

# МЕТОДИ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПАСІВ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМ ПРОЦЕСОМ

Вінницький національний технічний університет

У статті сформовано напрями та проаналізовано можливості обґрунтування і вибору найбільш оптимального варіанта застосування математичних моделей для прогнозування кількості та номенклатури запасних частин. Надані рекомендації дозволяють врахувати багатомарочність парків автотранспортних підприємств та тенденції для екстраполяції в короткостроковій перспективі, виявлені за результатами спостережень у реальних умовах експлуатації.

Розглянуто основні причини виникнення тривалого простою автотранспортних засобів через технічні несправності. Проаналізовано традиційні методи планування запасів запасних частин, засновані на використанні теорії надійності та результатів прогнозування пробігів, нормативних напрацювань на відмову; теорії керування запасами та статистичних методів прогнозування випадкових процесів; методів дослідження операцій; економіко-математичних методів; стохастичних методів перетворення випадкових величин. Формалізовано групування факторів, які впливають на величину запасів та номенклатуру запасних частин в умовах експлуатації рухомого складу підприємств залежно від стану системи організації роботи служб із технічного обслуговування та ремонту автомобілів; структури парку та технічних характеристик автотранспортних засобів; рівня розвитку виробничої бази; забезпеченості, зацікавленості та кваліфікованості персоналу; умов експлуатації автомобільної техніки.

Запропоновано здійснювати удосконалення логістики управління запасами запасних частин та формувати заходи з покращення показників діяльності перевізників на основі оцінювання сумарних витрат, які несе підприємство для підтримки надійності рухомого складу в умовах експлуатації, та урахування розмірів недоотриманого прибутку внаслідок простою автомобілів у підрозділах технічного сервісу. Тут рекомендовано для прийняття рішень використання математичного апарату теорії нечітких множин, яке дає змогу формалізувати параметри нечітко визначених очікувань споживачів послуг автотранспорту та зменшити суб'єктивність прийняття рішень під час розв'язання задач оптимізації запасів запасних частин у системі управління транспортним процесом на основі аналізу структури споживчих властивостей і показників якості обслуговування.

**Ключові слова:** автотранспортні засоби, експлуатаційна надійність, запасні частини, методи прогнозування, стратегії управління, транспортний процес.

## Вступ

Якість транспортного процесу на автомобільному транспорті (АТ) неможливо забезпечити без використання надійного рухомого складу (РС). Підтримка експлуатаційної надійності автотранспортних засобів (АТЗ) забезпечується ефективним функціонуванням служб технічного обслуговування та ремонту (СТОР) РС, а також системами матеріально-технічного забезпечення [1–3].

Незважаючи на те, що сьогодні більшість автотранспортних підприємств (АТП) працює в умовах відсутності дефіциту запасних частин (ЗЧ) у торговій мережі, проблема простою АТЗ через технічні несправності залишається гострою. Серед основних причин цієї ситуації можна виділити такі:

цінова політика виробників ЗЧ та агрегатів, яка не сприяє зберіганню та накопиченню запасів на АТП у достатній кількості;

розширення номенклатури РС;

необхідність використання послуг посередників у частині доставки ЗЧ та агрегатів від фірм-постачальників, розташованих на значній відстані від центрів СТОР РС АТП.

Неможливість створення абсолютно надійних об'єктів передбачає створення системи підтримки їх працездатності [4], невід'ємною частиною якої є постачання запасних частин. Удосконалення логістики управління запасами запасних частин створює передумови покращення показників діяльності АТП, що є актуальним в сучасних умовах функціонування економіки України.

