

УДК 625.16

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ  
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОЛІСНИХ ПАР РУХОМОГО СКЛАДУ**

Магістрант К. М. Саркісян, д-р техн. наук О. В. Устенко

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ  
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОЛЕСНЫХ ПАР ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Магистрант К. М. Саркисян, д-р техн. наук А. В. Устенко

**ANALYSIS OF METHODS AND EXPERT EVALUATION OF OPERATIONAL  
CONTROL OF THE TECHNICAL STATE OF CHARGED PARTS OF MOBILE  
COMPOSITION**

Magistran K. M. Sarkisian, dr. tech. sciences A. V. Ustenko

*Наведено класифікацію методів оперативного контролю технічного стану колісних пар рухомого складу. Розглянуто системи оперативного діагностування за певними параметрами та методами, за допомогою яких проводиться діагностування колісних пар, оцінюються їх переваги та недоліки. Розроблена класифікація діагностичних методів і систем на загальний спектр несправностей або тільки окремих (тріщини, повзуни, відколи й ін.). Показано застосування методів і систем діагностування колісних пар в режимі експлуатації.*

**Ключові слова:** дефекти, діагностика, колісні пари, технічний стан, класифікація.

*Приведена классификация методов оперативного контроля технического состояния колесных пар подвижного состава. Рассмотрены системы оперативного диагностирования по определенным параметрам и методам, с помощью которых проводится диагностирование колесных пар, оцениваются их преимущества и недостатки. Разработана классификация диагностических методов и систем на общий спектр неисправностей или только отдельных (трещины, ползунки, сколы и др.). Показано применение методов и систем диагностирования колесных пар непосредственно в эксплуатации.*

**Ключевые слова:** дефекты, диагностика, колесные пары, техническое состояние, классификация.

*Classification of methods of diagnostics of wheel-sets of rolling stock is given. The systems of operative diagnosis by certain parameters and methods with the help of which wheel pairs are diagnosed, their advantages and disadvantages are considered. A classification of diagnostic methods and systems for a general spectrum of faults or only individual ones (cracks, sliders, chips, etc.) has been developed. The application of methods and systems for the diagnostics of wheel pairs is introduced. The improvement of existing and implementation of modern methods and systems of diagnostics and non-destructive testing is one of the main tasks of the repair enterprises of the country. The applied techniques of maintenance require the involvement of large human resources, which has a very negative impact on its quality. The existing and innovative diagnosis systems of wheel-sets for our country is classified. These systems run all the operations in a non-stop mode, allowing to ease the heavy work of the personnel, and thus reduce the probability of passing the faults (defects).*

**Keywords:** defects, diagnostics, wheel-sets, technical condition, classification.

**Вступ.** На сьогодні старіння наявного та впровадження нового швидкісного рухомого складу потребує впровадження сучасних систем оперативного контролю їх фактичного технічного стану, що дозволить скоротити ймовірність виникнення відмов в експлуатації. Колісні пари рухомого складу є найважливішими елементами екіпажної частини, від надійності яких залежить безпека руху поїздів. Візуальний контроль стану колісних пар, який проводиться локомотивною бригадою на шляху прямування, не є об'єктивним та не дозволяє виявляти дефекти прихованого характеру.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Завданням розробки методів оперативного контролю колісних пар присвячено безліч робіт вітчизняних і зарубіжних учених. Довгий час знос колісних пар виявлявся візуально і контактним вимірювальним інструментом. Починаючи з 2000-х років з'являються перші автоматичні системи оперативного контролю колісних пар на основі контактних елементів [1], вони характеризувалися високою точністю вимірювання. Однак контроль здійснювався при проходженні рухомого складу при швидкості 5-10 км/год. Використання нових матеріалів і технологій дозволило згодом удосконалювати системи контролю колісних пар. Стали з'являтися системи, що використовують п'єзоелектричні датчики [2], лазерні системи, що сканують колісну пару по колу кочення [3], або акустичні датчики, встановлені безпосередньо на рухомому складі [4]. Упроваджені бортові системи, що фіксують дефекти втоми бандажів колісних пар [5] або товщину гребеня під час руху [6]. Таким чином, нині на залізницях світу використовується кілька типів автоматизованих систем контролю колісних пар, кожна з яких має свої переваги і недоліки. Загальним їх недоліком є низька ефективність контролю

на високих швидкостях руху. З огляду на світову тенденцію розвитку швидкісного залізничного руху завдання вдосконалення систем автоматизованого контролю колісних пар в умовах швидкісного руху є актуальним.

