та експортувати їх у файл найбільш поширеного формату електронних таблиць – xls.

Цей модуль являє собою «конструктор» для створення форм електронної звітності в організації.

При створенні нової форми електронної звітності адміністратор через використання вебінтерфейсу отримує можливість:

- додавати, редагувати та видаляти заголовки для таблиць;
- додавати та видаляти таблиці, змінювати товщину ліній сітки;
- додавати та видаляти стовпчики та рядки, змінювати їх колір;
- об'єднувати та розділяти комірки таблиці;
- змінювати колір, розмір і шрифт тексту, який показується у комірках;
- вставляти в комірки, редагувати та видаляти статичний текст;
- вставляти (видаляти) в комірки поля для внесення даних (вказувати, з яким показником з бази даних пов'язане певне поле та при яких параметрах, наприклад період та регіон, по якому вноситься звітна інформація);
- вставляти поля, в яких підраховується сума або частка значень, внесених у зазначений набір комірок таблиці (редагувати цей набір).

Представлення набору різнопланових показників здійснюється за допомогою розробленої в роботі ієрархічної класифікації. Згідно з цією класифікацією кожному показнику, дані по якому зберігаються в БД, присвоюється код, що складається з десяти символів (цифри та латинські букви).

Для того щоб показник можна було використовувати в електронних формах звітності, він спочатку вноситься в систему. Використовуючи модуль управління показниками, можна вводити інформацію по новому показнику (тип даних, формат, одиниці вимірювання та інші характеристики показника).

При організації роботи з електронними формами звітності використовується низка програмних модулів як складових ІАС, а саме:

- модуль формування електронних форм звітності;
- модуль відображення електронних форм звітності;
- модуль внесення показників;
- модуль внесення користувачів;
- модуль надання доступу до програмних модулів.

Усі дані по параметрах, які знаходяться в електронних формах звітності, зберігаються після внесення/редагування в БД.

Внесення нових показників здійснює адміністратор ІАС. При внесенні нового показника в БД вказується його тип, формат, одиниці вимірювання та інші характеристики. При внесенні нового показника в БД створюється запис про нього.

При розробці структури електронної форми звітності до комірок прикріплюються показники. Подальше внесення даних означає автоматичне внесення значень показників у відповідні таблиці та поля в БД.

При здійсненні відкриття доступу до модуля редагування електронної форми звітності адміністратор вказує низку параметрів цього модуля: електронна форма якого звіту буде редагуватися, на який термін надається доступ, чи надається доступ на зміну даних або тільки на їх перегляд.

При конкретизованих параметрах електронної форми звітності модуль відображення електронної форми звітності дозволяє надавати призначеним користувачам інтерфейс для внесення та редагування даних. Дані зберігаються у відповідних таблицях БД.

Можливість внесення даних в електронні форми звітності та, відповідно, в БД користувачами ІАС (уповноваженими співробітниками регіональних служб) здійснюється за допомогою відповідного модуля.

У модулі використовуються файли з описом електронних форм звітності та формується інтерфейс користувача (на вебсторінці) за виглядом, схожим на аркуш електронної таблиці.

При роботі з модулем заповнення форми звітності виконується послідовність дій, що показана на рис. 4.5.

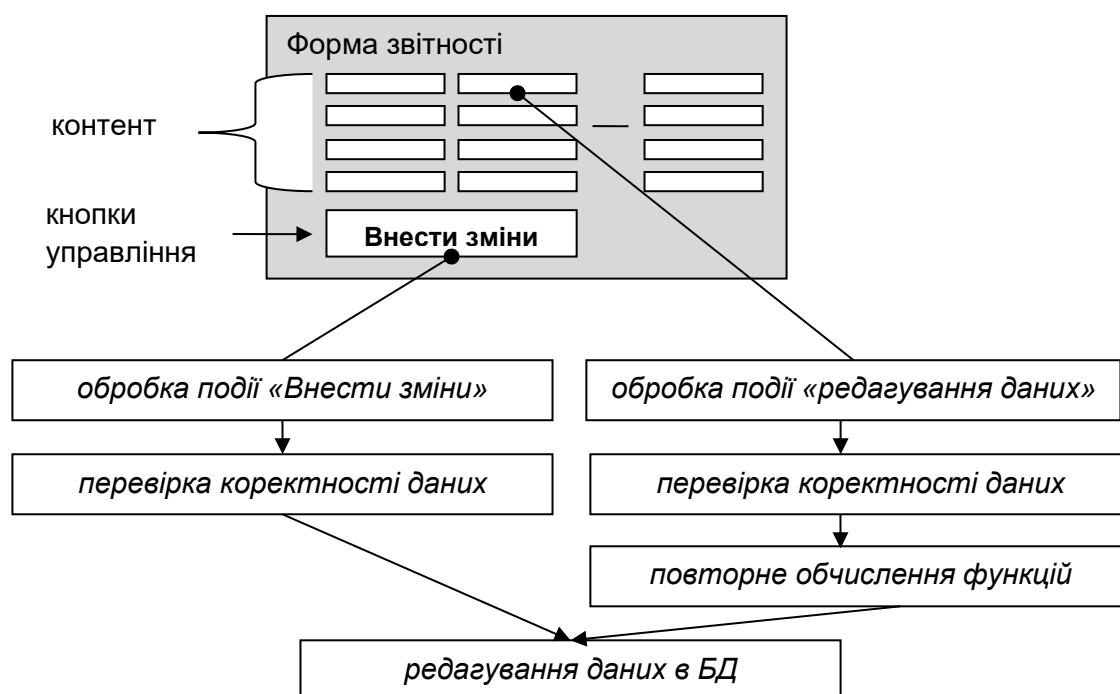


Рис. 4.5. Взаємодія програмних компонентів при редагуванні даних в БД

Джерело: складено автором

Користувач має змогу внести зміни до відповідних полів форм звітності, що відображають числові або текстові значення. Взаємодія програмних компонентів при цьому організована таким чином, щоб забезпечити максимальну цілісність даних, логічну послідовність виконання дій та автоматичну перевірку залежностей між полями. Натискання кнопки «Внести зміни» ініціює обробку подій, яка запускає послідовність перевірок і оновлень.

На першому етапі відбувається обробка події «Внести зміни», яка пов'язана з викликом функцій перевірки правильності введених даних – їхньої відповідності встановленим форматам, типам, а також межам допустимих значень. Після успішного проходження первинної перевірки система переходить до етапу обробки події «редагування даних», під час якого відбувається додаткова перевірка на предмет функціональної узгодженості даних між взаємопов'язаними полями.

Завершальним кроком у цій послідовності є передача узгоджених даних до бази даних для збереження. Така логіка забезпечує внутрішню цілісність звітної інформації, мінімізує ризик помилок під час редагування та гарантує відповідність внесених змін як синтаксичним, так і семантичним вимогам системи.

Обробка подій, пов'язаних з редагуванням значень у полях даних електронної форми звітності, викликає необхідність перевірки внесених даних щодо їх відповідності типу та формату, а також необхідність повторного обчислення значень полів, до яких прив'язані функціональні залежності. Так, наприклад, якщо в рядку є поле «разом», до якого прив'язано функціональну залежність суми трьох попередніх полів, то при редагуванні хоча б одного з цих полів необхідно повторно обчислити суму та відобразити в поле «разом».

Обробка події, що виникає при натисканні на кнопку «Внести зміни», також пов'язана з необхідністю перевірки коректності внесених даних. Тільки після перевірки дані будуть внесені у відповідні поля таблиці в БД.

Як складову програмного забезпечення ІАС розроблено програмний модуль, який призначений для візуалізації порогових значень показників моніторингу на електронній карті, формування діаграм та графіків. На рис. 4.6 представлено приклади інтерфейсів користувача ІАС для профілю «Керівник», де продемонстровано можливості системи щодо візуалізації даних, отриманих із заповнених форм звітності. Інтерфейс дозволяє швидко отримувати узагальнену

інформацію про стан дорожньої інфраструктури, рівень фінансування та виконання робіт у різних регіонах України.

