

РОЗРОБКА МЕТОДИЧНОГО ПІДХОДУ ДО УТРИМАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ У
ЗИМОВИЙ ПЕРІОД З УРАХУВАННЯМ СВІТОВОГО ДОСВІДУ

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGICAL APPROACH TO THE MAINTENANCE OF HIGHWAYS
IN THE WINTER PERIOD TAKING INTO ACCOUNT WORLDWIDE EXPERIENCE



Смірнов Анатолій Миколайович, аспірант, Національний транспортний університет, аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: smirnov_anatoliy@ukr.net, +380988289013, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 206,

<https://orcid.org/0000-0002-8389-6812>

Анотація. В статті розглянуто моделі та запропоновано методичний підхід до утримання автомобільних доріг у зимовий період з урахуванням світового досвіду. Визначено, що оцінка заходів зимового утримання доріг, що виконується у різних країнах, приймає різні форми відповідно до: індикатору якості або стандарту; обліку та аналізу витрат; організованої системи управління; стандартів з огляду та моніторингу робіт; вимірювання відповідності надання послуг; аналізу скарг від користувачів дорожньої мережі; методів прогнозування та запобігання певних зимових явищ. Запропоновано використовувати для оцінки серйозності впливу погоди на зимове утримання індекс WSI (FHWA), який розраховується на підставі усередненого значення щоденного снігопаду та зафіксованої мінімальної та максимальної температури в середньому за сезон. Рекомендовано результати прогнозування опадів та рівень індексу WSI використовувати як підставу для визначення експлуатаційного рівня обслуговування, який формує набір потенційних заходів з зимового утримання доріг. Запропоновано виконувати обґрунтування рівня обслуговування за моделями зимового утримання та прогнозування заходів, які дозволяють сформувати методичний підхід до утримання автомобільних доріг. Розроблено методичний підхід, який ґрунтується на використанні математичної моделі утримання доріг у зимовий період, що функцією мінімізації накопичених показників якості зимового утримання елементів дороги залежно від їх ваги для утримання.

Ключові слова: зимове утримання, рівень обслуговування, методи, моделі, заходи з утримання.

Вступ. Зимове утримання автомобільних доріг є складним та вартісним процесом. У більшості випадків погода залишається складно передбачуваним явищем незалежно від регіону, країни чи континенту. В Україні до цього додаються ще й доволі часті переходи через нуль градусів, які роблять велику частину заходів, популярних за кордоном, потенційно неефективними. Таким чином, незалежно від інтенсивності та тривалості зима залишається сезоном непередбачуваності для дорожніх служб. Ця непередбачуваність справляє значний вплив як на рух транспорту та пішоходів, так і на перевезення (потік товарів і послуг). Неприятливі зимові умови і виконані заходи впливають на термін служби об'єктів інфраструктури та, що ще важливіше, на їх доступність та безпеку. Дорожня служба повинна забезпечувати безпеку всіх користувачів доріг та підтримувати в належному стані дорожню інфраструктуру, що в свою чергу впливає на розвиток економічної та соціальної діяльності регіону обслуговування. Сьогодні в управлінні дорожньою мережею дорожні адміністрації стикаються з низкою проблем щодо оперативного врахування кліматичних змін та зростання витрат на експлуатаційне утримання доріг. Тому, належне планування та застосування сучасних методів зимового утримання доріг є актуальною задачею сьогодення.

Мета дослідження. Метою статті є аналіз моделей та розробка методичного підходу до утримання автомобільних доріг у зимовий період з урахуванням світового досвіду.

Результати досліджень.

Дороги є ключовим елементом для економічного та соціального розвитку країни. Організація та здійснення експлуатаційного утримання доріг в зимовий період суттєво відрізняються в контексті різних країн, оскільки країни мають:

- різні організаційні рівні (централізований, регіональні та місцеві);
- різні форми планування та організації роботи;
- різні підходи до управління мережею;
- різні заходи з експлуатаційного утримання, що застосовуються на мережі доріг залежно від тяжкості погодних явищ.

