СЕКЦІЯ XVI.
ТРАНСПОРТ ТА ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ГОТОВНОСТІ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ ШЛЯХОМ ЙМОВІРНІСНОГО АЛГОРИТМУ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ГРУПА:

Бондаренко В'ячеслав Володимирович
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції
Український державний університет залізничного транспорту, Україна

Равлюк Василь Григорович
доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри інженерії вагонів та якості продукції
Український державний університет залізничного транспорту, Україна

Мажара Олександр Олександрович
магістрант кафедри інженерії вагонів та якості продукції
Український державний університет залізничного транспорту, Україна

Московченко Максим Сергійович
магістрант кафедри інженерії вагонів та якості продукції
Український державний університет залізничного транспорту, Україна

Шеремета Роман Іванович
магістрант кафедри інженерії вагонів та якості продукції
Український державний університет залізничного транспорту, Україна

Підвищення експлуатаційної готовності пасажирських вагонів і зменшення тривалості їх простою можна досягти за рахунок скорочення часу визначення працездатності електронного обладнання і пошуку місця відмови в його електронних компонентах. Ця проблема може бути вирішена шляхом проведення досліджень, розробки та впровадження прогресивних методологій оцінки надійності, а також методів і засобів технічного діагностування обладнання пасажирських вагонів [1-4].

Запропоновано методику оцінки проектної надійності електронної апаратури пасажирських вагонів. На базі даної методики розроблено технологію й алгоритм діагностування електрообладнання пасажирського вагона. Вона враховує отримані розрахунком показники надійності електронних блоків пасажирського вагона та визначає послідовність діагностування електронної апаратури згідно розрахованої надійності. До ключових пристроїв системи автоматичного керування належать електронні блоки регулятора напруги генератора, реле частоти, а також блоки регулювання заряду акумуляторної батареї та захисту. Зазначені блоки були обрані як об'єкти подальших досліджень з метою підвищення їх надійності та функціональної ефективності.

Проблема готовності та надійності пасажирських вагонів на АТ «Укрзалізниця» потребує ефективних конструктивних рішень та використання сучасних діагностичних підходів до обладнання вагонів та складної апаратури керування [5-9]. Відомо, що діагностування підшипникових вузлів [10-13] і модернізація гальмових систем [14-16] підвищують їх ефективність і знижують витрати під час експлуатації вагонів [17-20].

Застосування сучасних методів інтелектуального аналізу даних, зокрема нечіткої логіки та кластеризації, сприяє покращенню діагностики рухомого складу. Методи обробки технічних даних дозволяють ефективніше аналізувати експлуатаційні характеристики обладнання та прогнозувати його відмови [21-23]. Використання STEM-підходів та технологій нечіткої логіки дозволяє розробити інтелектуальні системи моніторингу, які забезпечують своєчасне технічне обслуговування та продовження ресурсу ключових елементів пасажирського рухомого складу [24-26].

Враховуючи дію воєнного стану та складну економічну ситуацію у країні, фінансування на придбання нових пасажирських вагонів для АТ «Укрзалізниця» значно зменшилося, та значна кількість вагонів відпрацювали свій ресурс. За даними останніх досліджень [20, 27], ступінь зносу пасажирських вагонів становить 88-93 %. Його старіння дуже швидке і не компенсовано надходженням нових вагонів. За статистичними даними, структура інвентарного парку пасажирських вагонів філіалу «Пасажирська компанія» АТ «Укрзалізниця» дуже змінилася за останні роки. Найбільшу питому вагу у структурі парку пасажирських вагонів займають вагони відкритого типу (ЦМО), купейні

(ЦМК) та спальні (СВ) (рисунок 1). При цьому, вагони відкритого типу на сьогодні найбільше експлуатуються з відпрацьованим нормативним строком служби.