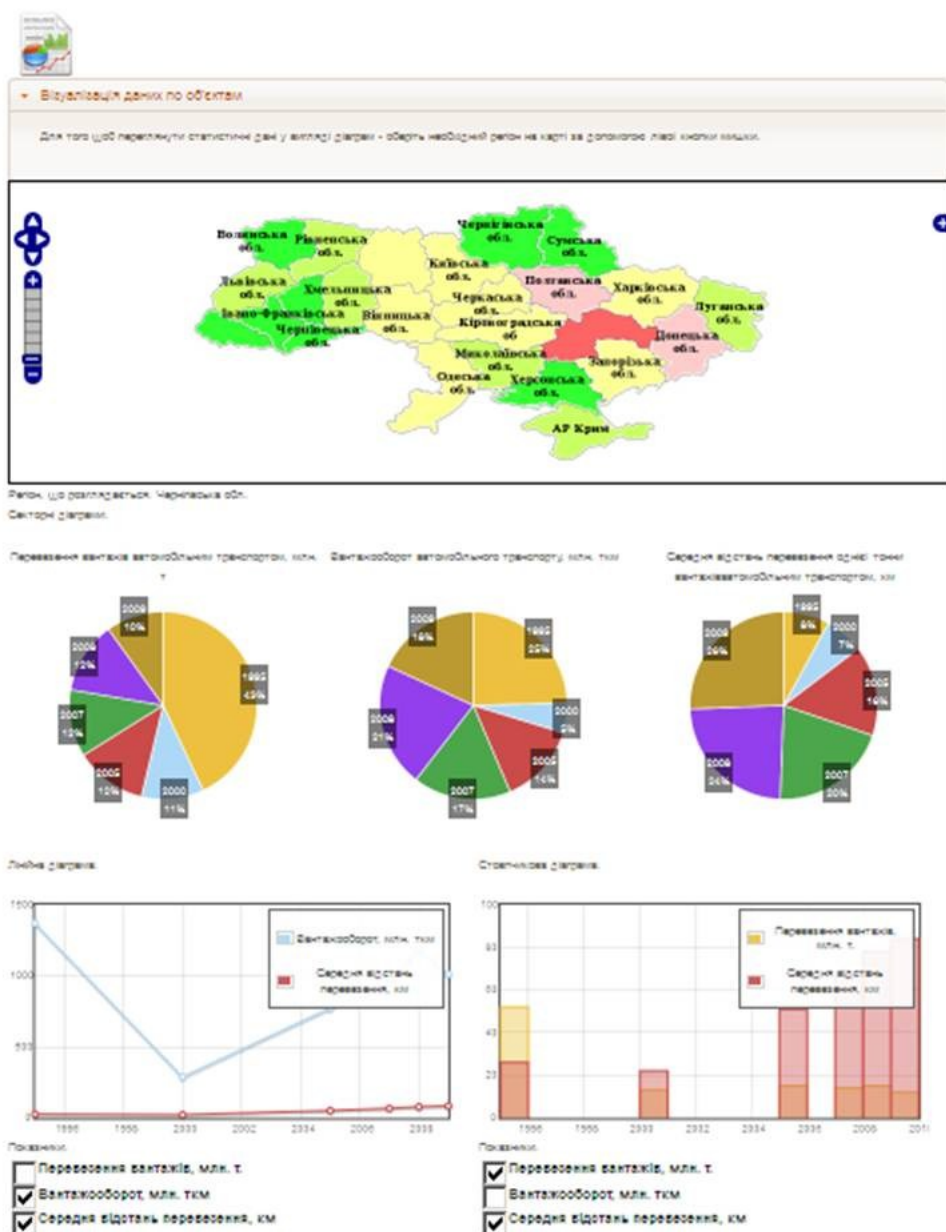


Рис. 4.6. Приклад відображення діаграм і графіків в ІАС

Одним із інструментів візуалізації є інтерактивна карта України, де кожна область позначена кольоровими індикаторами, що відображають рівень фінансування дорожньої інфраструктури відносно планових показників. Кольорова шкала варіюється від яскраво-зеленого (що символізує 100 %

виконання фінансування) до яскраво-червоного (що вказує на повну відсутність фінансування, тобто 0 %). Такий візуальний підхід дозволяє миттєво ідентифікувати проблемні зони, де рівень фінансування є недостатнім, а також регіони з високими показниками виконання робіт. Крім того, інтерактивна карта надає можливість здійснювати деталізований аналіз окремих регіонів. Наприклад, клацнувши на певну область, користувач може отримати розширену інформацію про стан конкретних об'єктів дорожнього господарства, їх фінансування та статус виконання робіт.

Також доступні різні типи діаграм: секторні (кругові), лінійні та стовпчикові. Вони ілюструють ключові показники, такі як, наприклад, обсяги перевезень вантажів автомобільним транспортом, вантажообіг та середню відстань перевезення тощо. Діаграми дозволяють аналізувати розподіл даних, порівнювати динаміку змін показників у часовій перспективі. Наявність різних можливостей візуалізації та форм відображення даних сприяє підвищенню обґрунтованості прийняття управлінських рішень на основі цих даних та візуалізації.

Процес роботи з модулем візуалізації діаграм на карті можна описати таким чином. Користувач авторизується в ІАС, завантажується стартова сторінка з переліком модулів, до яких надається доступ користувачеві. Користувач відкриває модуль візуалізації, на вебсторінці завантажується карта. Відображення карти виконує програмний код на JavaScript, який завантажується на комп'ютер користувача. В JavaScript прописуються необхідні налаштування, параметри підключення до GeoServer (назви шарів, тип геосервісу, стилі для відображення шарів і т. д.). GeoServer створює зображення карти, підключившись до СУБД та отримавши геопросторові дані з відповідної таблиці. Також відповідно до стильового файлу GeoServer створює зображення діаграми на карті, використовуючи модуль формування діаграм.

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.

4.3. Програмні компоненти обробки геопросторових даних стану об'єктів мережі автомобільних доріг

OpenLayers – це написана на JavaScript програмна бібліотека, в якій реалізовано низку функцій для відображення геопросторових даних на вебсторінках. OpenLayers надає можливість організувати доступ та редагування геопросторових даних, використовуючи промислові стандарти та протоколи передачі геопросторових даних. Ця програмна бібліотека поширюється на умовах BSD-подібної ліцензії.

Основними функціональними можливостями програмної бібліотеки OpenLayers є такі [68]:

- накладення декількох шарів карти в одному зображенні;
- відображення комбінованого або цілого зображення карти з серверів, що підтримують геосервіси WMS, WMTS, TMS, WMS-C, WMTS, ArcGIS, або Google Maps, Bing Maps, Yahoo Maps, OpenStreetMap;
- функції рендерінгу та редагування векторних об'єктів з підтримкою WFS, KML, GeoJSON, WKT, GML, GeoRSS;
- редагування геопросторових об'єктів, зокрема прив'язка даних по об'єктах до геопросторових даних, на основі WFS-транзакцій, використовуючи SVG або VML;
- можливість спільного застосування з будь-яким сучасним інструментарієм розробки інтерфейсу користувача на вебсторінці засобами JavaScript (jQuery, Ext, Dojo, MooTools);

– виконання проєкції карти на стороні клієнта (обчислювальними засобами клієнтського комп'ютера);

– функція кластеризації та посторінкового відображення.

Для створення електронної карти на вебсторінці необхідно виконати низку операцій. В HTML-коді потрібно внести строки для підключення стильових файлів та програмних бібліотек, вказати місце для виведення карти, викликати функцію, в якій встановлюються налаштування електронної карти та зв'язок із геосервером для отримання геопросторових даних (рис. 4.7).

```

1 — [ <link rel="stylesheet" type="text/css" href="modules/gis-roadmap/OpenLayers/theme/default/style.css"/>
    [ <link rel="stylesheet" type="text/css" href="modules/gis-roadmap/gis-controls.css"/>
2 — [ <script src="modules/gis-roadmap/OpenLayers/OpenLayers.js" type="text/javascript"></script>
    [ <script src="modules/gis-roadmap/settings.js" type="text/javascript"></script>
3 — [ <div id="map_panel">
    [ <div id="map"></div>
    [ <div id="update_place" name="update_place"></div>
4 — [ </div>
    [ <script>init();</script>
  
```

Рис. 4.7. Структура HTML-коду для відображення електронної карти:

1 – підключення стильових файлів; 2 – підключення програмних бібліотек та файлу налаштувань карти; 3 – поле для виведення карти та панелі внесення даних; 4 – виклик функції, що створює карту

Для того щоб отримати геопросторові дані від геосервера, вивести їх на вебсторінку засобами програмної бібліотеки, що виконується на стороні клієнта, необхідно створити об'єкти, що відповідають за карту та окремі шари карти (рис. 4.8).