Усі роботи, виконувані у зимовий період, поділяються на такі групи: снігоочисні, видалення снігу та сколу, боротьба із слизькістю доріг, ліквідація ожеледиці.

Оцінка заходів зимового утримання доріг, що спостерігається у різних країнах, приймає різні форми залежно від поставлених цілей та проблем дорожніх організацій. Відповідно до:

- індикатору якості або стандарту, що дозволяє контролювати якість заходів з експлуатаційного утримання;

- обліку та аналізу витрат, пов'язаних з зимовим утриманням доріг;
- організованої системи управління;
- стандартів з огляду та моніторингу робіт;
- вимірювання відповідності надання послуг;
- аналізу скарг від користувачів дорожньої мережі;
- методів прогнозування та запобігання певних зимових явищ.

Стратегічною програмою досліджень доріг (SHRP) та FHWA запропоновано використовувати для оцінки серйозності впливу погоди на зимове утримання індекс WSI [1]. Цей індекс розраховується на підставі усередненого значення щоденного снігопаду та зафіксованої мінімальної та максимальної температури в середньому за сезон. Крім того, деякі держави розробили свої власні показники для зимового утримання доріг. Індекс WSI можна визначити за запропонованою SHRP формулою:

$$WSI = a\sqrt{TI} + b \times \ln\left(\frac{S}{10} + 1\right) + c\sqrt{\frac{N}{R + 10}} + d \quad (12)$$

де: TI - індекс температури: $TI = 0$, якщо мінімальна температура повітря вище 32°F (0°C); $TI = 1$, якщо максимальна температура повітря вище 32°F , при цьому мінімальна температура повітря знаходиться на рівні або нижче 32°F (0°C); $TI = 2$, якщо максимальна температура повітря знаходиться на рівні або нижче 32°F (0°C). Використовується середньодобове значення;

S – рівень опадів: середні добові значення в міліметрах;

N – кількість заморозків: середня добові значення кількості днів із мінімальною температурою повітря біля 32°F (0°C) або нижче ($1 \leq N \leq 1$);

R – діапазон температур: значення середньомісячної максимальної температури повітря мінус середня місячна мінімальна температура повітря в $^{\circ}\text{C}$.

a , b , c та d – коефіцієнти, для визначення яких застосовується регресійний аналіз.

WSI має діапазон від -50 (найсуворіша погода і максимальний рівень контролю снігу та льоду), 0 (не надто сильна погода і середній рівень снігу та льоду), до 50 (тепла погода і немає необхідності контролю снігу та льоду).

Результати прогнозування опадів та рівень індексу WSI є підставою для визначення експлуатаційного рівня обслуговування, який формує набір потенційних заходів з зимового утримання доріг. Основним переліком показників (так званою таксономією), які використовуються на даний момент для оцінки та призначення потенційних заходів з зимового утримання, виходячи із зарубіжного досвіду є [2]:

1. Характеристики/серйозність снігових опадів.
2. Модель управління протиожеледними матеріалами.
3. Модель розподілу трудових ресурсів.
4. Рівень реагування на експлуатаційне утримання.
5. Результати реагування на експлуатаційне утримання (ефекти).
6. Рівень оперативного реагування.
7. Досвід, мобільність і безпека.
8. Вартість заходів, бюджет і фінансування.
9. Транспортний потік.
10. Економічна ефективність.

Класифікацію елементів показників якості зимового утримання доріг наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Класифікація елементів показників якості зимового утримання доріг (адаптовано з [2])

Table 1 – Classification of elements of winter road maintenance quality indicators (adapted from [2])

| Показник | Опис |
|--------------------------------|---|
| Визначення елемента | Класифікація згідно рівня обслуговування |
| Тип | Вхідне/вихідне вимірювання / вимірювання результату |
| Одиниці виміру | Типові одиниці виміру для елемента |
| Вимоги до збору даних | Типові вимоги до збору даних якісних показників |
| Вимоги до методу збору даних | Вимоги до методу збору даних відповідно до затверджених стандартів та рекомендацій |
| Географічна приналежність | Ділянка, сегмент, регіон |
| Погодні явища | Типи погодних явищ, що справляють вплив на елемент |
| Часовий проміжок вимірювання | Чи можливе вимірювання в режимі реального часу чи ні |
| Утримання | Види заходів з експлуатаційного утримання |
| Вимоги | Критерії втручання, вимоги до технології виконання заходів та збору даних |
| Тип критерію прийняття рішення | Критерії прийняття рішення щодо використаних протижелезних матеріалів, розміщення техніки та підрозділів тощо |
| Варіанти | Альтернативні рішення за рівнем обслуговування |