**Визначення мети і завдань дослідження.** Проведення аналізу існуючих методів оперативного контролю колісних пар рухомого складу, наведення основних переваг та недоліків, виконання їх класифікації.

**Основна частина дослідження.** У ритмічному розвитку інфраструктури пасажироперевезень, де досягнення максимальної швидкості і безпеки руху рухомого складу висунуто на перший план, з'являється потреба в створенні експертно-інформаційних технологій оперативного контролю вузлів рухомого складу та модернізації вже наявних. В основу роботи систем оперативного контролю стану колісних пар закладають функції не тільки проведення безперервного діагностування вузлів, але і прийняття рішення про можливість подальшої експлуатації цього вузла.

Автоматизована система контролю колісних пар з використанням контактних методів дозволяє проводити вимірювання колісних пар рухомого складу в процесі руху поїзда зі швидкістю до 10 км/год (рис. 1). Вимірювальну ділянку довжиною 20 м 10-вагонний швидкісний поїзд проходить за 3 хв. Функціональність системи дозволяє одночасно виміряти відстань між поверхнею контакту колеса і гребеня, а також виміряти гребінь за допомогою важелів на коливальних опорах. У момент проходження вимірювальної ділянки сигнал від рухомого колеса надходить на стаціонарний пост, де сигнали від колісних пар з несправностями розшифровуються і заносяться в базу даних депо [1, 3].

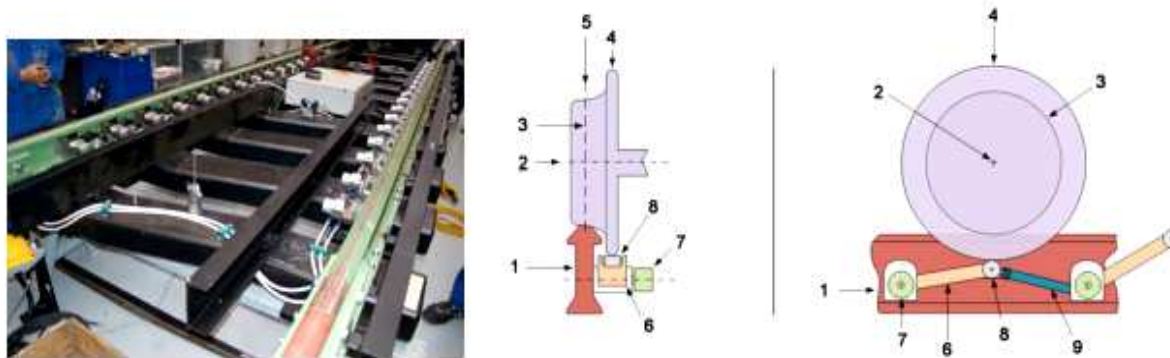


Рис. 1. Принцип роботи механізму вимірювання кола [1]:

1 – рейка; 2 – колісна вісь; 3 – поверхня катання; 4 – гребінь; 5 – вимірювальний контур; 6 – плече вимірюваного важеля; 7 – датчик кутових переміщень; 8 – вимірювальний ролик; 9 – пневматичний циліндр

Даний метод є простим і надійним, але залежність достовірності результатів механічних контактних елементів від умов зовнішнього середовища і зносів знижує його ефективність.

Діагностичний комплекс «ДИСК-БКВ-Ц» дозволяє в процесі експлуатації і руху рухомого складу через діагностичний пост фіксувати дефектні колісні пари за допомогою акустичних датчиків. Принцип роботи системи простий і полягає в такому: колісний центр з будь-яким дефектом викликає удари по рейці, нетипові для

справного, чим викликає певні імпульси. При русі рухомого складу через діагностичний пост сигнали, що надходять від руху поїзда, фіксуються і переводяться в електричний сигнал, що надходить на стаціонарний пост (рис. 2) для розшифровки і побудови діаграми.