На рис. 4.8 показані налаштування для шару карти. Серед параметрів: проєкція, адреса геосервера в мережі, версія геосервісу, поле з бази даних, що містить геопросторові дані, стилізація.

```

vector_layer = new OpenLayers.Layer.Vector("Roads - WFS", {
  strategies: [new OpenLayers.Strategy.Fixed(), saveStrategy],
  projection: new OpenLayers.Projection("EPSG:4284"),
  protocol: new OpenLayers.Protocol.WFS({
    version: '1.1.0',
    url: '/geoserver/wfs',
    featureType: 'gis_roads',
    geometryName: "SHAPE",
    featureNS: 'http://ukravtodor.gov.ua',
    schema: "/geoserver/wfs/DescribeFeatureType?version=1.1.0&typename=Ukravtodor:gis_roads"
  }),
  styleMap: Style_Roads,
  visibility: false
});

```

Рис. 4.8. Створення Javascript-коду для векторного шару електронної карти автомобільних доріг

Для зберігання геопросторових даних по об'єктах у базі даних створено таблиці чотирьох груп. По-перше, це таблиці, що містять геометричні дані про об'єкти (векторний запис геопросторової форми та розміру об'єктів), для відображення об'єктів на карту. По-друге, таблиці, в яких містяться описові дані для стилізації геопросторових об'єктів (наприклад маркування та найменування доріг, їх тип). По-третє, таблиці представлення (англ. view), з них отримується поєднана інформація про об'єкти та їх геопросторове відображення. Представлення динамічно створюються виконанням відповідних SQL-запитів, наприклад, для доріг такий запит має вигляд: CREATE VIEW view_roads AS SELECT a.OGR_FID, a.TITLE, b.SHAPE, b.numbway, b.type FROM dbf_roads a, gis_roads b WHERE a.OGR_FID=b.OGR_FID.

Однією з переваг інформаційної системи є можливість відображати на електронній карті результати запитів до бази даних, в якій зберігаються та оновлюються значення показників, що характеризують стан автомобільних доріг, мостів, придорожньої інфраструктури та безпеку дорожнього руху в регіоні.

Візуалізація результатів запитів дозволяє відображати на електронній карті об'єкти, що задовольняють умовам запиту, здійснювати стилізацію – візуальне виділення цих об'єктів, накладати шар з результатами запиту на основні інформативні шари карти.

Наприклад, на рис. 4.9. зображено карту України, розмежовану адміністративно-територіальним поділом, яка використовується для моніторингу стану фінансування дорожньої інфраструктури. Кольорове позначення різних регіонів відображає рівень фінансування на ремонт та утримання доріг за регіонами порівняно з плановими показниками, де яскраво-зелений колір означає, що всі планові проекти профінансовано на 100 %, а яскраво-червоний – що фінансування повністю відсутнє, тобто 0 %. Житомирська область має додаткові графічні елементи, що показують, які саме об'єкти вже отримали фінансування, та відповідний рівень цього фінансування порівняно з плановим, що дозволяє детальніше відстежувати реалізацію окремих проєктів у межах області.



Рис. 4.9. Приклад застосування стилізації

Відповідно до типів об'єктів, характеристики яких зберігаються в базі даних, можна створити звіти за групами показників (рис. 4.10.).



Рис. 4.10. Категорії звітів за типами об'єктів

Таким чином, можна створити такі звіти:

- звіти щодо стану профінансованості об'єктів;
- звіти щодо стану об'єктів будівництва доріг загального користування;
- звіти щодо стану об'єктів будівництва штучних споруд;
- звіти щодо об'єктів, які потребують ремонту або реконструкції;
- звіти щодо стану об'єктів придорожньої інфраструктури;
- звіти про безпеку руху по регіонах.

Кожний звіт реалізується як окремий модуль, що може бути інстальований в інформаційну систему адміністратором системи (вповноваженим користувачем), який отримує на це право і реалізує його шляхом використання відповідного програмного модуля.

Стилізація представлення результатів запитів здійснюється шляхом вибору значень параметрів, таких як: колір, товщина ліній, їх тип (неперервна, пунктир і т. ін.), графічне зображення (наприклад для представлення місця ДТП), його розмір тощо. Значення параметрів задаються або випадковим списком, або кольоровою палітрою, або переліком графічних зображень.

Користувач після вибору значень параметрів стилізації та одноразового здійснення відображення запиту на карту може зберегти параметри стилізації. При цьому на сервері зберігається файл, що описує стилізацію, а в базі даних здійснюється запис про стилізацію, розроблену користувачем для відповідного модуля (відображення результатів запиту). Це дозволяє надалі використовувати попередньо розроблені стильові файли.

Оскільки кожний звіт реалізується як окремий модуль, то відповідний запит до бази даних конкретизується значеннями параметрів, перелік яких є незмінним. Конкретизація значень параметрів користувачем здійснюється залежно від типу параметра або вибором значення зі списку (наприклад тип дороги), або введенням значення (наприклад сума використаних на ремонт коштів). Порівняння з введеним значенням може бути перевіркою як на точний збіг значень (наприклад тип дороги), так і на виконання нерівності (більше, менше, не менше, не більше). Для строкових параметрів (наприклад маркування дороги – індекс і номер) може виконуватися пошук усіх записів, у яких значення параметра включає вказаний підрядок (наприклад такий запит: вивести всі дороги, маркування яких містить підрядок «Т-22-*»).

Результати запитів, відображені на електронній карті, можна зберегти у файл формату JPEG з графічним зображенням. Надалі цей файл можна включити в текстовий звіт або безпосередньо роздрукувати на принтері.

Для побудови карт кластеризації регіонів було використано такі показники:

- перевезення вантажів автомобільним транспортом (млн. т);
- вантажооборот автомобільного транспорту (млн. ткм);
- середня відстань перевезення 1 т вантажів автомобільним транспортом (км).

У роботі програмного модуля використовується розширення GeoServer для побудови діаграм та програмна бібліотека (розроблена на Javascript). При

поєднанні цього розширення GeoServer та SLD-файлу стилізації карти можна отримувати стилізовані прошки карти через сервіс WMS. Для цього необхідно коректно налаштувати GeoServer, інсталиувати розширення для формування діаграм на карті: завантажити розширення в директорію WEB-INF/lib GeoServer, перезапустити GeoServer через TomCat.

Для того щоб можна було виводити діаграми на карту, необхідно забезпечити зв'язок з програмною бібліотекою відображення карти на вебсторінці (OpenLayers), задати всі необхідні параметри з'єднання з GeoServer у JavaScript-кодi. GeoServer створює діаграми на карті та поєднує їх з іншою геопросторовою інформацією, що передається разом через WMS-сервіс (рис. 4.11). При цьому використовується стилізація у форматі SLD, яка передається GeoServer одним із таких двох способів:

- створення нового SLD-стилю у GeoServer (у розділі Styles, прописати в нього усі необхідні налаштування та прив'язати новий стиль до вибраного шару карти);
- створення SLD-файлу з прописаними налаштуваннями та розміщення його на сервері (після чого у Javascript-кодi налаштувань карти вказується шлях до SLD-файлу).

Завдяки SLD-стилізації можна детально налаштувати виведення діаграм на карту, наприклад тип діаграми, параметри, що беруть участь у порівняннях, колір стовпчиків, розмір діаграм залежно від параметрів.

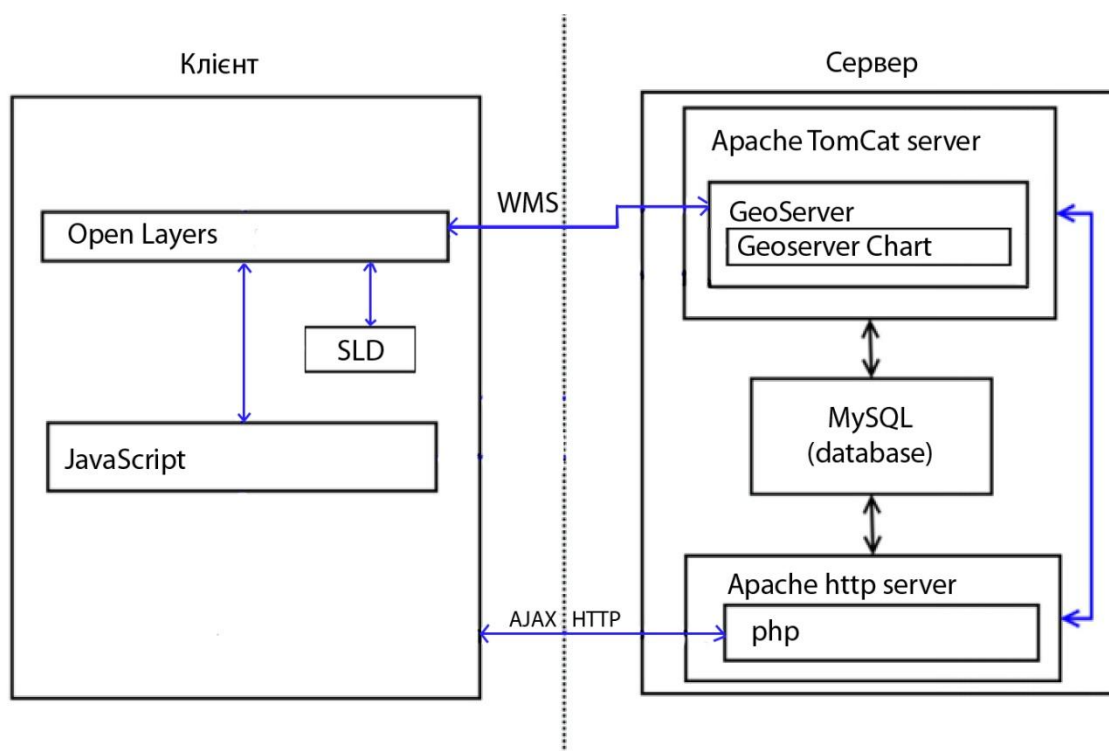


Рис. 4.11. Взаємодія програмних компонентів при візуалізації даних на електронних картах

Джерело: складено автором

Процес роботи з модулем візуалізації діаграм на карті можна описати таким чином. Користувач авторизується в ІАС, завантажується стартова сторінка з переліком модулів, до яких надається доступ користувачеві. Користувач відкриває модуль візуалізації, на вебсторінці завантажується карта. Відображення карти виконує програмний код на JavaScript, який завантажується на комп'ютер користувача. В JavaScript прописуються необхідні налаштування, параметри підключення до GeoServer (назви шарів, тип геосервісу, стилі для відображення шарів і т. ін.). GeoServer створює зображення карти, підключившись до СУБД та отримавши геопросторові дані з відповідної таблиці. Також відповідно до стильового файлу GeoServer створює зображення діаграми на карті, використовуючи модуль формування діаграм.