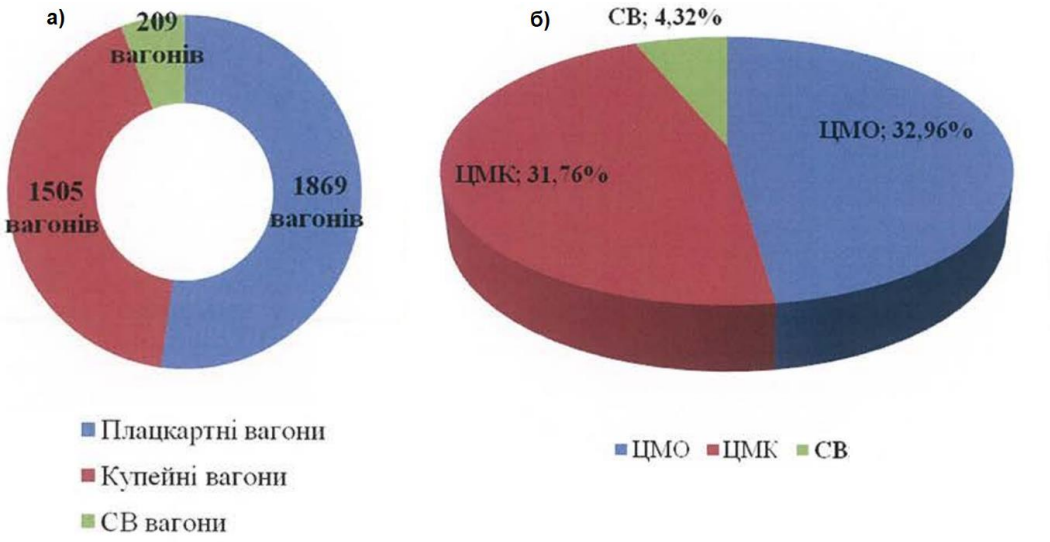


Рис. 1. **Структура загального парку пасажирських вагонів (а) і парку пасажирських вагонів за видами (б)**

Електрообладнання сучасного пасажирського вагона є різнотипним та складним за своєю будовою. Існує багато видів та модифікацій комплексів електрообладнання вітчизняного та закордонного виробництва. Комплекси електрообладнання постійно оновлюються та вдосконалюються. На вітчизняних пасажирських вагонах прискореного руху використовуються більш сучасні щити розподільні систем автоматизованого управління, контролю і діагностики (ШР САУКД), які побудовані у НПП «Хартрон-Експрес». Крім того, здійснюється модернізація електронних комплексів типу ЕВ.10.02, які замінюються на більш сучасні комплекси ЕВН.10.003 для подальшого використання у складі некупейних пасажирських вагонів, що проходять капітальні види ремонту.

У зв’язку з оновленням елементної бази та зміною вимог до функціональності електрообладнання, постає потреба у систематизації та структурному аналізі існуючих систем. Це дає змогу більш чітко окреслити функціональні можливості кожного компонента та визначити пріоритети технічного вдосконалення.

Усі наявні системи електрообладнання, що застосовуються на АТ «Укрзалізниця», можуть бути класифіковані у вигляді функціонально-структурної схеми (рисунок 2). Такий підхід дозволяє здійснювати

комплексну оцінку технічного стану електрообладнання пасажирських вагонів, виявляти вузли з низьким рівнем надійності, а також оптимізувати процеси модернізації на підставі фактичного технічного стану елементів систем.

Система енергозабезпечення сучасних вагонів	Низьковольтні джерела електроенергії		Високовольтні джерела електроенергії
	Основне	Резервне	
Автономна (змішана) без кліматичної установки (U=50 В)	Генератор 8-12 кВт, 240-270 кг	Акумуляторна батарея 15 кВт*год, 650 кг	Високовольтна магістраль поїзда (для живлення комбінованого котла опалення)
Автономна (змішана) з кліматичною установкою (U=110 В)	Генератор 30-35 кВт, 700-900кг	Акумуляторна батарея 33-38 кВт*год, 1450 кг	
Централізована з кліматичною установкою	Статичний перетворювач 45 кВт, 1200 кг		Високовольтна магістраль поїзда (для живлення статичного перетворювача)

Рис. 2. **Типові системи енергозабезпечення пасажирських вагонів**

Найбільша кількість пасажирських вагонів обладнані комплексами електрообладнання типів ЕВ.10.02, ЕПВ.10 та ін., до складу яких входить складна електронна апаратура автоматичного керування, контролю і захисту. На рисунку 3 зображений пульт керування та електронні блоки, що встановлені на багатьох пасажирських вагонах відкритого типу.