Автоматизовані системи, які проводять операції за допомогою лазерних променів (рис. 3), здатні фіксувати виникнення несправності задовго до їх прояву на стаціонарних системах, застосовуваних в депо.

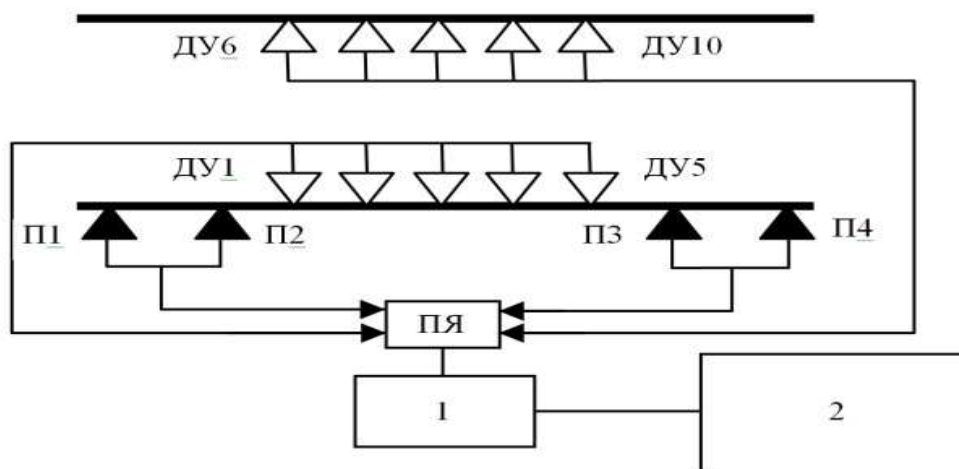


Рис. 2. Структурна схема апаратури «Диск» [7]:

1 – постова апаратура; 2 – стаціонарна апаратура

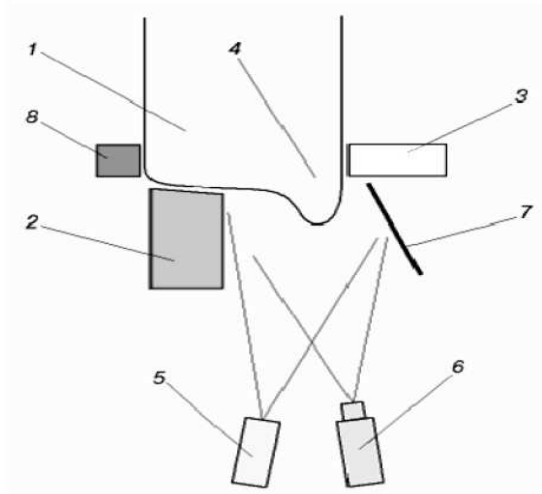


Рис. 3. Схема розташування обладнання системи «EVA» [7]:  
1 – колесо; 2 – напрямна плита; 3 – захисна рейка; 4 – гребінь; 5 – лазер; 6 – камера;  
7 – дзеркало; 8 – датчик положення колеса

Негативними аспектами подібних систем є помилки при діагностуванні в сонячні дні, при попаданні променів світла на об'єкт.

Почали застосовувати вузькосмугові фільтри, що частково вирішило проблему. Іншим негативним аспектом системи є потреба у зміні геометрії рейки при проведенні діагностичних операцій в освітлюваних місцях і при попаданні променів світла безпосередньо на об'єкт, що вкрай негативно позначається на міцності рейкового полотна. Щоб

компенсувати модифікації полотна, почали застосовувати захисні елементи, після чого знизилася швидкість проведення вимірювань до 15 км/год [2,7].

Діагностичний комплекс контролю геометричних параметрів колісних пар дає можливість проводити діагностику на відкритому повітрі (рис. 4), без потреби істотного зниження швидкості (до 60 км/год). Комплекс систем дозволяє перевіряти в невинному режимі основні параметри колісних пар (товщина гребеня і обода).