Модель зимового утримання доріг базується на врахуванні трьох основних аспектів [3, 4, 5] (табл. 2, рис. 1): входи (вхідні показники); виходи; результати.

Таблиця 2 – Показники моделі зимового утримання доріг

Table 2 – Winter road maintenance model indicators

| Показник | Опис |
|---------------------------------|---|
| входи (вхідні показники) | ресурси, витрачені або використані для виконання операцій по боротьбі з зимовою слизькістю, включаючи використання палива, час роботи працівників, машин, механізмів і обладнання, а також матеріали. Рівень ресурсів прямо пропорційний витратам дорожнього підприємства, і, отже, вони найлегше і найчастіше можуть бути чітко визначені |
| виходи | результати, які кількісно визначають фізичне виконання робіт, при застосуванні ресурсів в зимовому утриманні доріг |
| результати | показники результативності, які враховують відносне значення ефективності діяльності дорожнього підприємства по зимовому утриманню. Дуже часто визначаються з точки зору користувача або замовника. Результати по суті важче виміряти. Бажаний результат зимового утримання може включати підвищення безпеки руху, зменшення втрат у часі та / або задоволеність користувачів |

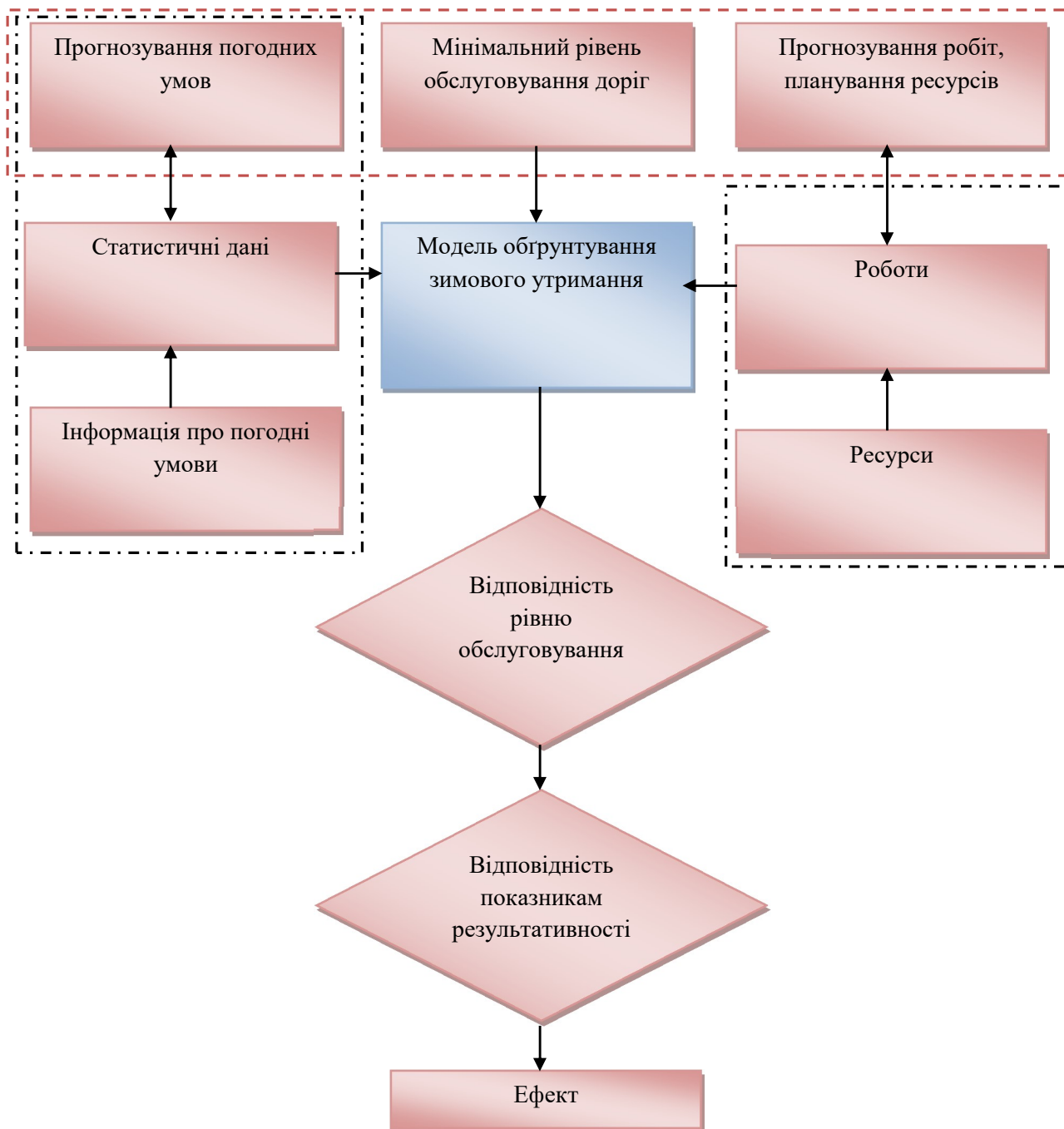


Рисунок 1 – Модель зимового утримання доріг
 Figure 1 – Winter road maintenance model

Прийняття рішення щодо утримання доріг у зимовий період виходячи із зарубіжного досвіду базується перш за все на математичній моделі (рис. 2).

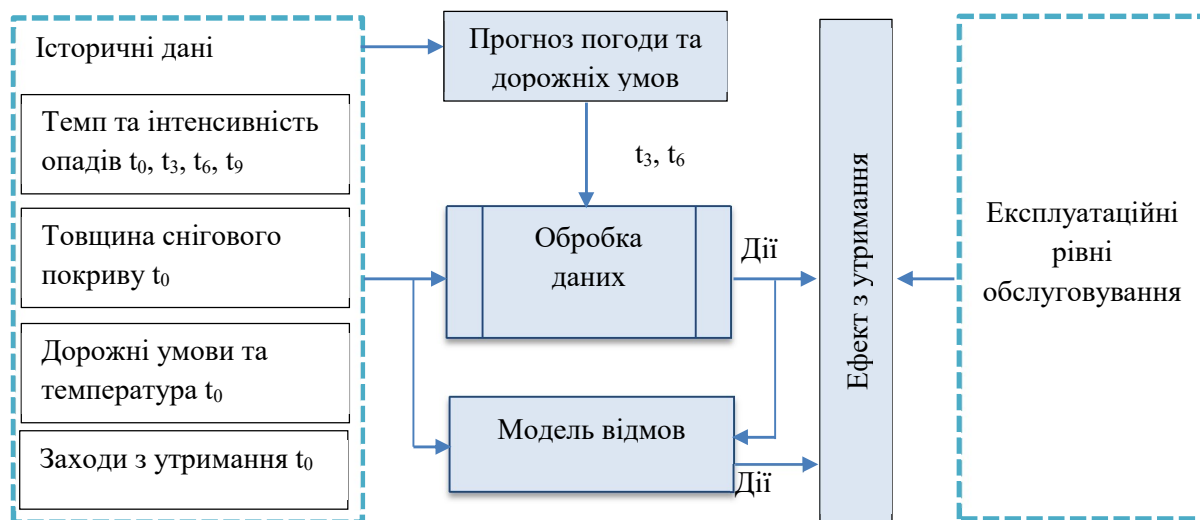


Рисунок 2 – Модель прогнозування заходів з експлуатаційного утримання доріг у зимовий період (адаптовано з [6])

Figure 2 – Model of forecasting measures for road maintenance in winter (adapted from [6])