## Постановка проблеми

Важливою умовою підтримки експлуатаційної надійності РС АТ є оперативне забезпечення АТП необхідними ЗЧ і матеріалами [5, 6]. Потоки відмов АТЗ мають стохастичний характер, тому

можливість більш точно прогнозувати попит на необхідні запасні частини дасть змогу удосконалити функціонування системи СТОР РС та збільшити прибутковість транспортних процесів в АТП.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженням проблем управління запасами ЗЧ займалися А. Vacchetti, N. Saccani [7], J. E. Boylan, A. A Syntetos [8], S. Mika, E. Pei [9], В. Кауа, О. Karabağ, М. М. Fadiloğlu [10], Q. Wang, С. Liu, M. Zheng, D Wang, E. Pan, Д. В. Голуб, В. В Аулін, А. С. Замуренко, Р. П. Кічура, О. Ю Ювзенко., В. В Біліченко [2], О. П. Антонюк [1], О. П. Кравченко, Є. А. Верітельник [6], О. Бондаренко, Д. Дрючин, А. Гончаров, С. Булатов, Є. Феклін [12], В. П. Стрельников [13], О. І. Субочев, М. Г. Погорелов [14] та багато інших. Аналіз їхніх досліджень показує, що традиційні методи планування запасів ЗЧ (рис. 1) засновані на використанні:

- теорії надійності та результатів прогнозування пробігів, нормативних напрацювань на відмову;
- теорії керування запасами та статистичних методів прогнозування випадкових процесів;
- методів дослідження операцій;
- економіко-математичних методів;
- стохастичних методів перетворення випадкових величин.

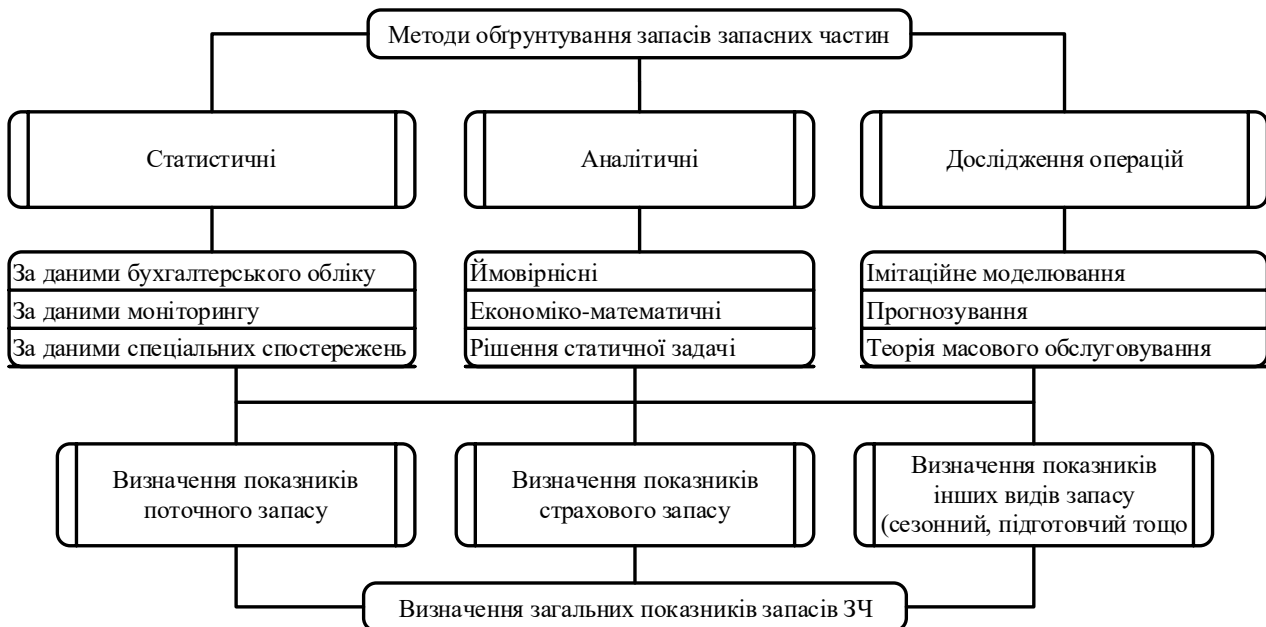


Рис. 1 Методи обґрунтування запасів запасних частин

Існування великої кількості практичних завдань спонукає до дослідження множини варіантів методів управління запасами з погляду обліку випадкового та нестационарного характеру процесів надходження та витрачання запасу, врахування природного зменшення товарів, інфляції, дефіциту, одночасного впливу кількох типів обмежень та знижок тощо. Облік перерахованих особливостей ускладнює традиційні моделі управління запасами, що застосовуються в логістиці та управлінні ланцюгами постачання, але сприяють підвищенню їх точності та ефективності.

