

УДК 629.4.063.6

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ РОБОТИ ФОРСУНОК ДИЗЕЛІВ ТЕПЛОВОЗІВ

Д-р техн. наук В. Г. Пузир, канд. техн. наук Ю. М. Дацун,  
магістранти В. Е. Сендюк, В. В. Пиво

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЗОВ

Д-р техн. наук В. Г. Пузырь, канд. техн. наук Ю. Н. Дацун,  
магистранты В. Э. Сендюк, В. В. Пиво

## ANALYSIS OF THE METHODS QUALITY ASSESSMENT WORK INJECTOR DIESEL LOCOMOTIVES

D. Sc. (Tech.) V. Puzyr, PhD (Tech.) Y. Datsun, masters V. Sendiuk, V. Pyvo

*У статті виконано аналіз існуючих методів контролю якості роботи форсунок тепловозних дизелів, проаналізовано їх основні переваги та недоліки і запропоновано методіку оцінки якості розпилю палива форсункою на автоматизованому стенді, яка дасть змогу знизити відсоток участі людини-оператора в процесі прийняття рішення про якість роботи форсунки.*

*Використання цієї методіки значно зменшить трудовитрати на випробування форсунок та дасть змогу підвищити ефективність роботи дизельних двигунів внутрішнього згорання, суттєво знизити витрату палива та викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище.*

**Ключові слова:** форсунка, якість розпилення, паливна система, розпилювач, дизель.

*В статье выполнен анализ существующих методов контроля качества работы форсунок тепловозных дизелей, проанализированы их основные преимущества и недостатки и предложена методика оценки качества распыла топлива форсункой на автоматизированном стенде, которая позволит снизить процент участия человека-оператора в процессе принятия решения о качестве работы форсунки.*

*Использование данной методіки значительно уменьшит трудозатраты на испытания форсунок и позволит повысить эффективность дизельных двигателей внутреннего сгорания, существенно снизить расход топлива и выбросы вредных веществ в окружающую среду.*

**Ключевые слова:** форсунка, качество распыла, топливная система, распылитель, дизель.

*Railway industry is one of the largest consumers of diesel fuel in the country due to its use of diesel locomotives and diesel trains to perform transport and shunting operations. In the conditions*

*of constant rise in fuel and energy resources, this article of expenses of Ukrzaliznytsia continues to grow. Naturally, the issue of reducing the cost of energy carriers on the Ukrainian railways becomes extremely relevant.*

*Operation of the fuel equipment depends on the main power and economic parameters of the diesel engine, its reliability and stability of the parameters, as well as the toxicity and smoke of the exhaust gases. Therefore maintenance of fuel equipment in the proper technical condition will allow to provide high techno-economic efficiency of diesels of rolling stock.*

*In the article analyzes the existing methods of quality control of diesel injectors, analyzes their main advantages and disadvantages and suggests a method for assessing the quality of sprayed fuel by an injector on an automated test bench, which will reduce the percentage of human operator in the decision-making process on the quality of the injector.*

*In the article analyzes the existing methods of quality control of diesel injectors, analyzes their main advantages and disadvantages and suggests a method for assessing the quality of sprayed fuel by an injector on an automated test bench, which will reduce the percentage of human operator in the decision-making process on the quality of the injector.*

*Testing bench has a fairly high degree of discretization of data, so it is possible to experimentally determine the limits of the change in the angle of inclination of the pressure curve in the hydraulic accumulator, in which the ideal quality of the saw is observed. Deviations from the averaged value of the curve obtained when testing the reference nozzles in the direction of angle increase indicate a deterioration in the quality of the spray due to an increase in the diameter of the nozzle hole and the amount of fuel injected per cycle, and in the direction of decrease - on a reduced cycle feed or on the high stiffness of the spring of the nozzle. Use of this technique will significantly reduce the labor costs for testing nozzles and will increase the efficiency of diesel internal combustion engines, significantly reduce fuel consumption and emissions of harmful substances into the environment.*

**Keywords:** injector, spray quality, fuel system, sprayer, diesel.

**Вступ.** Залізнична галузь є однією з найбільших споживачів дизельного палива в країні за рахунок використання його тепловозами та дизель-поїздами для виконання перевізної та маневрової роботи. В умовах постійного дорожчання паливо-енергетичних ресурсів ця стаття витрат Укрзалізниці продовжує збільшуватись. Природно, що питання скорочення витрат енергоносіїв на залізницях України набуває неабиякої актуальності.