Таким чином, виходячи з моделей зимового утримання та прогнозування заходів (рис. 1 – 2) та підходів [7-9], можна побудувати математичну функцію:

$$f(PO_3) = \{G, S, LTC, X, Y, y, f(x), WSI\}, \quad (2)$$

де PO_3 - обґрунтований рівень обслуговування доріг в зимовий період;
 G – масив історичних даних про об'єкт обслуговування;
 S – методи обробки даних, моделі прийняття рішень;
 LTC – прогнозування довгострокового утримання за допомогою спеціального пакету програм (наприклад, LTCsimula [8]);
 X – умови та обмеження;
 Y – плановані дії з експлуатаційного утримання;
 y – прогнозовані дії з урахуванням моделі відмов;
 $f(x)$ – функція часових проміжків аналізу даних, $f(x) \in \{t_0, t_3, t_6, t_9\}$.

Виходячи з функції (2) можна відобразити математичну модель зимового утримання доріг:

$$\sum_i \sum_t \beta_i \cdot G_{i,t} \rightarrow \min, \quad (3)$$

де β_i - ваговий коефіцієнт елемента дороги.

Служби автомобільних доріг повинні визначати рівні обслуговування доріг для зимового утримання, виходячи із аналізу накопичених даних про погодні явища регіону, пріоритетність доріг, обсяги фінансування та моніторингу ефективності виконаних раніше заходів по боротьбі зі снігом та зимовою слизькістю.

Висновки

Ключовим завданням переліку показників, які використовуються на даний момент для оцінки та призначення потенційних заходів з зимового утримання, є ідентифікація методів та моделей збору та аналізу інформації для подальшого обґрунтування рівня обслуговування доріг у зимовий період. Тому, враховуючи зарубіжний досвід, запропоновано модель зимового утримання та прогнозування заходів, які дозволяють сформулювати методичний підхід до утримання автомобільних доріг. Модель зимового утримання доріг базується на врахуванні вхідних показників, виходів (фактичних результатів зимового утримання доріг), результатів (показників результативності). Модель прогнозування заходів з експлуатаційного утримання доріг у зимовий період базується на врахуванні рівня обслуговування

доріг, масиву історичних даних про об'єкт обслуговування, методів обробки даних, моделей прийняття рішень, інструментів прогнозування довгострокового утримання, умов та обмежень, планованих та прогнозованих дій, часових проміжків аналізу даних. Математична модель утримання доріг у зимовий період є функцією мінімізації накопичених показників якості зимового утримання елементів дороги залежно від їх ваги для утримання. Запропоновані підходи планується реалізувати в практику дорожніх агентств щодо обґрунтування рівнів експлуатаційного утримання доріг у зимовий період.

Перелік посилань

1. Strong, C., and X. Shi. Benefit-Cost Analysis of Weather Information for Winter Maintenance: A Case Study. *Transportation Research Record 2055*, Transportation Research Board, Washington, DC, 2008, pp.119-127.
2. Nathalie Perrier, Andre Langevin, James F. Campbell. A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part III: Vehicle routing and depot location for spreading. *Computers & Operations Research* 34 (2007) 211–257
3. Liping Fu, Mathieu Trudel, Valeri Kim. Optimizing winter road maintenance operations under real-time information. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada N2L 3G1, *European Journal of Operational Research* 196 (2009) 332–341
4. Performance Measures in Snow and Ice Control Operations. (2019). THE NATIONAL ACADEMIES PRESS. 144 p. DOI: <https://doi.org/10.17226/25410>
5. Dmytrychenko, N., & Kharchenko, A. (2021). Development of method for road network management program optimization. *Technology Audit and Production Reserves*, 4(2(60)), 56–60. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.237949>
6. Keegan Mbiyana. (2018). Winter Road Maintenance Planning-Decision Support Modelling. Luleå University of Technology. Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering. 66 p.
7. Kharchenko, A., Zaviyskyi, O., Tsybul'skyi, V., & Zavorotnyi, S. (2021). Development of methods for parameters of long-term contracts optimization for operational road maintenance. *Technology Audit and Production Reserves*, 1(2(57)), 49–53. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.225532>
8. Kanin, A., Kharchenko, A., Tsybul'skyi, V., Sokolova, N., & Shpyh, A. (2022). Construction of a simulation model for substantiating the parameters of long-term road maintenance contracts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(3 (116)), 33–42. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253652>
9. Kharchenko, A., Tsybul'skyi, V., Chechuha, O., Zavorotnii, S., & Shuliak, I. (2022). Building a model for managing the cost and duration of motor road projects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(3 (117)), 13–22. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.256213>