### Мета статті

Формування напрямів та аналіз можливостей обґрунтування і вибору найбільш оптимального варіанта застосування математичних моделей прогнозування кількості та номенклатури ЗЧ з урахуванням багатомарочності парків АТП та тенденцій для екстраполяції в короткостроковій перспективі, виявлених за результатами спостережень у реальних умовах експлуатації.

### Виклад основного матеріалу

Робота АТ пов'язана з підтриманням справності РС. Компанії, що експлуатують АТЗ, по-різному підходять до забезпечення їх справності. Малі зазвичай здійснюють технічне обслуговування та ремонт автомобілів на станціях технічного обслуговування, а великі та середні створюють умови для проведення технічного обслуговування (ТО) на власній базі. У цьому разі вони стикаються з

необхідністю накопичувати запасні частини. Встановлено, що витрати на запасні частини становлять до 45 % усіх експлуатаційних витрат, їх зниження можливе за умови правильного підходу до планування та організації постачання запасних частин [1].

Потреба СТОР у ЗЧ для забезпечення нормального функціонування РС та підтримки його експлуатаційної надійності визначається характеристиками наявної системи управління споживанням та постачанням запасних частин. Вплив цих характеристик проявляється також в організації транспортного процесу.

Аналіз сфери експлуатації АТЗ показує, що на величину запасів та номенклатуру запасних частин впливає кілька груп факторів (рис. 2):

- система організації роботи СТОР;
- структура парку та технічні характеристики АТЗ;
- рівень розвитку виробничої бази;
- забезпеченість, зацікавленість та кваліфікованість персоналу;
- умови експлуатації РС.

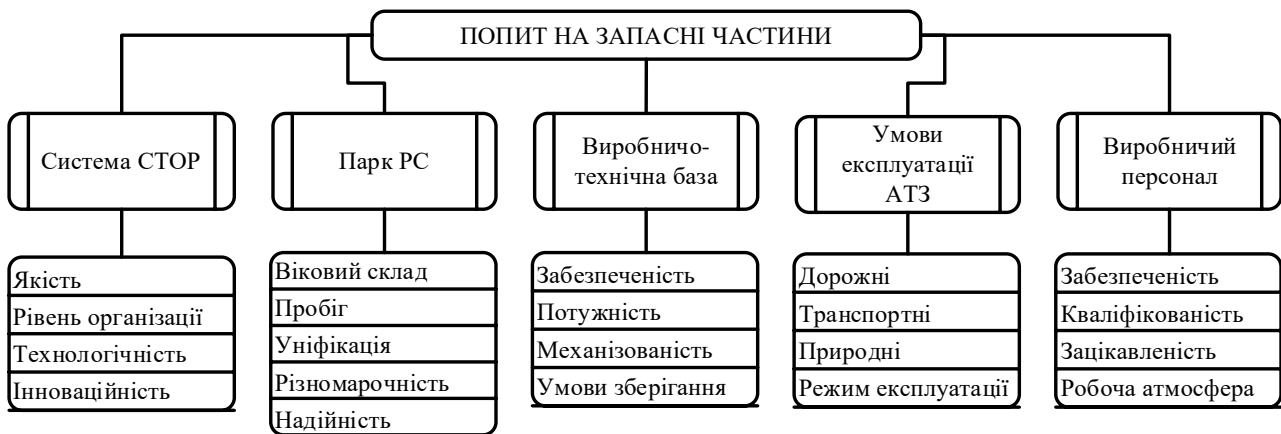


Рис. 2. Визначники попиту на ЗЧ в умовах експлуатації АТЗ

Від повноти врахування визначників попиту на ЗЧ в умовах експлуатації АТЗ та точності обраного методу обґрунтування запасів запасних частин залежить рівень експлуатаційної надійності РС, який безпосередньо впливає на забезпечення ефективності транспортних процесів в АТП. Ефективність процесів забезпечення ЗЧ РС АТП можна оцінити за сумарними витратами, які несе підприємство для підтримки надійності РС в умовах експлуатації, з урахуванням недоотриманого прибутку внаслідок простою АТЗ в СТОР