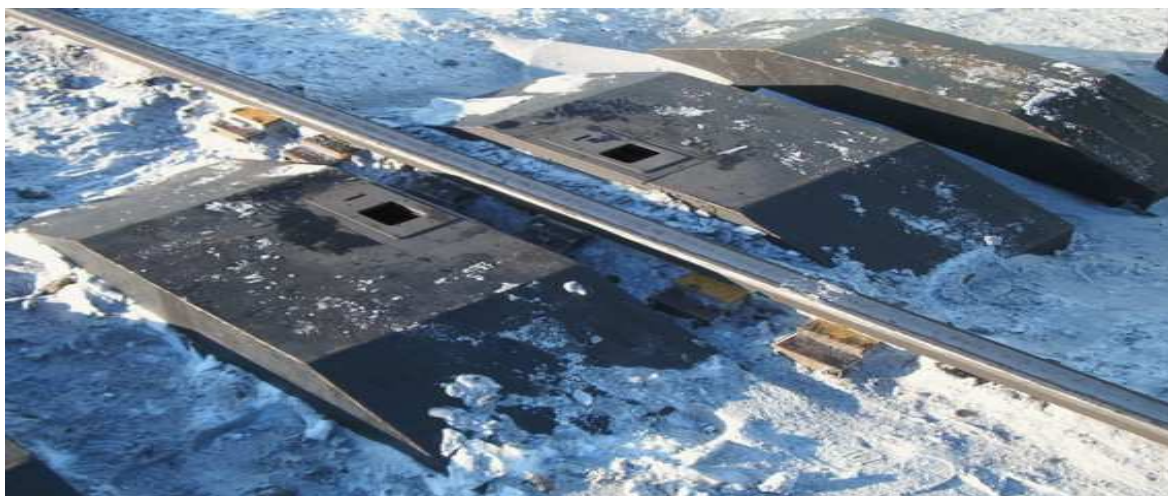


Рис. 4. Вимірювальні датчики ДККГП КП

При проходженні ділянки датчики, встановлені по обидва боки головки рейки, заміряють колісну пару і відправляють дані на пост, де вони розпізнаються і заносяться в базу для співвідношення з попередніми перевірками.

Перевагою даної системи є відсутність серйозних обмежень в швидкості руху поїздів, що позитивно позначається на графіку руху та експлуатаційної роботи в цілому.

Використання різного роду датчиків, встановлених безпосередньо на візку або колісній парі (рис. 5), дозволяє проводити діагностичні операції і отримувати

конкретний звіт про задану колісну пару, дозволяє більш детально оцінювати її стан, аналізуючи дані в реальному часі за допомогою радіопередавачів, установлених на рухомому складі. Такі засоби діагностування мають кілька недоліків, одним з яких є потреба великих фінансових вкладень на придбання датчиків та встановлення їх на кожен колісну пару, іншим, більш серйозним, виступає їх неточність через підвищену запиленість в місцях їх установлення, що знижує рівень інформації і потребує додаткових перевірок, несе за собою фінансові витрати [8].

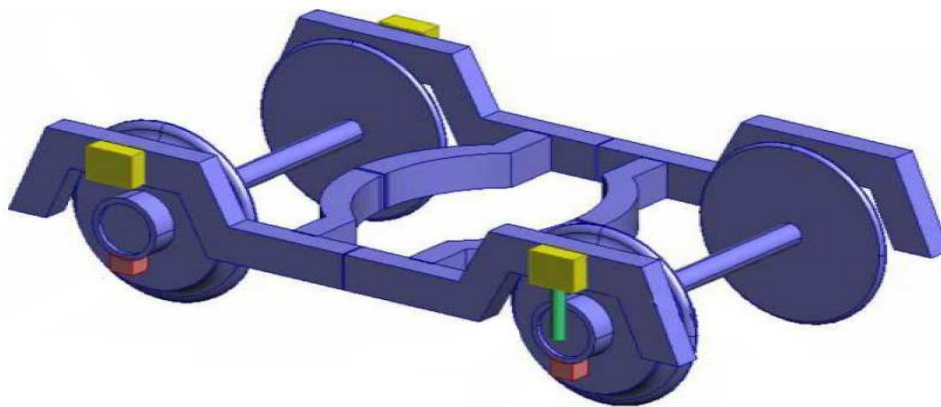


Рис. 5. Положення датчика на візку і колісній парі [8]

Кількість діагностичної інформації визначається не тільки технічними властивостями самого засобу технічної діагностики як способу вимірювання параметра (рис. 6), а більшою мірою тим, як цей технічний засіб використовується, якою є технологія, алгоритм діагностування. Оптимальні розв'язання завдань технічної діагностики можуть бути отримані тільки в результаті аналізу безлічі станів, в яких об'єкт діагностування може перебувати в період експлуатації.