Параметри виведення діаграм на карту задаються у файлі стилізації SLD. Розглянемо приклад. Нехай задано декілька полігонів, що відображають певну територію – області. Для кожної області існують деякі значення, що задані параметрами W1, W2, W3, W4 та зберігаються у базі даних. На карті OpenLayers необхідно відобразити контури областей та діаграми для кожної з них.

Для реалізації цього прикладу створимо в GeoServer новий стиль (назвемо, наприклад, Charts). Потім цей стиль прив'яжемо до вибраного шару у розділі Layers. Заповнимо SLD наступними рядками (рис. 4.12).

У SLD-файлі між тегами <ExternalGraphic> пропишемо адресу до сервісу з необхідними параметрами, а розмір діаграм задаємо в тегу <Size>.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<StyledLayerDescriptor version="1.0.0"
  xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/sld
http://schemas.opengis.net/sld/1.0.0/StyledLayerDescriptor.xsd"
  xmlns="http://www.opengis.net/sld" xmlns:ogc="http://www.opengis.net/ogc"
  xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <NamedLayer>
    <Name></Name>
    <UserStyle>
      <Name>Pie_charts</Name>
      <FeatureTypeStyle>
        <Rule>
          <Name>DistrictScale</Name>
          <MinScaleDenominator>0</MinScaleDenominator>
          <MaxScaleDenominator>1000000000</MaxScaleDenominator>
          <PolygonSymbolizer>
            <Fill>
              <CssParameter name="fill">#AAAAAA</CssParameter>
            </Fill>
            <Stroke />
          </PolygonSymbolizer>
        </Rule>
      </FeatureTypeStyle>
      <FeatureTypeStyle>
        <Rule>
          <PointSymbolizer>
```

```

    <Graphic>
      <ExternalGraphic>
        <OnlineResource
xlink:href="http://chart?cht=bvs&chd=t:${W1},${W2},${W3},${W4}&ch
f=bg,s,FFFFFF00" />
        <Format>application/chart</Format>
      </ExternalGraphic>
      <Size>
        <ogc:Literal>40</ogc:Literal>
      </Size>
    </Graphic>
    <VendorOption name="repeat">1</VendorOption>
  </PointSymbolizer>
</Rule>
</FeatureTypeStyle>
</UserStyle>
</NamedLayer>
</StyledLayerDescriptor>

```

Рис. 4.12. Структура файлу стилізації

У прикладі, наведеному на рис. 4.13, буде виведено секторну діаграму, на якій частинки відповідають значенням показників, які зберігаються в полях W1 та W2 відповідної таблиці з даними (вибираються для кожного запису із бази даних). Колір фону – білий, колір графіків (за замовчуванням) – жовтий та жовто-гарячий.