$$\sum B = B_{ZCH} + B_{ZB} + B_{PR} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $B_{ZCH}$  – сумарні витрати, пов’язані з придбанням ЗЧ;  $B_{ZB}$  – сумарні витрати, пов’язані зі зберіганням ЗЧ;  $B_{PR}$  – матеріальні втрати АТП внаслідок простою РС в СТОР, зокрема і через відсутність ЗЧ.

Загалом критерій (1) є показником якості функціонування системи управління транспортним процесом в АТП. Так само кожну властивість можна оцінити за показником якості, поданим в абсолютних чи відносних одиницях [15].

Одиничні показники характеризують одну споживчу властивість. Їх доцільно визначати у відносних одиницях

$$Q_i = \frac{Q_{if}}{Q_{ib}} \text{ чи } Q_i = \frac{Q_{ib}}{Q_{if}}, \quad (2)$$

де  $Q_{if}$  та  $Q_{ib}$  – фактичне та базисне значення показника якості  $i$ -ї властивості системи управління транспортним процесом в АТП;  $Q_i$  – одиничний показник, який характеризує якість  $i$ -ї властивості.

У разі виконання аналізу якості за групами властивостей показник якості групи властивостей можна визначити так:

$$Q_{gk} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n (\alpha_i \cdot Q_i)}, \quad (3)$$

де  $Q_i$  – одиничний показник, який характеризує якість  $i$ -ї властивості, вміщеної в  $k$ -у групу властивостей;  $n$  – число властивостей в  $k$ -й групі;  $\alpha_i$  – вага  $i$ -ї властивості в показнику якості  $Q_{gk}$ .

Для загального показника якості функціонування системи управління транспортним процесом вираз (3) можна подати так:

$$Q_{УТР} = \sqrt[m]{\prod_{k=1}^m (\beta_k \cdot Q_{gk})}, \quad (4)$$

де  $\beta_k$  – вага  $k$ -ї групи властивостей у загальному показнику;  $m$  – число груп властивостей, за якими оцінюється загальна якість системи управління транспортним процесом.

У переважній більшості випадків проблеми якості транспортних процесів пов'язані із втратою управління підприємством [16]. Систему якості можна вважати добре організованою в тому разі, коли:

– система забезпечена ресурсами, має сприйняття та розуміння персоналу, правильно застосовується та працює ефективно;

– послуги відповідають вимогам та очікуванням споживачів;

– у діяльності підприємства враховано потреби суспільства та природоохоронне законодавство;

– надається перевага попередженню негативних ситуацій, а не їх ліквідації в наступні періоди.

Вибір оптимального рівня обслуговування АТЗ в частині їх забезпечення ЗЧ можна здійснити на основі зіставлення прибутку та витрат АТП за принципом компромісного рішення (рис. 3).