У зв'язку з цим потрібні спеціальні методи для теоретичного аналізу безлічі можливих станів технічних об'єктів.

Подібні методи ґрунтуються на дослідженні аналітичних описів або графоаналітичних уявлень основних властивостей об'єкта діагностування, які можуть бути подані їх діагностичною моделлю (рис. 7). Діагностична модель може містити безліч різних діагностичних ознак.

Частина характеристик  $R$  і всі параметри  $F$ ,  $E$ ,  $V$ , наведені в діагностичній моделі, можуть бути використані як діагностичні параметри, тобто утворюють робочий діагностичний простір, а потім, природно, виникає проблема їх вимірювання, оцінки й виявлення ознак.

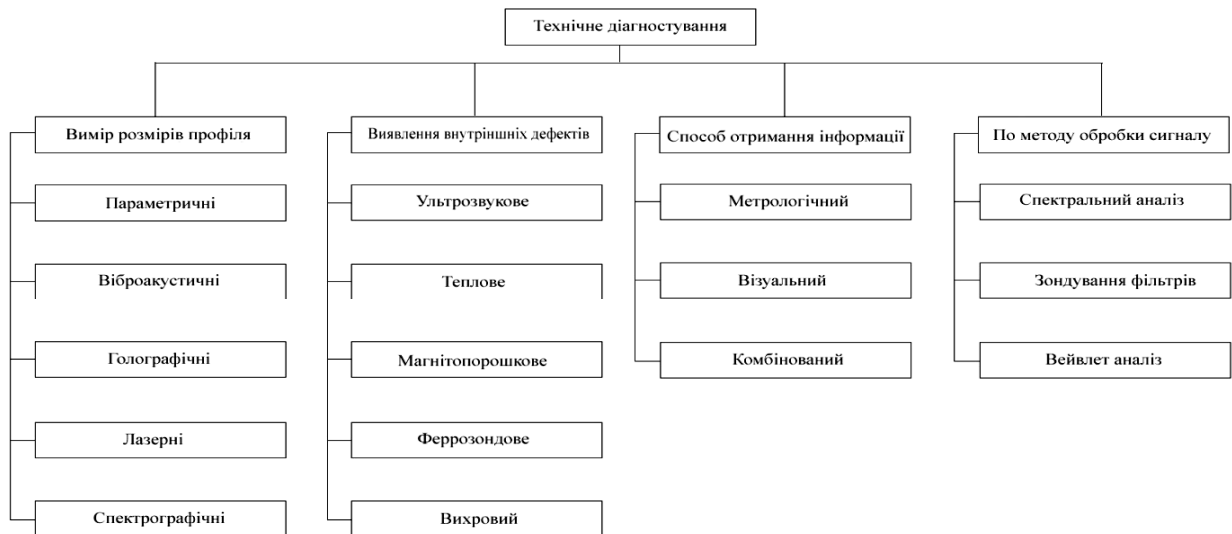


Рис. 6. Класифікація методів технічного діагностування рухомого складу



Рис. 7. Діагностична модель колісної пари

Для оцінки методів контролю стану колісних пар проводилося анкетування за методом Дельфі [9]: методика, що дозволяє за допомогою опитувань або інтерв'ю отримати максимальне узгодження для визначення правильного рішення. Щоб отримати більш точні результати дослідження, було опитано 20 фахівців у галузі діагностики і неруйнівного контролю

локомотивів. Для оцінювання ефективності методів оперативного контролю колісних пар рухомого складу застосовувалася шкала в балах від 1 до 5.

При аналізі отриманих даних опитаних була здійснена статистична обробка даних, визначено середнє значення, середньоквадратичне відхилення і коефіцієнт варіації. Результати аналізу анкетних даних наведені в таблиці.