Від роботи паливної апаратури залежать основні потужнісні та економічні показники дизеля, його надійність та стабільність параметрів, а також токсичність і димність відпрацьованих газів. Тому підтримання паливної апаратури в належному технічному стані дасть змогу забезпечувати високу техніко-економічну ефективність дизелів рухомого складу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Згідно з [1] найбільший вплив на режими та параметри роботи дизеля здійснює технічний стан форсунок. Визначення технічного стану форсунок тепловозних двигунів проводиться під час ПР-1 [2, 5] на спеціальних стендах. Контроль основних параметрів форсунок під час випробувань здійснюється персоналом депо, що збільшує негативний вплив на результати досліджень «людського чинника». Питаннями розробки об'єктивних методів контролю технічного стану форсунок займались як вітчизняні, так і закордонні вчені та спеціалісти. У [2] запропоновано виконувати контроль якості роботи паливної системи, а зокрема форсунок, візуальним методом, який потребує високої кваліфікації та досвіду робітників, однак є досить неточним. На цей момент існує ряд способів оцінки параметрів роботи

форсунок, застосування яких потребує спеціалізованого обладнання, що має високу вартість, та потужних ЕОМ для обробки отриманих даних [3, 4, 6, 7].

Стрімкий розвиток нових технологій контролю розширює діапазон підходів до оцінки технічного стану вузлів. Їх застосування у виробництві дасть змогу підвищити об'єктивність діагностування.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Провести аналіз існуючих методів оцінки технічного стану паливних форсунок та сформулювати пропозиції щодо удосконалення технології післяремонтних випробувань елементів паливної апаратури дизелів рухомого складу.

### Основна частина дослідження.

Згідно з вимогами правил ремонту [2, 5] роботу форсунки під час випробувань на стенді оцінюють за рядом критеріїв (рис. 1).

На цей час у локомотивних депо та ремонтних підприємствах для діагностування стану форсунок використовується випробувальне обладнання з досить низькою інформативністю та точністю отриманих результатів, що потребує вдосконалення. Підвищення об'єктивності контролю можливе за рахунок упровадження автоматизованих систем.

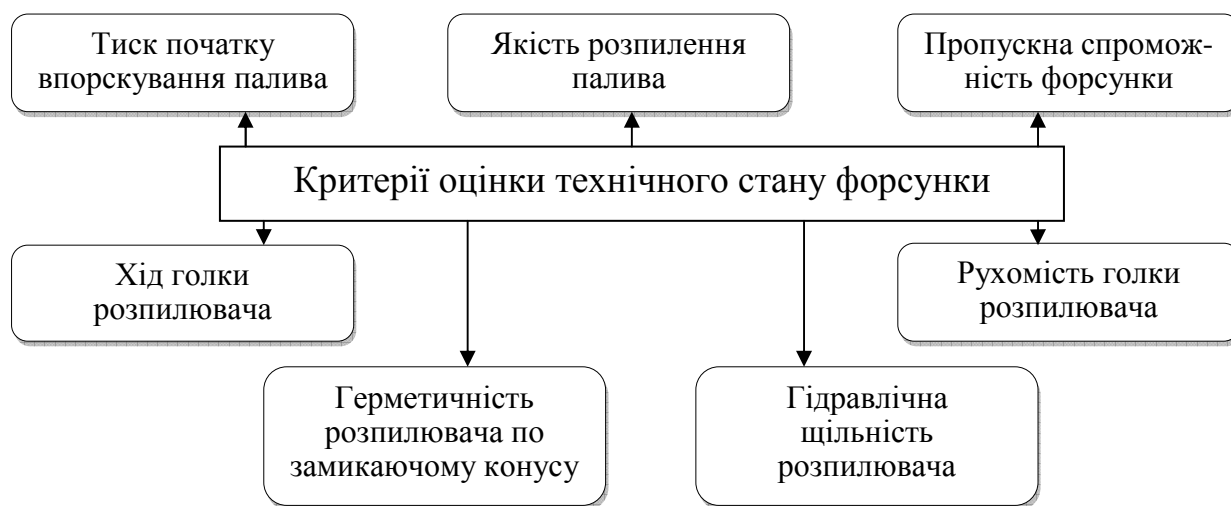


Рис. 1. Критерії оцінки технічного стану форсунки

Найбільшу складність для автоматизованого контролю в процесі випробувань форсунок являє оцінка якості розпилювання. На цей час для оцінки якості розпилювання форсунок дизелів застосовується ряд підходів (рис. 2)