```

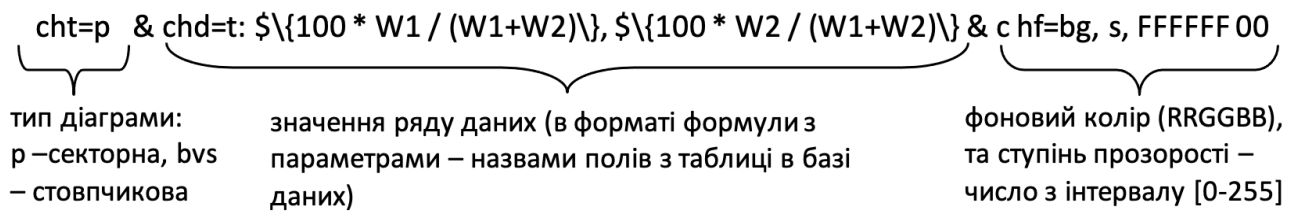
<ExternalGraphic>
  <OnlineResource xlink:href="http://chart?cht=p&chd=t:${100 * W1 / (W1+W2)}\},${100 * W2 /
(W1+W2)}\&c hf=bg,s,FFFFFF00" />
  <Format>application/chart</Format>
</ExternalGraphic>

```

Рис. 4.13. Приклад тексту програми

Параметри запиту на побудову діаграми задані наступним чином (рис. 4.14).

Рис. 4.14. Приклад рядка параметрів для побудови діаграми



У розробленій ІАС наявний модуль візуалізації статистичних даних по регіонах у вигляді діаграм різного типу. Значення для побудови діаграм беруться з бази певних показників за вибраними користувачем регіонами. Система має можливість будувати діаграми та графіки різного типу (зокрема кругові, стовпчикові, лінійні та точкові).

Для реалізації цього модуля використовується JavaScript-бібліотека з відкритим кодом – Flot Charts та внутрішні функції OpenLayers для взаємодії з GeoServer – WMSGetFeatureInfo.

Схема роботи модуля виглядає таким чином (рис. 4.15): користувач переходить на вебсторінку з модулем, завантажується географічна карта регіонів за допомогою бібліотеки OpenLayers (написана на JavaScript). Після того як користувачем на карті правою кнопкою мишки обрано регіон, за яким треба виводити статистику, виконується запит до GeoServer на завантаження інформації із бази даних. Після того як всю інформацію успішно завантажено, дані передаються за допомогою jQuery у спеціальний php файл для формування діаграм через Flot Charts, які виводяться на сторінку з модулем.

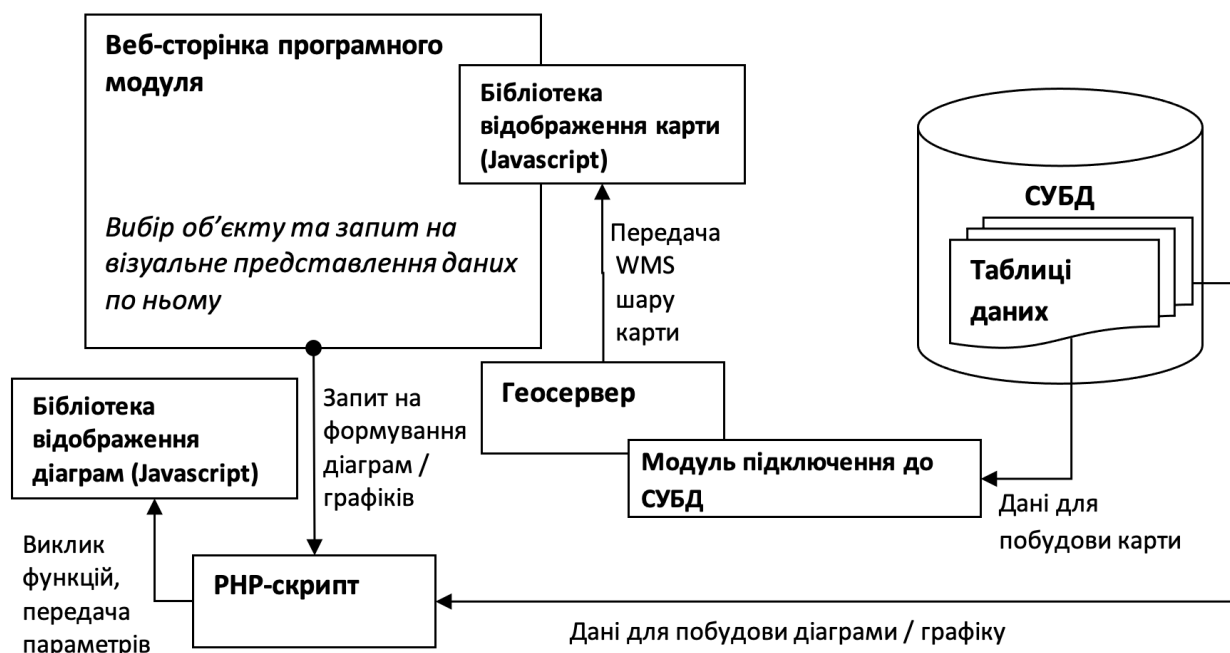


Рис. 4.15. Взаємодія програмних компонентів при візуалізації даних на електронних картах
Джерело: складено автором

Схема роботи користувача з цим модулем є досить простою: треба перейти на сторінку з модулем та на географічній карті обрати регіон, за яким необхідно вивести статистику.

Робота модуля починається з того, що користувач відкриває вебсторінку програмного модуля, яка завантажує карту із використанням бібліотеки OpenLayers (JavaScript). Після вибору конкретного об'єкта (наприклад регіону або дорожньої ділянки) формується запит до GeoServer щодо завантаження просторових даних у форматі WMS (Web Map Service). У цей момент здійснюється передача WMS-шару карти у вигляді візуального компонента, після чого модуль підключення до СУБД звертається до бази даних для отримання супутньої статистичної інформації щодо обраного об'єкта.

Після обробки запиту з бази даних за допомогою SQL-запитів необхідні дані передаються до спеціального РНР-скрипта, який обробляє параметри запиту, формує відповідну структуру даних і передає її у форматі, зручному для

подальшої візуалізації. Завдяки використанню бібліотеки jQuery інформація надходить до модуля побудови графіків, де за допомогою бібліотеки Flot Charts (JavaScript) створюються відповідні графіки або діаграми.

Таким чином, система забезпечує динамічну генерацію візуального представлення аналітичної інформації без потреби у сторонніх ГІС-програмах. Це дозволяє оперативно аналізувати ситуацію за просторовим принципом, порівнювати показники між регіонами, відстежувати ефективність виконаних робіт і використовувати карту як інтерактивний інтерфейс до аналітичної бази.

Висновки до розділу 4

Програмне забезпечення, описане в цьому розділі, дозволяє здійснювати в автоматизованому режимі генерацію документів і форм загальної звітності за даними, що надходять від регіональних служб автомобільних доріг. При цьому використовуються моделі агрегації даних, які обробляють дані з бази даних про стан об'єктів будівництва, реконструкції, ремонту та поточного утримання автомобільних доріг.

Розроблено програмні модулі для збору, обробки та аналізу даних, які включають інструменти для управління користувачами, формування звітності, візуалізації даних, моніторингу та аналізу стану дорожньої інфраструктури. Розроблено користувацький інтерфейс, що дає змогу отримувати доступ до потрібної інформації та працювати з аналітичними звітами.

Використання принципів клієнт-серверної архітектури та модульності для ІАС дозволяє легко адаптувати систему до змін у нормативно-правовій базі та управлінських процесах, а також розширювати її функціональні можливості відповідно до нових потреб користувачів.

Впроваджено систему управління доступом, що забезпечує розмежування прав доступу користувачів і дає змогу керувати ролями та повноваженнями в системі.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі проведено теоретичне узагальнення і отримано нове рішення наукової задачі розроблення системи моніторингу ефективності управління автомобільними дорогами в умовах невизначеності обсягів фінансування та ефективного розподілу ресурсів, що відповідає меті та задачам дослідження і відображено в науковій новизні:

1. 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 %).

2. 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.

3. 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 %).

4. 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.

5. Розроблено та впроваджено в автодорожні господарства окремих міст України рекомендації по використанню комплексу математичних моделей, методів та алгоритмів, а також створеної на їх основі нової інформаційно-аналітичної системи моніторингу автодорожнього господарства. Основні результати дисертаційної роботи знайшли практичне застосування у вітчизняних автодорожніх господарствах (ДП «Укрдорзв'язок», КК «Київавтодор», ТОВ «Житлошляхбуд»), а також використовуються в освітньому процесі у Черкаському державному технологічному університеті для підготовки студентів ступеня магістра 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 студентів освітнього рівня магістра за освітньо-професійною програмою «Прикладні комп'ютерні науки» спеціальності

122 «Комп'ютерні науки», зокрема при викладанні навчальних дисциплін «Управління ІТ-проєктами», «Дослідження даних».

Як перспективи подальших досліджень, які можуть бути здійснені в напрямі цієї дисертаційної роботи, слід зазначити застосування штучного інтелекту для планування будівництва, реконструкції та ремонту автомобільних доріг в умовах невизначеності, що загалом дасть змогу ще більш відкрито та ефективно розподіляти фінансові ресурси в системі автомобільних доріг України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. European programme for critical infrastructure protection (COM/2006/786 final). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52006DC0786&from=EN>
2. Moteff J. D. Critical infrastructures: Background, policy, and implementation. URL: <https://sgp.fas.org/crs/homesec/RL30153.pdf>
3. Технічний стан автомобільних доріг загального використання. URL: <https://mtu.gov.ua/content/tehnichniy-stan-avtomobilnih-dorig-avtomobilnih-dorig-zagalnogo-vikoristannya.html?PrintVersion>
4. Ivanova E., Masarova J. Importance of road infrastructure in the economic development and competitiveness. *Economics and management*. 2013. Vol. 18, no. 2. P. 263–274.
5. Прейгер Д. К., Собкевич О. В., Ємельянова О. Ю. Реалізація потенціалу транспортної інфраструктури України в стратегії посткризового економічного розвитку. Київ: НІСД, 2011. 37 с.
6. Ковальчик О. А. Використання веб-технологій для підвищення ефективності робіт підприємств дорожнього господарства України. *Цифрова економіка як фактор інноваційного розвитку суспільства*: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. Тернопіль, 2020. С. 123–125.
7. Концепція програми інформатизації дорожньої галузі України від 25 черв. 2009 р. № 48. Київ: Держ. служба автомоб. доріг України «Укравтодор». URL: https://restoration.gov.ua/4489/innovatsiinyi_rozvytok/kontseptsiiia_prohramy_informatyzatsii_dorozhnoi_haluzi_ukrainy.html
8. Стан та перспективи розвитку інформатики в Україні: монографія / В. А. Алексєєв, Н. І. Алішов, П. І. Андон та ін. Київ: Наук. думка, 2010. 1008 с.
9. Додонов О. Г., Ланде Д. В., Путятін В. Г. Інформаційні потоки в глобальних комп'ютерних мережах. Київ: Наук. думка, 2009. 295 с.

10. Канін О. П. Інформаційно-аналітична система управління дорожнім господарством на основі веб-технології. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2016. Вип. 95. С. 129–142.
11. Боднар Л. П. Програмний комплекс АЕСУМ. Сучасний стан та концепція подальшого розвитку. *Дороги і мости: зб. наук. пр.* Київ: ДерждорНДІ, 2011. Вип. 12. С. 31–39.
12. Кизима С. С., Канін О. П., Лихоступ М. М. Загальна характеристика української системи управління станом нежорстких дорожніх одягів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ: НТУ, 2001. Вип. 62.
13. Лантух-Лященко А. І. До розробки галузевої аналітичної експертної системи управління мостами. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ: НТУ, 2004. Вип. 69. С. 120–126.
14. Боднар Л. П., Канін О. П., Панібратець Л. Г. Програмний комплекс АЕСУМ: досвід впровадження, сучасний стан та напрями подальшого розвитку. *Вестник ХНАДУ*. 2012. Вип. 58. С. 20–23.
15. Characteristics of intelligent transportation systems and its relationship with data analytics / S. M. Khan, M. Rahman, A. Apon, M. Chowdhury. *Transportation and Power Grid in Smart Cities: Communication Networks and Services*. Academic Press, 2018. Ch. 1. P. 1–26. DOI: 10.1016/B978-0-12-809715-1.00001-8