Ефективність методів оперативного контролю колісних пар

№ п/п	Метод контролю	Середнє значення	Середньоквадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації
1	Параметричний	2,84	0,69	24,22
2	Віброакустичний	3,58	0,51	14,17
3	Голографічний	3,89	0,32	8,10
4	Лазерний	3,95	0,23	5,81
5	Спектрографічний	3,84	0,37	9,75
6	Ультразвуковий	3,74	0,45	12,11
7	Тепловий	2,63	0,50	18,83
8	Магнітопорошковий	2,53	0,51	20,31
9	Ферозондовий	2,79	0,71	25,57
10	Вихровий	2,84	0,69	24,22

Визначальним параметром при оцінці ефективності методів оперативного контролю взяли середнє значення кожного методу контролю. Отримавши результати аналізу анкет, визначили, що найбільшим середнім значенням оцінки при оперативному контролі технічного стану колісних пар рухомого складу є лазерний метод, менш ефективними ж, на думку опитаних, висунути: голографічний, спектрографічний, ультразвуковий, віброакустичний, параметричний, вихровий, ферозондовий, тепловий та магнітопорошковий.

**Висновки.** З огляду на проведений аналіз та експертну оцінку сучасних методів контролю стану колісних пар рухомого складу їх можна класифікувати за критеріями вимірювання розмірів профіля, виявлення внутрішніх дефектів, способом отримання інформації та за методом обробки сигналу. Найбільш перспективними методами, що можуть здійснювати контроль параметрів колісних пар швидкісного рухомого складу, нині є лазерні, голографічні та спектрографічні.

#### Список використаних джерел

1. Хаушилд, Г. Автоматическая диагностика колесных пар с помощью системы ARGUS [Текст] / Г. Хаушилд, Ф. Кассиди // Железные дороги мира. – 2001. – №12. – С. 36-42.
2. Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов подвижного состава железнодорожного транспорта [Текст] / под ред. В. Ф. Криворудченко, Р. А. Ахмеджанова. – М.: Маршрут, 2005. – 428 с.
3. Руководство по эксплуатации: Система диагностирования колесных пар [Текст]: нормативно-технический материал. – Эркеленц: HEGENSCHEIDT-MFD, 2009. – 103 с.
4. Lamari A. C. Rolling stock bearing condition monitoring systems [Text] / A. Lamari // University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying. - 2008. - № 8 (281). – 116 p.
5. Monje P., Aranguren G., Martinez B., Casado L., Using bogie-mounted sensors to measure wheel rolling and sliding in railway tracks Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers [Text] / P. Monje // Journal of Rail and Rapid Transit. – 2011. - №4 (225). – P. 1-13.
6. Matsumoto A., Sato Y., Ohno H., Tomeoka M., Matsumoto K., Kurihara J., Ogino T., Tanimoto M., Kishimoto Y., Sato Y., Nakai T. A new measuring method of wheel-rail contact forces and related considerations [Text] / A. Matsumoto // Wear. – 2008. - № 10-11 (265) – P. 9-10.

7. Буряк, С. Ю. Диагностирование состояния поверхности катания колеса подвижного состава железных дорог [Текст] / С. Буряк // Наука та прогрес транспорту: Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2013. - № 1 (43). – С. 22-29.

8. Ngigi R. W., Pislaru C., Ball A., Gu F. Modern techniques for condition monitoring of railway vehicle dynamics [Text] // Journal of Physics: Conference Series. – 2012. – № 364. – P. 13.

9. Анализ стратегий и разработка комплексных программ [Текст] / под ред. В. А. Агафонова. – М.: Наука, 1990. – 245 с.

---

Саркісян Карен Мікаелович, магістрант ШПК (Проект ТЕМПУС IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (066) 264-19-30. E-mail: nikotin.fmr@gmail.com.

Устенко Олександр Вікторович, професор, д-р техн. наук, декан механіко-енергетичного факультету Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (050) 402-24-11. E-mail: av.ustenko@gmail.com.

Sarkisian Karen Mikaelovich, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (066) 264-19-30. E-mail: nikotin.fmr@gmail.com.

Ustenko Alexander Viktorovich, professor, Dr. Tech. Sciences, Dean, Faculty of Mechanics and Energy of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (050) 402-24-11. E-mail: av.ustenko@gmail.com.

Стаття прийнята 13.11.2017 р.