Візуальний метод огляду на цей час є найбільш поширеним у локомотивних депо і полягає в безпосередньому визначенні слюсарем-ремонтником якості розпилу палива при роботі форсунки на стенді типу А106, спираючись на зорову інформацію та власний досвід. Цей метод має низьку

точність та інформативність і потребує вдосконалення.

Метод фотографування факела розпилу оснований на обробці на ЕОМ серії фотознімків, отриманих за допомогою високочастотної камери. У спеціально розробленому програмному забезпеченні виконується оцінка геометричних параметрів усієї структури розпилу факела, оцінка ступеня нерівномірності розпилу струменів палива, визначення ступеня заповнення об'єму випробувальної камери [6]. До його недоліків можна віднести високу вартість обладнання, складність та

вартість програмного забезпечення, відсутність можливості регулювання тиску

впорскування та визначення його впливу на якість розпилу.

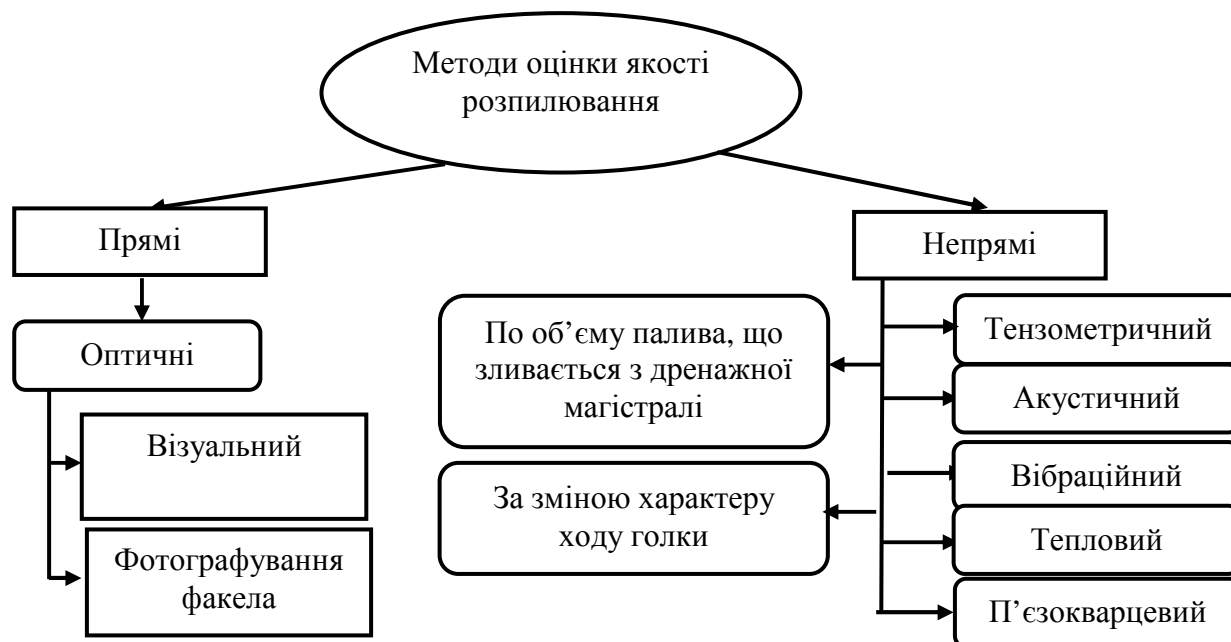


Рис. 2. Методи оцінки якості розпилювання

Вібраційні методи основані на отриманні і порівнянні з еталонними осцилограмами вібраційних коливань, що виникають при піднятті голки розпилювача та її поверненні в замикаючий конус. Робота двигуна внутрішнього згоряння, його механізмів і систем супроводжується вібрацією, між рівнем вібрації і технічним станом об'єкта існує взаємозв'язок. У міру зношування деталей механізмів збільшуються зазори в сполучених парах і підвищується кінетична енергія ударних впливів. Ударні впливи підвищуються зі збільшенням ходу голки розпилювача форсунки в процесі експлуатації. Маючи набір осцилограм із заздалегідь відомими несправностями, методом порівняння можна визначити вид ушкодження [7]. Недоліком цього методу діагностування є неможливість запису повного ходу голки, що не дає змоги визначити її хід до упору, швидкість підняття і посадки.