16. Задачі оптимального проектування надійних мереж / Н. З. Шор, І. В. Сергієнко, В. П. Шило та ін. Київ: Наук. думка, 2005.
17. Прогнозування розвитку мережі автомобільних доріг за різних рівнів фінансування / В. В. Філіппов, Є. Д. Прусенко, В. К. Жданюк, Н. В. Смірнова. *Вісник ХНАДУ*. 2009. Вип. 44. С. 90–95.
18. Моніторинг стану дорожнього одягу для планування ремонтних робіт автомобільних доріг, у тому числі для СУСП / В. В. Мозговий,

А. М. Онищенко, М. В. Гаркуша, О. О. Білан. *Дороги і мости*: зб. наук. пр. Київ: ДерждорНДІ, 2011. Вип. 13. С. 76–88.

19. Radopoulou S. C., Brilakis I. Improving road asset condition monitoring. *Transportation Research Procedia*. 2016. Vol. 14. P. 4141–4150. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.330

20. Проєкт OMICRON. URL: <https://omicronproject.eu>

21. Mapping with stakeholders: An overview of public participatory GIS and VGI in transport decision-making / N. Giuffrida, M. Le Pira, G. Inturri, M. Ignaccolo. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2019. Vol. 8, no. 4. P. 198. DOI: 10.3390/ijgi8040198

22. Uniting and strengthening America by providing appropriate tools required to intercept and obstruct terrorism (USA PATRIOT ACT, 2001). URL: <http://frwebgate.access.gpo.gov>

23. Council Directive 2008/114/EC on the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0114&from=EN>

24. Transportation systems. URL: https://www.dhs.gov/xlibrary/assets/Transportation_Base_Plan_5_21_07.pdf

25. Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення: Постанова Каб. Міністрів України від 17.11.2021 р. № 1242. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1242-2021-%D0%BF#Text>

26. Про автомобільні дороги: Закон України. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2862-15>

27. Державна цільова економічна програма розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2023 роки. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/382-2018-%D0%BF#Text>

28. Executive Order 13010. URL: <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-1996-07-17/pdf/96-18351.pdf>
29. Castells A., Solé-Ollé A. The regional allocation of infrastructure investment: The role of equity, efficiency and political factors. *European Economic Review*. 2005. Vol. 49 (5). P. 1165–1205. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0014292103001077>
30. Безуглий А. О., Печончик Т. І. Економічний механізм розподілу фінансових ресурсів на потреби дорожнього господарства як складова стратегії ефективного управління автомобільними дорогами загального користування. *Дороги і мости: зб. наук. пр. Київ, 2014. Вип. 14. С. 125–130.*
31. Rinaldi S., Peerenboom J., Kelly T. Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies. *IEEE Control Systems Magazine, IEEE*. Dec. 2001. P. 11–25.
32. Dudenhofer D. D., Permann M. R., Manic M. CIMS: A framework for infrastructure interdependency modeling and analysis. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference / ed. by L. F. Perrone et al. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2006.
33. White paper – Roadmap to a single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:en:PDF>
34. Сімак С. В. Сучасні проблеми системи управління безпекою дорожнього руху. *Публічне управління та адміністрування у процесах економічних реформ: зб. тез доп. V Всеукр. наук.-практ. конф. Херсон: ХДАУ, 2021. С. 110–112.*
35. Mkwata R., Chong E. E. M. Effect of pavement surface conditions on road traffic accident – A review. *E3S Web of Conferences*. 2022. Vol. 347. DOI: 10.1051/e3sconf/202234701017

36. Калініна А. В. Запобігання дорожньо-транспортним пригодам в умовах воєнного стану. *Питання боротьби зі злочинністю*: зб. наук. пр. Харків, 2022. № 44. С. 107–114.
37. Коломієць Є. В., Каракай М. С., Касьянюк С. В. Структура та зміст інформаційно-аналітичної системи державного управління. *Державне управління: удосконалення та розвиток*. 2020. № 1. DOI: 10.32702/2307-2156-2020.1.35
38. Decision-making in the transport sector: A sustainable evaluation method for road infrastructure / I. Henke, A. Carteni, C. Moliterno, A. Errico. *Sustainability*. 2020. No. 12 (3). P. 764. DOI: 10.3390/su12030764
39. Корнієвський О. А. Взаємодія громадських об'єднань з органами влади щодо освітньої підготовки фахівців з відновлення України. *Вісник НТУУ «КПІ». Політологія. Соціологія. Право*. Київ, 2023. № 1 (57). С. 97–104.
40. Дяченко П. В., Басько А. С. Стан та перспективи розвитку проєктів дорожнього будівництва. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2023. Вип. 54. С. 12–21.
41. Yan S., Shih Y.-L. Optimal scheduling of emergency roadway repair and subsequent relief distribution. *Computers & Oper. Res.* 2009. Vol. 36. P. 2049–2065.
42. Шурупов В. О. Маршрутизація міжнародних автомобільних перевезень небезпечних вантажів. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2014. № 29 (1). С. 370–380.
43. Томляк С. І., Поляков А. П. Шляхи підвищення ефективності перевезення вантажів автомобільним транспортом. *Наукові нотатки*. Луцьк, 2014. № 46. С. 529–537.
44. Modeling emergency evacuation for major hazard industrial sites / P. S. Georgiadou et al. *Reliab. En-g & Sys. Safety*. 2007. Vol. 92 (10). P. 1388–1402.
45. Chen Y., Xiao D. Emergency evacuation model and algorithms. *J. Transport. Sys. En-g & IT*. 2008. Vol. 8 (6). P. 96–100.

46. Liu Y., Lai X. R., Chang G. L. Two-level integrated optimization system for planning of emergency evacuation. *J. Transport. En-g.* 2006. Vol. 132 (10). P. 800–807.
47. Аналіз аварійності на транспорті України за 2020 рік. URL: <https://mtu.gov.ua/files/bezpeka/Аналіз%20аварійності%20на%20транспорті%20України%20за%202020%20рік.pdf>
48. Руденко Д. В., Товарянський В. І. Застосування методу коефіцієнтів аварійності як основи статистичної моделі взаємного впливу дорожніх умов. *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання: V Всеукр. наук.-теор. конф.* Львів, 2023. С. 28–31.
49. Звіт Національної поліції України про результати роботи у 2021 році / Каб. Міністрів України. URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-civik-2018/zvit2021/Zvit_NPU_2021_.pdf
50. Review of advanced driver assistance systems / P. Thomas, J. Breen, G. Yannis et al. *Smart Cities and Mobility as a Service: Proc. of the Int. Conf., Patras, Greece, Dec. 7–8, 2017.* URL: <https://www.nrso.ntua.gr/geyannis/pub/pc282-review-of-advanced-driver-assistance-systems/>
51. Validation of a driving simulator for research into human factors issues of automated vehicles / N. Tomasevic, T. Horberry, K. Young, B. Fildes. *Journal of Road Safety.* 2019. Vol. 30, iss. 2. P. 37–44. DOI: 10.33492/JACRS-D-18-00279
52. Bahrami S., Roorda M. J. Optimal traffic management policies for mixed human and automated traffic flows. *Transportation Research Part A: Policy and Practice.* 2020. Vol. 135. P. 130–143. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856418308127>
53. Morrison B., Sasaki M., Morrison N. The relative efficacy of positively and negatively valenced road safety campaign messages in improving dangerous driving attitudes. *Journal of Road Safety.* 2020. Vol. 31, iss. 4. P. 13–25. DOI: 10.33492/JRS-D-19-00230

54. Терещенко О. П., Ванюта О. Р. Огляд стану автомобільних перевезень небезпечних вантажів. *XLVIII Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету*. Вінниця, 2019. С. 45–52. URL: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/27354>
55. Мікуліна М. О., Клещ О. В. Проблеми управління ланцюгами постачань у транспортній логістиці в умовах бойових дій / Сумський нац. аграрний ун-т. 2023. URL: <https://repo.snau.edu.ua:8080/xmlui/handle/123456789/10443>
56. Моделювання покриття опуклими багатокутниками заданої області з дискретними елементами / В. М. Комяк, О. М. Соболев, С. Я. Кравців, І. А. Чуб. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон, 2018. Вип. 3 (66). С. 147–153. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/7964/1/Вісник%20ХНТУ%202018.pdf>
57. Тарнавський А. Б. Заходи щодо зменшення радіоактивного забруднення місцевості після Чорнобильської аварії для нормалізації агропромислового виробництва. 2017. URL: https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/4101/1/5_Kon.pdf
58. Зось-Кіор М. В. Інтегрована інформаційно-аналітична система як прототип побудови єдиного інформаційного простору. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*. 2018. № 1 (86). С. 129–135. URL: <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/3913>
59. Дурман М. О., Линецька Я. М. Інформаційно-аналітична система «LOGICA» як інструмент підвищення ефективності процесів бюджетування. *Модернізація економіки: сучасні реалії, прогностичні сценарії та перспективи розвитку*: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф., м. Херсон, 28–29 квіт. 2021 р. Херсон: ХНТУ, 2021. С. 328–330. URL: http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/45158/1/Збірник_тез_доповідей_ХНТУ_2021.pdf

60. Putri T. S., Tolle H., Aknuranda I. Information management and information system analysis to support the achievement of university performance agreements with the government. *Jurnal Sistem Informasi*. 2021. Vol. 17, iss. 1. P. 30–43. DOI: 10.21609/jsi.v17i1.989