а) б)

Рис. 3. **Пульт керування (а) та електронні блоки (б) пасажирського вагона відкритого типу**

Під час відновлення електрообладнання пасажирських вагонів, значна частина часу витрачається на пошук несправності та контроль працездатності. За останніми даними, на пошук несправності у складних радіоелектронних системах, разом із підготовкою до пошуку, витрачається близько 75 % загального часу ремонту систем. Тому, при пошуку несправності та контролі працездатності, виникає завдання з визначення найбільш раціональної послідовності операцій, що забезпечила б перевірку електрообладнання пасажирських вагонів у найкоротший час. Використання результатів досліджень дасть можливість зменшити час на пошук несправностей у електронних блоках пасажирських вагонів, а також підвищити надійність та готовність вагонів у експлуатації.

Вся електронна апаратура пасажирського вагона виконана за блоковим принципом й у залежності від функціонального призначення поділяється на такі основні блоки: блок захисту (БЗ), блок регулятора напруги генератора (БРНГ), блок реле частоти (БРЧ) і блок реле температури (БРТ). Інші електронні блоки мають другорядне значення в системі електрообладнання пасажирського вагона, тому оцінка надійності виконувалася для зазначених блоків.

З метою вирішення проблеми зменшення часу на діагностування електронної апаратури пасажирських вагонів виконано розрахунок проєктної надійності електронних блоків пасажирського вагона [20, 27]. Визначені розрахунком показники надійності надалі використано для створення раціонального алгоритму діагностування.

Інтенсивності відмов (λ) електронних блоків пасажирського вагона і середній час напрацювання до відмови (T_c) визначається згідно [27]. При цьому, розрахунок показника надійності здійснюється відповідно до структурних схем надійності кожного з електронних блоків та їх компонентів. Результати розрахунку інтенсивності відмов і середнього часу напрацювання до відмови електронних блоків пасажирського вагона наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати розрахунку надійності електронної апаратури пасажирського вагона

№	Найменування блока	Інтенсивність відмов, $\lambda_{бл}$,1/год	Середній час напрацювання до відмови, T_c, год
1	БРЧ	$1{,}69071 \cdot 10^{-6}$	591467
2	БРТ	$0{,}85222 \cdot 10^{-6}$	1173396

Продовження табл. 1

№	Найменування блока	Інтенсивність відмов, $\lambda_{бл}$,1/год	Середній час напрацювання до відмови, T_c, год
3	БЗ	$1{,}39393 \cdot 10^{-6}$	717411
4	БРНГ	$0{,}71097 \cdot 10^{-6}$	1406529
Разом		$4{,}6956 \cdot 10^{-6}$	212965

На підставі проведеного розрахунку інтенсивності відмов електронних блоків пасажирського вагона розроблено алгоритм послідовності їх діагностування, який може бути використаний у діагностичному обладнанні, яке використовується при технічному обслуговування та ремонті електрообладнання пасажирських вагонів. Це дасть змогу зменшити час на відновлення вузлів пасажирських вагонів і зменшити їх простій у експлуатаційних підрозділах пасажирського комплексу. Нині для діагностування електронних блоків пасажирського вагона застосовуються контрольні схеми від заводу-виробника та пристрій діагностичного контролю МЛ-410 (рисунок 4).