Тепловий метод оснований на контролі зміни температури поверхні трубопроводу живлення форсунки. Якщо

для відомих несправностей паливної апаратури (знос плунжерної пари, утворення коксу в розпилювачі форсунок, втрата рухомості голки, зниження тиску відкриття голки) визначити зміну температури поверхні нагнітального трубопроводу, це дасть змогу за її зміною визначити вид несправності [8]. Недоліком такого методу є складність проведення контролю технічного стану об'єкта досліджень, висока вартість обладнання, не виключається вплив температури деталей двигуна на зміну температури поверхні нагнітального трубопроводу.

Метод діагностування з використанням накладного п'єзоелектричного датчика тиску полягає в порівнянні дослідної діаграми, отриманої за допомогою п'єзоплівки з набором діаграм, отриманих з форсунок з відомими характерними несправностями (втрата рухомості голки розпилювача). Ефективність такого підходу залежить від набору діаграм, що є в базі даних, і якості програмного забезпечення [9]. Недоліки – відсутність можливості

визначати ділянку (місце) зависання (початок, середина або кінець ходу голки). Використання датчика для запису ходу голки дасть змогу визначати місце зависання, більш точно дасть змогу оцінити початок (кут випередження впорскування) і тривалість упорскування.

Діагностування за зміною ходу голки – на діаграмі руху голки виділяють характерні точки і ділянки: точку початку підняття голки (початок подачі палива); ділянку підняття голки; ділянку максимального підняття голки; ділянку посадки голки на сідло; точку закінчення посадки голки.

Хід голки, визначений у поточний період експлуатації дизеля, порівнюють з еталонним (контрольним) ходом, оцінюють технічний стан форсунки та установлюють можливі види несправностей [10].

Діагностування за величиною витікання палива з дренажної магістралі – при зносі обмежуючої поверхні корпусу форсунки і збільшенні ходу голки вона не досягає упору, і витікання палива збільшується. За зміною витікань можна визначити збільшення ходу голки і знос розпилювача [11].

Усі оглянуті методи потребують або додаткового встановлення датчиків, або обладнання, що має високу вартість, а достовірність визначення параметрів залежить від ряду суб'єктивних і об'єктивних чинників: кваліфікації оператора, що виконує перевірку, можливостей засобів вимірювання, якості програмного забезпечення, наявності бази даних з характерними несправностями та ін. Це потребує пошуку ефективних та недорогих методів автоматизованої оцінки якості роботи форсунки, що можуть застосовуватися в локомотиворемонтних виробництвах.

Фахівцями кафедри ЕРПС УкрДУЗТ розроблений автоматизований стенд для оцінки якості роботи паливних форсунок дизелів тепловозів (рис. 3).



Рис. 3. Загальний вигляд випробувального стенда:

- 1 – шафа з паливним обладнанням стенда;
- 2 – випробувальна камера з кріпленням форсунки;
- 3 – монітор користувача;
- 4 – панель керування;
- 5 – аварійне вимикання стенда;
- 6 – кнопка вмикання стенда;
- 7 – силова шафа

Стенд призначений для автоматизованого технічного контролю і регулювання форсунок дизелів типу Д49, Д100, К6S310DR та сучасних форсунок з електронним впорскуванням палива під час їх ремонту (обслуговування) у базових тепловозоремонтних підприємствах Укрзалізниці та інших підприємствах, що виконують поточні ремонти дизелів тепловозів чи їх паливної апаратури.

Стенд має можливість будувати та відображати на моніторі криву зміни тиску в паливопроводі високого тиску (рис. 4).

Для оцінки залежності між характером кривої зміни тиску та якістю розпилення палива на стенді проводились випробування форсунок з різними несправностями. У дослідженні було використано 50 форсунок, 10 з яких відповідали вимогам [2], а решта мали несправності, що викликають погіршення якості розпилювання. За діагностичний параметр якості розпилювання було обрано кут нахилу кривої зміни тиску палива в паливопроводі.