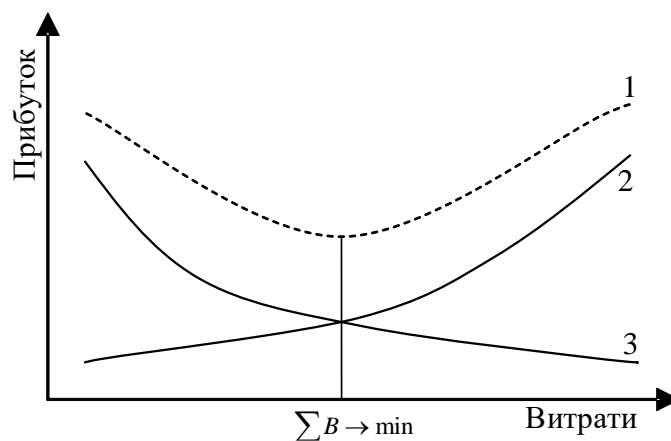


Рис. 3. Виявлення оптимального рівня забезпечення ЗЧ

Зі збільшенням рівня забезпечення ЗЧ зростають витрати (крива 2), але зменшуються втрати прибутків (крива 3). Пунктирна крива (1) є сумою координат кривих (2) і (3). Внаслідок складності пошуку та практичної реалізації оптимального рівня забезпечення ЗЧАТП (мінімум ординати кривої 1) зазвичай орієнтуються на прийнятне співвідношення витрат та прибутків.

Методика вимірювання якості забезпечення ЗЧ в системі управління транспортним процесом повинна базуватися на інтересах споживачів. Оцінка якості здійснюється на основі порівняння фактичних параметрів якості з їх очікуваним значенням. Визначити параметри очікувань споживачів послуг можна різними методами: експертне оцінювання, анкетні опитування, статистичні методи тощо. Складність процесу полягає в неможливості отримати формалізовану оцінку більшості параметрів: виміряти їх кількісно. Інструментом формалізації нечітко визначених очікувань є математичний апарат теорії нечітких множин [17].

Оцінювання рівня якості забезпечення ЗЧ під час розв'язання задач управління транспортним процесом можна здійснити за схемою, поданою на рисунку 4.

На сьогодні існує багато методів прогнозування, основними з яких є імовірно-статистичні, методи екстраполяції, методи аналогії, експертні методи тощо. Ці методи та умови їх застосування розглянуті у спеціальній літературі [18]. Якщо припустити, що для різних закономірностей потоків заявок на ЗЧ існують конкретні методи прогнозування, які найбільш адекватно апроксимують досліджувані процеси та одночасно є прийнятними для використання в практиці АТП щодо усієї

номенклатури складських запасів, то результат прогнозування загалом можна подати у вигляді графіка розподілення щільності.



Рис.4. Схема оцінки якості забезпечення ЗЧ в умовах нечітко визначених очікувань

Зона прийняттого рішення визначається шляхом суміщення цього графіка з графіком функції приналежності оцінки параметра. Чим більше співпадають графіки (більша зона прийняттого рішення), тим більша відповідність прогнозованого параметра та його очікуваного значення. У практиці прийняття рішень однакові площі на графіку функції приналежності можуть мати різні значимості. Для врахування такої ситуації слід визначити коефіцієнт відповідності варіанту забезпечення ЗЧ вимогам системи управління транспортним процесом

$$K_v = \int_{i=1}^n \mu_C(x_i) \cdot p(x_i) dx, \quad (5)$$

де  $\mu_C(x_i)$  – функція приналежності показника якості  $x_i$ ;  $p(x_i)$  – ймовірність прийняття  $i$ -го значення параметром  $x$ ;  $n$  – кількість можливих значень параметра  $x$ .

Отже, застосування неперервних логік [18] разом із традиційними підходами (рис. 1) дає змогу знайти компромісне рішення задачі оптимізації запасів ЗЧ в умовах композиційної (стохастичної та нечіткої) невизначеності [19], що дає змогу рекомендувати такий підхід для прогнозування кількості та номенклатури ЗЧ з урахуванням багатомарочності парків АТП та тенденцій для екстраполяції в короткостроковій перспективі, виявлених за результатами спостережень у реальних умовах експлуатації.

## Висновки

Якісне забезпечення транспортного процесу на автомобільному транспорті базується на використанні надійного рухомого складу. Неможливість створення абсолютно надійних об'єктів передбачає створення системи підтримки їх працездатності, невід'ємною частиною якої є ефективне функціонування служб технічного обслуговування та ремонту автотранспортних засобів, системи матеріально-технічного забезпечення. Отже, удосконалення логістики управління запасами запасних частин створює передумови покращення показників діяльності автотранспортних підприємств, що є актуальним для розвитку економіки України в сучасних умовах.