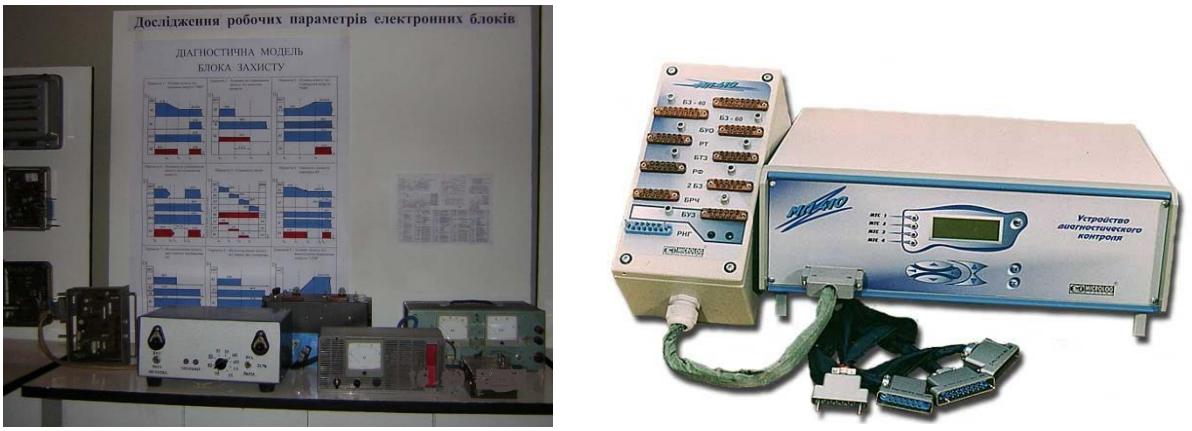
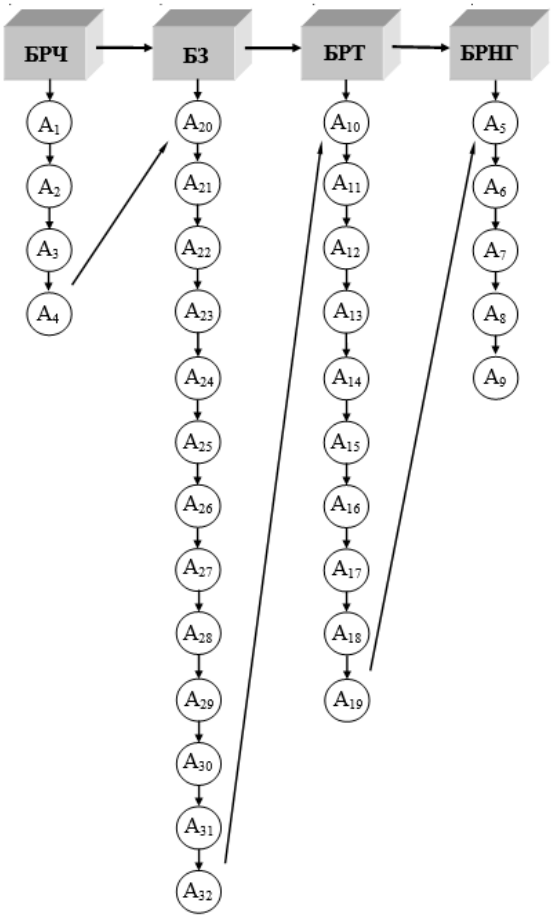


Рис. 4. **Контрольно-діагностичне обладнання для електронного обладнання пасажирських вагонів**

Запропоновано імовірнісний алгоритм діагностування, суть якого полягає в послідовній перевірці елементів відповідно до зменшення ймовірності їх відмови. На першому етапі здійснюється діагностика елемента з максимальною ймовірністю відмови. У разі підтвердження його справності, перевірка переходить до наступного елемента за рангом. Така послідовність дозволяє суттєво скоротити середню кількість перевірок і час, необхідний для встановлення несправності вузла пасажирського вагона. Зазначений алгоритм нерідко інтуїтивно

застосовується технічним персоналом у практиці пошуку відмов, однак для його ефективного впровадження необхідна попередня розрахункова оцінка.

З урахуванням отриманих значень показників надійності електронних блоків (таблиця 1), встановлено доцільність здійснення діагностування в порядку зростання їх надійності: БРЧ → БЗ → БРТ → БРНГ, тобто від менш надійного блока до більш надійного (рисунок 5). Такий підхід сприяє підвищенню ефективності процесу контролю технічного стану електронного обладнання пасажирських вагонів.