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGICAL APPROACH TO THE MAINTENANCE OF HIGHWAYS IN THE WINTER PERIOD TAKING INTO ACCOUNT WORLDWIDE EXPERIENCE

Smirnov Anatolii M., graduate student, National Transport University, graduate student of the department of transport construction and property management, e-mail: smirnov_anatoliy@ukr.net, +380988289013, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Omelyanovycha-Pavlenka, 1, room 206, orcid.org/0000-0002-8389-6812

Abstract. The article examines models and proposes a methodical approach to highway maintenance in the winter period, taking into account world experience. It was determined that the assessment of winter road maintenance measures performed in different countries takes different forms according to: quality indicator or standard; cost accounting and analysis; organized management system; standards for inspection and monitoring of works; measurement of conformity of service provision; analysis of complaints from users of the road network; methods of forecasting and prevention of certain winter phenomena. It is proposed to use the WSI (FHWA) index, which is calculated on the basis of the average value of daily snowfall and the recorded minimum and maximum temperature on average for the season, to assess the severity of the impact of weather on winter maintenance. It is recommended that the results of precipitation forecasting and the level of the WSI index be used as a basis for determining the operational level of service, which forms a set of potential measures for winter road maintenance. It is proposed to justify the level of service based on models of winter maintenance and forecasting measures that allow to form a methodical approach to highway maintenance. A methodological approach has been developed, which is based on the use of a mathematical

model of road maintenance in the winter period, which is a function of minimizing the accumulated indicators of the quality of winter maintenance of road elements depending on their weight for maintenance.

Key words: winter maintenance, service level, methods, models, maintenance measures

References

1. Strong, C., and X. Shi. Benefit-Cost Analysis of Weather Information for Winter Maintenance: A Case Study. *Transportation Research Record 2055*, Transportation Research Board, Washington, DC, 2008, pp.119-127.
2. Nathalie Perrier, Andre Langevin, James F. Campbell. A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part III: Vehicle routing and depot location for spreading. *Computers & Operations Research* 34 (2007) 211–257.
3. Liping Fu, Mathieu Trudel, Valeri Kim. Optimizing winter road maintenance operations under real-time information. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada N2L 3G1, *European Journal of Operational Research* 196 (2009) 332–341.
4. Performance Measures in Snow and Ice Control Operations. (2019). THE NATIONAL ACADEMIES PRESS. 144 p. DOI: <https://doi.org/10.17226/25410>.
5. Dmytrychenko, N., & Kharchenko, A. (2021). Development of method for road network management program optimization. *Technology Audit and Production Reserves*, 4(2(60), 56–60. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.237949>.
6. Keegan Mbiyana. (2018). Winter Road Maintenance Planning-Decision Support Modelling. Luleå University of Technology. Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering. 66 p.
7. Kharchenko, A., Zaviyskyi, O., Tsybul'skyi, V., & Zavorotnyi, S. (2021). Development of methods for parameters of long-term contracts optimization for operational road maintenance. *Technology Audit and Production Reserves*, 1(2(57), 49–53. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.225532>.
8. Kanin, A., Kharchenko, A., Tsybul'skyi, V., Sokolova, N., & Shpyh, A. (2022). Construction of a simulation model for substantiating the parameters of long-term road maintenance contracts . *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(3 (116), 33–42. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253652>.
9. Kharchenko, A., Tsybul'skyi, V., Chechuha, O., Zavorotnii, S., & Shuliak, I. (2022). Building a model for managing the cost and duration of motor road projects . *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(3 (117), 13–22. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.256213>.