Облік випадкового та нестационарного характеру процесів надходження та витрачання запасів запасних частин, врахування природного зменшення товарів, інфляції, дефіциту, одночасного впливу кількох типів обмежень та знижок необхідний для розв'язання великої кількості практичних завдань, ускладнює традиційні моделі управління запасами, що застосовуються в логістиці та управлінні ланцюгами постачання, і спонукає до дослідження множини варіантів методів управління запасами, підвищення їх точності та ефективності.

Ефективність процесів забезпечення сервісних служб підприємств запасними частинами для рухомого складу можна оцінити за сумарними витратами, які несе підприємство для підтримки надійності автотранспортних засобів в умовах експлуатації, з урахуванням недоотриманого прибутку внаслідок простою автомобілів під час виконання операцій з технічного обслуговування та ремонту.

Тут використання математичного апарату теорії нечітких множин дає змогу формалізувати параметри нечітко визначених очікувань споживачів послуг автотранспорту та зменшити суб'єктивність прийняття рішень при розв'язанні задач оптимізації запасів запасних частин у системі управління транспортним процесом на основі аналізу структури споживчих властивостей і показників якості обслуговування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Антонюк О. П. Покращення процесу забезпечення запасними частинами рухомого складу автотранспортного підприємства: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.22.20. Житомир, 2021. 24 с.
- [2] Забезпечення та підвищення надійності й ефективності процесу автомобільних вантажних перевезень побудовою дерева відмов структурних елементів транспортної системи / Голуб Д. В. та ін. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2023. № 2(18). С. 46–55. URL: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-18-2-46-55>
- [3] Кашканов А. А., Біліченко В. В. Експлуатація та обслуговування транспортних машин: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2004. 136 с.
- [4] Кашканов А. А., Буряк В. В., Москалюк М. Л. Логістика експлуатаційної надійності та її роль у забезпеченні ефективності та якості системи транспортного обслуговування споживачів. *ЛІВВНТКП ВНТУ. Факультет машинобудування та транспорту, Ukraine, mar. 2024*. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2024/paper/view/20565>. Date accessed: 20 Apr. 2024.
- [5] Кашканов А. А., Буряк В. В., Москалюк М. Л. Аспекти логістичного забезпечення виробничих процесів підприємств автомобільного транспорту України. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XVI міжнародної науково-практичної конференції, 23–25 жовтня 2023 року*. Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 154–156.
- [6] Кравченко О. П., Верігельник Є. А. Щодо визначення критерію необхідності зберігання запасних частин на складі автотранспортного підприємства. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*, 2014. № 2–3. С. 19–26.
- [7] Vacchetti A., Saccani N. Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. *Omega*. Volume 40, Issue 6, December 2012, Pages 722–737. URL: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.06.008>
- [8] John E. Boylan, Aris A. Syntetos. Spare parts management: a review of forecasting research and extensions, *IMA. Journal of Management Mathematics*, Volume 21, Issue 3, July 2010, Pages 227–237. URL: <https://doi.org/10.1093/imaman/dpp016>
- [9] Mika S., Pei E. Additive manufacturing processes and materials for spare parts. *J Mech Sci Technol* 37, 5979–5990 (2023). URL: <https://doi.org/10.1007/s12206-023-1034-0>
- [10] Kaya B., Karabağ O., Fadiloğlu M. M. Maintenance Decision and Spare Part Selection for Multi-component System. In: Durakbasa, N.M., Gençylmaz, M.G. (eds) *Industrial Engineering in the Industry 4.0 Era. ISPR 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-53991-6\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-031-53991-6_34)
- [11] Integrated Planning of Multiple Spare Parts Inventory, Warranty, and Service Engineers for a Service-Oriented Manufacturer / Wang Q. et al. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 2024. P. 1–14. URL: <https://doi.org/10.1109/TASE.2024.3354422>
- [12] Improving the Efficiency of Vehicle Operation by Defining the Organizational and Methodological Parameters of the Spare Parts Incoming Inspection System / Bondarenko E. et. al. In: Guda, A. (eds) *Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles*. NN 2022. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 509. Springer, Cham. Industrial Engineering in the Industry. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-11058-0\\_110](https://doi.org/10.1007/978-3-031-11058-0_110)
- [13] Strel'nikov V. P., Strel'nikov P. V. Defining the nomenclature of the spare parts sets and calculating the number of single sets of spare parts. *Mathematical machines and systems*. 2022. N 2. С. 83–90. URL: <https://doi.org/10.34121/1028-9763-2022-2-83-90>
- [14] Субочев О. І., Завалій Т. А., Погорселов М. Г. Удосконалення забезпечення запасними частинами сервісних підприємств. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019. Вип. 1(32). С. 58–67.
- [15] Кашканов А. А., Кашканова Г. Г., Стенжицька І. Є. Оцінка якості автотранспортного обслуговування пасажирських перевезень в умовах нечітко визначених очікувань споживачів. *Наукові нотатки*. Вип. 28. 2010. С. 246–251.
- [16] Аналіз витрат операційної діяльності пасажирського АТП з урахуванням зміни їх структурних елементів / Кашканов А. А. та ін. *Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту*. 2009, № 3. С. 7–12.
- [17] Alexander P. Rotshtein, Hanna V. Rakytyanska. Fuzzy Evidence in Identification, Forecasting and Diagnosis. *Springer Berlin, Heidelberg*. 2012. 313 p. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-25786-5>
- [18] Снитюк В. Є. Прогнозування. Моделі. Методи. Алгоритми: навчальний посібник. Київ: Маклаут, 2008. 364 с.
- [19] Підвищення якості автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод в умовах композиційної невизначеності / Кашканов А.А. та ін. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. № 2(12). С. 66–73. URL: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2020-12-2-66-73>