БРЧ, БЗ, БРТ, БРНГ – електронні блоки, що підлягають діагностуванню;
$A_1 \div A_{32}$ – перелік параметрів електронних блоків, що підлягають контролю

Рис. 5. **Алгоритм діагностівання електронних блоків, що враховує їх надійність**

Розроблено імовірнісний алгоритм діагностування електрообладнання пасажирських вагонів, що враховує проєктну надійність окремих електронних блоків. Запропонований підхід

забезпечує раціональну послідовність перевірки елементів за ймовірністю їх відмови, що дозволяє суттєво скоротити середній час виявлення несправностей. Упровадження такого алгоритму сприяє зменшенню простоїв під час технічного обслуговування пасажирських вагонів, підвищенню точності їх діагностування та ефективності ремонтних заходів. У результаті цього підвищується експлуатаційна готовність пасажирських вагонів, оптимізуються ресурси та покращується загальна надійність функціонування електрообладнання в умовах залізничної експлуатації.

Список використаних джерел:

1. Калабухін Ю. Є., Ольховська Т. О. Системи матеріально-технічного забезпечення за кордоном та їх сучасний розвиток. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту.* 2014. Вип. 149. С. 34-39.
2. Ravluyk V., Derevianchuk I., Afanasenko I., Ravluyk N. Development of electronic diagnostic system for improving the diagnosis reliability of passenger car brakes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2016. 2(9(80). P. 35-41. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.66007
3. Passenger cars. Diagnostics. Residual resource. Reliability: monograph / Yu.Ya. Vodyannikov A. O. Sulym P. O. Khozya S. O. Stoletov O. O. Melnyk I. M. Lashkevych. Kremenchuk: State Enterprise "UkrNDIV" 2023.
4. Сулим А. О., Мельник О. О., Бялобржеський О. В., Ломонос А. І. Дослідження факторів та оцінка рівня їх впливу на показник питомих витрат електроенергії рухомого складу. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля.* 2021. № 4. С. 118-127. doi: https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-118-127
5. Равлюк В. Г., Афанасенко І. М., Равлюк М. Г. Дослідження геометричних параметрів гальмових колодок вантажних вагонів за шкідливого зносу. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.* 2020. Вип. 1 (85). С. 99 – 118. https://doi.org/10.15802/stp2020/199515https://doi.org/10.15802/stp2020/199515
6. Bondarenko V., Skurikhin D., Wojciechowski J. The Application of Lithium-Ion Batteries for Power Supply of Railway Passenger Cars and Key Approaches for System Development. *Smart and Green Solutions for Transport Systems.* 2020. Vol. 1091. P. 114-125. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35543-2_10
7. Гладких І. В., Сулим А. О., Лупітько Н. В. Основні дослідження динаміки оновлення та розвитку парку вантажних вагонів в Україні. Аналітичний огляд. *Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад».* 2020. № 20. С. 4-13.
8. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г., Кириченко І. К. Статистичне опрацювання параметрів зносу гальмових колодок вантажних вагонів. Наука та прогрес тран-спорту. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.* 2020. Вип. 2(86). С. 74-91.
9. Дячков Д. В. Сулим А. О. Особливості застосування інформаційних систем управління підприємством в умовах цифрової економіки. *Bulletin of Sumy National Agrarian University.* 2020. Вип. 1 (83). С. 79-86.