61. Інструкції до формування банків даних для СУСП за результатами натурних обстежень автомобільних доріг. Київ, 2002.
62. Курєннов С. С. Математичні методи логістики: навч. посіб. Харків: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2008. 91 с.
63. Díaz-Madroñero M., Mula J., Peidro D. A review of discrete-time optimization models for tactical production planning. *International Journal of Production Research*. 2014. Vol. 52, iss. 17. P. 5171–5205. DOI: 10.1080/00207543.2014.899721
64. Наказ Державної служби автомобільних доріг України про впровадження електронного паспорта автомобільних доріг від 02.07.2002 р. № 268. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0268466-02#Text>
65. Lemmens M. Geo-information: Technologies, applications and the environment. Springer Science & Business Media, 2011. 394 p.
66. Geoinformation approach to the urban geographic system research (case studies of Kharkiv region) / S. V. Kostrikov, L. M. Niemets, K. Y. Sehida et al. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology. Geography. Ecology"*. 2018. Vol. 49. P. 107–124. DOI: 10.26565/2410-7360-2018-49-09
67. MapInfo. URL: <http://www.mapinfo.com/>
68. OGC Implementation Specification: Styled Layer Descriptor profile of the Web Map Service Implementation Specification. Open Geospatial Consortium Inc., 2007. URL: <http://www.opengeospatial.org/standards/>
69. Черін А. Г. Стандартизація геоінформаційних сервісів. *Вісник геодезії та картографії*. 2009. № 4. С. 34–39.

70. Kauk V., Dubrovskyi O. Methods for building geo-social systems in the internet. Cartographic and geo-location services. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2012. Vol. 3, iss. 4. P. 56–59.

71. Портал відкритих даних. Довідка про фінансування дорожньої галузі на поточну дату. Річна довідка 2020. Інформація щодо фінансування робіт з будівництва, реконструкції, ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування в межах встановлених асигнувань. URL: <https://data.gov.ua/dataset/c2f196fa-efd3-4b72-90c1-1617a656c959/resource/1d4b4f6a-198f-455d-9f92-52a92789b479/download/dovidka-pro-finansuvannia-na-potochnu-datu.zip>

72. On the report on the implementation of the Law of Ukraine "On the State Budget of Ukraine for 2022". URL: <https://ips.ligazakon.net/document/view/di09368a?an=2>

73. Draft law on the state budget for 2023: Key features / Y. Markuts, D. Andrienko, I. Studennikova et al. URL: <https://kse.ua/wp-content/uploads/2022/09/Analiz-DBU-2023-1-chitannya.pdf>

74. Доля В. К., Енглезі В. П., Пахно О. Є. Щодо визначення впливу параметрів транспортних потоків та погодних умов на ймовірність виникнення ДТП. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. 2011. № 3. С. 29–33.

75. Бірюков Д. С., Заславський В. А. Оцінювання рівня розвитку територій України на основі методів багатокритеріальної оптимізації. *Системи обробки інформації*. 2010. Вип. 8 (89). С. 151–158.

76. Ведмеденко М. Чим «грішили» автомобілісти у 2022 році: десять найпоширеніших причин ДТП. *Polis.ua*. 2023. URL: <https://polis.ua/uk/articles/Chym-hrishyly-avtomobilisty-u-202-rotsi-desyat-nauposhyrenishykh-prychyn-DTP>

77. Shvartsman I. Compactification method in linear programming approach to infinite-horizon optimal control problems with a noncompact state constraint. *Discrete and Continuous Dynamical Systems – B*. 2023. DOI: 10.3934/dcdsb.2023087
78. Scientific study of asphalt road surface distress and their role in the design of flexible pavements / S. G. Shaikh, D. U. Mahajan, M. N. S. Shaikh, A. P. Wadekar. *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 2022. Vol. 70, no. 1. P. 220–232.
79. Asphalt pavement density measurement using non-destructive testing methods: Current practices, challenges, and future vision / S. Wang, X. Sui, Z. Leng et al. *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 344. P. 128–154.
80. Modeling the non-destructive control of road surfaces compaction / A. P. Prokopev, Z. I. Nabizhanov, V. I. Ivanchura, R. T. Emelyanov. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1399, no. 4. P. 44–94.

Акт встановлення

АКТ
встановлення системи

Ми, що нижче підписалися, представник Виконавця Проректор з наукової роботи Київського національного університету імені Тараса Шевченка Вижва Сергій Андрійович, з одного боку, та представник Замовника директор ДП «Укрдорзв'язок» Левченко Володимир Олексійович, з другого боку, склали цей акт про те, що Київським національним університетом імені Тараса Шевченка у комутаційну шафу ДП «Укрдорзв'язок» встановлено програмно-апаратний комплекс «Інформаційно-аналітична система 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». Програмно-апаратний комплекс підключений до активного мережевого обладнання ДП «Укрдорзв'язок», що дає можливість доступу до Інформаційно-аналітичної системи з локальної мережі Укравтодор та мережі інтернет по певним, організованим на вимогу Виконавця, портам.

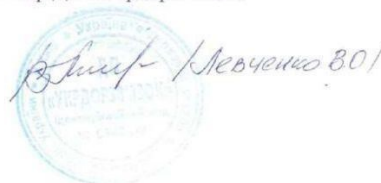
Представник Виконавця

Проректор з наукової роботи
Київського національного
університету імені Тараса Шевченка

Вижва С.А.

Представник Замовника

Директор ДП «Укрдорзв'язок»



Відгуки про виконання НДР

ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
Державна акціонерна компанія
«Автомобільні дороги України»

03680, м. Київ, вул. Горького, 51

тел.: 266-21-04, факс: 287-52-34

E-mail: mail @ rou. org. ua

№ 1/8-10/2485«19» 10 2012 р.

ВІДГУК

на НДР “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”, що виконана співробітниками факультету кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Науково-дослідна робота є актуальною розробкою на шляху автоматизації обробки інформації, що надходить від підпорядкованих підрозділів Укравтодору та обробляється для підготовки аналітичних висновків, контролю за виконанням робіт та звітності.

Результатом

Результатом науково-дослідної роботи є програмний комплекс, побудований на основі технології клієнт-сервер, який дозволяє організовувати інформаційну взаємодію Укравтодором та обласними службами автомобільних доріг. Розроблений інтерфейс програмного комплексу надає можливості вносити та корегувати в реальному часі дані в загальноприйнятих формах, та зберігати в базі даних, що знаходиться на сервері в Укравтодорі.

Виконана робота заслуговує позитивної оцінки, виконана на високому професійному рівні і буде використовуватись в роботі Укравтодору для обробки даних.

Голова правління



С.Я. Стельнякович



Державне агентство автомобільних доріг України
(УКРАВТОДОР)

Служба автомобільних доріг в Івано-Франківській області

76018, м. Івано-Франківськ, вул. Петрушевича, 1

тел. (0342) 72-22-00
факс (0342) 72-22-28
e-mail: sadif@com.if.ua

24.10.12р. № 03-20/027

ВІДГУК

на НДР, виконану співробітниками факультету кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка, "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"

На сьогоднішній день в умовах динамічного розвитку інформаційних технологій та постійної зміни об'єму та структури інформаційних потоків актуальною задачею є створення і впровадження програмно-технічних засобів та методів для науково-технічного супроводу автодорожнього господарства. Такі програмні продукти мають бути розроблені з використанням сучасних інформаційних технологій та відповідати стандартам територіально-розподілених програмно-апаратних комплексів.

Розроблена інформаційно-аналітична система впроваджується як науково-технічна програмна оболонка на базі клієнт-серверної платформи для організації інформаційної взаємодії між Державним агентством автомобільних доріг України та Службами автомобільних доріг в областях, АР Крим та м.Севастополь для оперативного обміну даними. На відміну від прийнятої існуючої технології обміну даними через електронну пошту інформація в новій системі заноситься відповідальною особою САД в Івано-Франківській області безпосередньо в базу даних, що знаходиться на сервері в Укравтодорі. Програмний комплекс має клієнтський інтерфейс, можливості якого дозволяють вносити та корегувати в реальному часі дані та здійснювати обробку.

Дана науково-технічна розробка значно полегшує обробку даних про стан виконання робіт на автомобільних дорогах та є дієвим інструментом для автоматизації звітності.

Робота виконана на професійному рівні, розробниками продемонстровано висококваліфікаційні навички роботи з сучасними інформаційними технологіями в сфері створення систем підтримки прийняття рішень та візуалізації даних. Впровадження даної інформаційно-аналітичної системи підвищить оперативність при підготовці звітних форм та аналізу даних, що накопичуються за різні періоди часу, на основі бази даних.

Начальник Служби

С.М. Сендерський



Державне агентство автомобільних доріг України
(УКРАВТОДОР)
Служба автомобільних доріг у Херсонській області

вул. Поповича, 23
м. Херсон - 36, 73036

тел. (0552) 36-77-78, факс (0552) 36-67-27
E-mail: udskherson@yandex.ru

29.10.2012 № 03-9/2156

ВІДГУК

на НДР “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”, що виконана співробітниками факультету кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Удосконалення інформаційного обміну та обробки даних про стан виконання та планування переліку робіт на автомобільних дорогах України шляхом впровадження новітніх науково-технічних розробок на основі інформаційних технологій є невід’ємною частиною розвитку єдиного інформаційно-аналітичного простору даних щодо стану об’єктів дорожнього господарства в Укравтодор.