**Кашканов Андрій Альбертович** – д-р техн. наук, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: [a.kashkanov@vntu.edu.ua](mailto:a.kashkanov@vntu.edu.ua)

**Москалюк Микола Леонідович** – аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: [moskalyuk255@gmail.com](mailto:moskalyuk255@gmail.com)

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

## **Methods of justification of spare parts stocks in the transport process management system**

Vinnitsia National Technical University

*The article formulates directions and analyzes the possibilities of substantiating and choosing the most optimal variant of applying mathematical models for forecasting the number and range of spare parts. The provided recommendations allow to take into account the multi-brand fleets of motor transport enterprises and trends for extrapolation in the short term, identified by the results of observations in real operating conditions.*

*The main reasons for the occurrence of prolonged vehicle downtime due to technical malfunctions are considered. Traditional methods of planning spare parts inventories based on the use of reliability theory and results of mileage forecasting, standard time to failure; inventory management theory and statistical methods for forecasting random processes; methods of operations research; economic and mathematical methods; stochastic methods of transformation of random variables are analyzed. The article formalizes the grouping of factors that affect the size of stocks and the range of spare parts in the operation of rolling stock of enterprises, depending on the state of the system of organization of work of services for maintenance and repair of vehicles; structure of the fleet and technical characteristics of vehicles; level of development of the production base; availability, interest and qualification of personnel; operating conditions of automotive equipment.*

*It is proposed to improve the logistics of spare parts inventory management and to formulate measures to improve the performance of carriers based on an assessment of the total costs incurred by the enterprise to maintain the reliability of rolling stock in operation and taking into account the amount of lost profit due to vehicle downtime in the technical service units. At the same time, it is recommended to use the mathematical apparatus of fuzzy set theory for decision-making, which allows formalizing the parameters of vaguely defined expectations of consumers of motor transport services and reducing the subjectivity of decision-making when solving problems of optimizing spare parts stocks in the transport process management system based on the analysis of the structure of consumer properties and service quality indicators.*

**Key words:** road vehicles, operational reliability, spare parts, forecasting methods, management strategies, transportation process.

**Kashkanov Andriy** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: [a.kashkanov@vntu.edu.ua](mailto:a.kashkanov@vntu.edu.ua)

**Moskaliuk Mykola** – Ph.D. student of the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: [moskalyuk255@gmail.com](mailto:moskalyuk255@gmail.com)