10. Bondarenko V., Martynov I., Skurikhin D. Mathematical modeling of oscillations wheelset as the basis of the method of acoustic control. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2014. Vol. 7. P. 22-28. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.20088
11. Ravlyuk V. G. Determining the technical condition of rolling stock bushings by means of vibration diagnostics. *Eastern European journal of advanced technologies*. Issue. 2015. 2/7 (74). P. 11-15. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.39036
12. Bondarenko V. V., Skurikhin D. I., Vizniak R. I., Ravlyuk V. H., Skurikhin V. I. Experimental study of the method and device for wheel-sets acoustic monitoring of railway cars in motion. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.* 2019. № 4. P. 30 – 36. https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-4/7
13. Ravlyuk V. H., Mykhalkiv S. V., Rybin A. V., Derevianchuk Ia. V., Plakhtiy O. A. Forecasting of wear of pads of modernized brake system devices of bogies of freight cars using ARIMA models. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. № 6. P. 48 – 54. https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-6/048
14. Сафронов О. М. Дослідження дискової гальмівної системи пасажирського вагона. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія: «Транспортні системи і технології».* 2009. Вип. 14. С. 51-67.
15. Равлюк В. Г. Дефініція особливостей дуального зносу гальмових колодок вантажних вагонів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту.* 2019. Вип. 183. С. 46 – 59.
16. Сафронов О. М. Застосування комп'ютерного моделювання для уточненої оцінки гальмівної ефективності вантажних вагонів. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Серія: Транспортні системи і технології.* 2018. Вип. 32(2). С. 61-75.
17. Ravlyuk V., Ravliuk M., Hrebeniuk V., Bondarenko V. Research of the calculation scheme for the brake lever transmission and construction of the load model for the brake pads of freight cars. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2019. Vol. 708 (012026). https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012026
18. Panchenko S., Gerlici J., Lovska A., Ravlyuk V., & Dižo J. Prediction of Residual Wear Resources of Composite Brake Pads of a Modernized Brake System of Freight Wagons. *Vehicles.* 2024. Vol. 6(4). P. 1975 – 1994. https://doi.org/10.3390/vehicles6040097
19. Ravlyuk V., Ravliuk M., Hrebeniuk V., Bondarenko V. Process features and parametric assessment of the emergence of the excessive wear for the brake pads of freight car bogies. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2019. Vol. 708 (012025) https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012025
20. Лупітько Н. В., Сладких І. В. Дослідження сучасного стану інвентарного парку пасажирських вагонів АТ «Укрзалізниця». *Збірник наукових праць. Рейковий рухомий склад. Кременчук: ДП «УкрНДІВ».* 2020. Вип. 21. С. 28-43.
21. Derevyanchuk O., Hu Z, Balovsyak S., Holub S., Kravchenko H., Sapsai I. Complex of Specialized Methods of Educational Data Mining for the Training of Vocational Education Teachers. *International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS).* 2025. Vol.17. No. 1. P. 28-46. https://doi.org/10.5815/ijmecs.2025.01.03
22. Ravluk V., Derevianchuk Y., Derevyanchuk O., Krychun A., & Kravchenko H. Investigation of the statistical data on the technical condition of brake equipment components of passenger carriages in operation. *Edelweiss Applied Science and Technology.* 2024. Vol. 8(6). P. 5957-5970. https://doi.org/10.55214/25768484.v8i6.3292

23. Balovsyak S., Derevyanchuk O., Kovalchuk V., Kravchenko H., Ushenko Y., Hu Z. STEM project for vehicle image segmentation using fuzzy logic. *International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS).* 2024. V. 16, № 2. P. 45–57. https://doi.org/https://10.5815/ijmecs.2024.02.04
24. Derevyanchuk O. Use of intelligent fuzzy image segmentation systems in the professional training of future specialists in engineering and pedagogical fields. *Professional Pedagogics.* 2024. № 1(28). P. 103-115. https://doi.org/10.32835/2707-3092.2024.28.103-115
25. Деревянчук Олександр. Розвиток технічних навичок здобувачів вищої освіти в процесі побудови прототипу системи сегментації зображень транспортних засобів. *Молодь і ринок.* 2024. Вип. 221. Том 1. С. 105 – 111. https://doi.org/10.24919/2308-4634.2024.296388
26. Balovsyak S., Derevyanchuk O., Kravchenko H., Ushenko Y., Hu Z. Clustering Students According to their Academic Achievement Using Fuzzy Logic. International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS). 2023. Vol.15, № 6. P. 31–43. https://doi.org/10.5815/ijmecs.2023.06.03
27. Бондаренко В. В., Візняк Р. І., Скуріхін Д. І., Равлюк В. Г., Бондаренко С. В. Теоретичні основи оцінювання проєктної надійності електронної апаратури пасажирських вагонів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2024. Вип. 4. С. 55-62. https://doi.org/10.18664/ikszt.v29i4.320395.