Простота використання та впровадження науково-технічної розробки, дружній інтерфейс користувача поруч із потужним програмним апаратом обробки та аналізу даних роблять інформаційно-аналітичну систему, яка є результатом НДР, інструментом для накопичення, обробки, аналізу та обміну даними в централізованій базі даних. Розроблене програмне забезпечення дозволяє зберігати, обробляти та оперативно оновлювати велику кількість даних щодо стану автомобільних доріг за різні періоди звітності та здійснювати візуалізацію результатів.

Робота виконана на професійному рівні, заслуговує позитивної оцінки. Впровадження результатів даної НДР дозволить систематизувати інформацію про стан виконання робіт по ремонтах реконструкції та будівництву автомобільних доріг та підвищить якість та оперативність підготовки звітних форм, аналізу даних та візуалізації кінцевих результатів.

Начальник Служби

М.М.Савченко

Довідки про впровадження



ВИКОНАВЧИЙ ОРГАН КИЇВСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ (КИЇВСЬКА МІСЬКА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ)
ДЕПАРТАМЕНТ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

КОМУНАЛЬНА КОРПОРАЦІЯ «КИЇВАВТОДОР»

(КК «КИЇВАВТОДОР»)

вул. Петра Болбочана (К. Каменєва), 6, м. Київ, 01104, тел. (044)285 03 36 E-mail: kyivavtodor@kyivcity.gov.ua
Код ЄДРПОУ 03359026

15.12.23 № 043/10/223
На № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження здобувача наукового ступеня кандидата технічних наук Сідляренка Андрія Ігоровича «Інформаційно-аналітична система моніторингу та аналізу ефективності управління автомобільними дорогами як складовою частиною критичної інфраструктури»

Суттєва обмеженість ресурсів у забезпеченні обслуговування мережі автомобільних доріг за умови постійних структурних змін виявляє критичну проблему відсутності централізованої системи інформаційно-аналітичної підтримки для процесів прийняття управлінських рішень.

Для вирішення цієї проблеми в роботі Сідляренка А.І. розроблено механізм комплексування інформації, який використовує метод багатокритеріальної оптимізації для прийняття стратегічних та оперативних управлінських рішень та включає в себе низку математичних моделей, засобів агрегації, форм подання даних, а також засоби взаємодії. Результатом застосування цього підходу в Комунальній корпорації «Київавтдор» стало скорочення кількості ітерацій введення і обробки даних щодо стану об'єктів будівництва, ремонту і реконструкції щонайменше в 2 рази, що дозволило значно зменшити час на процеси планування робіт на відповідних ділянках автомобільних доріг в умовах невизначеності щодо обсягів фінансування, а також час на використання та зберігання ресурсів, що надходять.

Попередня апробація в роботі управління капітального будівництва запропонованих Сідляренком А.І. вдосконалених математичних моделей, що ґрунтуються на моделях експертної оцінки важливості та враховують ступінь завершеності робіт, дозволила знизити середні витрати на залучення фінансування робіт щодо об'єктів будівництва на 3 % та ефективніше розподіляти фінансові ресурси між поточними та майбутніми об'єктами відповідно до графіка виконання робіт.



Заступник генерального директора
Ділянка будівництва

15.12.2023

Юрій ДОРОШЕНКО

ТОВ "ЖИТЛОШЛЯХБУД"

07300, Київська обл.,
м. Вишгород, вул. Набережна, 1
Р/р UA263808050000000026006101257
АТ «Райффайзен Банк Аваль»,
м. Київ, МФО 380805

код ЄДРПОУ 34509026
Інд.подат № 345090210085
Свідоцтво. № 100306040
mail: 2295354@ukr.net

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження здобувача наукового ступеня кандидата технічних наук Сідляренка Андрія Ігоровича «Інформаційно-аналітична система моніторингу та аналізу ефективності управління автомобільними дорогами як складовою частиною критичної інфраструктури»

Різноманітність та різноманітність даних у щодо стану автомобільних доріг вимагають постійного моніторингу для ефективного управління даними та прийняття рішень. З метою вдосконалення управління в цих умовах важливе використання інформаційних технологій. Важливими характеристиками таких технологій мають бути гнучкість, мультифункціональність та можливість уніфікації даних. Впровадження комплексу проблемно-орієнтованих математичних моделей та використання інформаційних технологій для оптимізації управлінських процесів може суттєво підвищити ефективність управління даними щодо стану будівництва автомобільних доріг.

Розроблена архітектура і структура інформаційно-аналітичної системи автомобільних доріг, яка ґрунтується на принципі роздільності на модулі, використовує відповідні комп'ютерні технології та математичні методи для візуалізації та класифікації об'єктів в системі автомобільних доріг. Оцінювання ефективності даної системи, що проведене у межах роботи ТОВ Житлошляхбуд, показало можливість підвищення доступності даних про стан поточних об'єктів будівництва за рахунок зменшення часу на отримання даних у різних формах звітності щонайменше у 2-3 рази. Це також дозволяє суттєво знизити ймовірність помилки у даних через людський фактор.

Директор

07.12.2023



Коваленко А.М.



ПРИВАТНИЙ ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ІТ СТЕП УНІВЕРСИТЕТ»

вул. Замарстинівська, 83а, м. Львів, 79011, Україна, тел. +38 (032) 240-38-51
E-mail: box@itstep.org, itstep.edu.ua, ЄДРПОУ 40570842

17.12.2024 № 477

На № _____ від _____

ДОВІДКА

про використання науково-практичної розробки та використання в навчальному процесі результатів з дисертаційного дослідження «Інформаційно-аналітична система моніторингу та аналізу ефективності управління автомобільними дорогами як складової частини критичної інфраструктури»

Сідляренка Андрія Ігоровича

Результати дисертаційного дослідження Сідляренка А.І., на тему «Інформаційно-аналітична система моніторингу та аналізу ефективності управління автомобільними дорогами як складової частини критичної інфраструктури» використанні для вдосконалення теоретико-методологічного забезпечення освітнього процесу в ПЗВО «ІТ СТЕП Університет» при підготовці студентів освітнього рівня магістра за освітньо-професійною програмою «Прикладні комп'ютерні науки» спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», зокрема, при викладанні навчальних дисциплін «Управління ІТ проектами», «Дослідження даних» та при підготовці кваліфікаційних робіт. Нові положення стосуються:

- удосконалення методологічного підходу до аналізу і систематизації даних про стан об'єктів мережі автомобільних доріг та споруд на них, а також процесу фінансування робіт з ремонту, реконструкції та будівництва;
- узагальнення принципів системного підходу до управління інфраструктурними об'єктами, що включає інтеграцію даних з різних джерел та використання алгоритмів для побудови комплексних моделей стану об'єктів;
- розвиток навичок використання геоінформаційних платформ та візуалізації даних для інтерактивного представлення даних у вигляді динамічних карт і звітів для прийняття управлінських рішень;
- розширення методів прогнозування ризиків і моделювання сценаріїв для визначення пріоритетів у плануванні ремонту та обслуговування дорожньої інфраструктури на основі аналізу потенційних загроз та умов експлуатації.

Гарант ОП «Прикладні комп'ютерні науки»,
к.т.н., доцент

А. О. Дейнеко

Проректор з науково-педагогічної роботи,
д.т.н., доцент



Т. Є. Рак

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор
Артем ГОНЧАРОВ

20 24 р.

Довідка

про використання в навчальному процесі
результатів дисертаційного дослідження на тему: «Інформаційно-аналітична
система моніторингу та аналізу ефективності управління автомобільними
дорогами як складової частини критичної інфраструктури»
Сідляренка Андрія Ігоровича

Розроблені в дисертаційному дослідженні Сідляренка А.І. на тему «Інформаційно-аналітична система моніторингу та аналізу ефективності управління автомобільними дорогами як складової частини критичної інфраструктури» нові та вдосконалені математичні моделі використані для теоретико-методологічного забезпечення навчального процесу, змісту лекційних матеріалів і практичних завдань під час викладання навчальних дисциплін «Математичне моделювання транспортних систем», «Математичне моделювання технічних систем в автотранспорті» на кафедрі автомобілів та технології їх експлуатації Черкаського державного технологічного університету для підготовки студентів ступеня магістр спеціальностей 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» та 274 «Автомобільний транспорт». Нові положення стосуються:

- удосконалення математичних методів для стратегічного та оперативного планування розвитку дорожньої інфраструктури, що дозволяють підвищувати ефективність розподілу фінансових і матеріально-технічних ресурсів;
- узагальнення методики збору та оброблення даних про стан автомобільних доріг, зокрема їх технічного стану, та планування робіт в умовах невизначеності;
- удосконалення алгоритмів управління об'єктами дорожнього господарства як частиною критичної інфраструктури.

Завідувач кафедри АТЕ

Людмила ТАРАНДУШКА

Доцент кафедри АТЕ

Наталія КОСТЬЯН

Доцент кафедри АТЕ

Максим РУДЬ