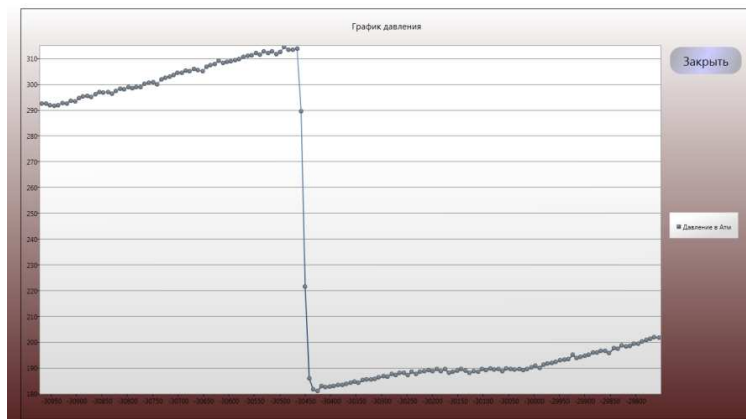


Рис. 4. Графік зміни тиску в паливопроводі форсунки

За аналізом характерних точок на імпульсі тиску (за амплітудою і фазою) можна визначити вплив зносу плунжерної пари, напрямної розпилювача (зазора),

жорсткості пружини, ходу голки, діаметра соплових отворів на процес подачі палива (рис. 5).

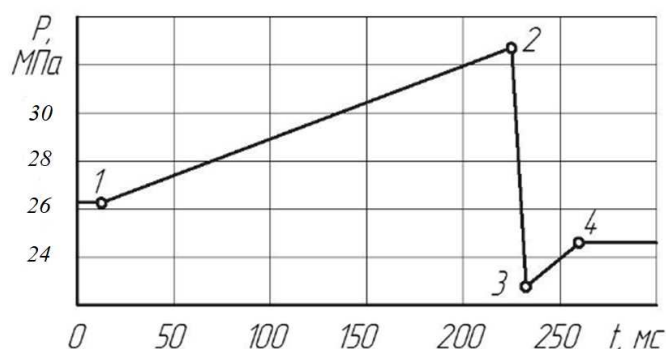


Рис. 5. Фази зміни тиску в паливопроводі в процесі випробування форсунок

Для визначення впливу зносу плунжерної пари обробляється ділянка 1–2. Зміна тиску на ділянці 2–3 залежить від діаметра соплових отворів, збільшення ходу голки і зазора в сполученні «голка–корпус розпилювача». По ділянці 3–4 оцінюється подача палива. Дослідження в основному проводилися по ділянці осцилограми 2–3.

Стенд має досить високий ступінь дискретизації даних, тому можливо експериментально встановити межі зміни кута нахилу кривої 2–3, при яких спостерігається ідеальна якість розпилювання. Відхилення від усередненого значення

кривої, отриманої при випробуваннях еталонних форсунок у бік збільшення кута свідчать про погіршення якості розпилення через збільшення діаметра соплового отвору і кількості палива, що впорскується за цикл, а в бік зменшення – про зменшену циклову подачу або про високу жорсткість пружини форсунки. Експериментальним шляхом було визначено межі кута нахилу кривої відносно вертикальної осі координат, при якому можна стверджувати, що якість розпилення близька до еталонної і форсунка придатна до використання (рис. 6).



Рис. 6. Зона ідеальної якості розпилю

**Висновки.** Аналіз існуючих методів оцінки технічного стану паливних форсунок дизелів показав те, що їх застосування пов'язане з ускладненням конструкції стендів спеціальним обладнанням, що має високу вартість. Використання спеціального обладнання в умовах ремонтних виробництв може бути ускладнено несприятливими умовами роботи та низькою кваліфікацією виконавців.

Експериментальні дослідження дали змогу виявити залежність між зміною тиску

палива під час впорскування та якістю розпилю форсункою.

Запропонований метод оцінки якості розпилення може бути реалізований на впроваджених у депо автоматизованих стендах. Для цього необхідні незначні зміни програмного коду. Це дасть можливість значно зменшити трудовитрати на випробування форсунок та дасть змогу підвищити ефективність роботи дизельних двигунів тепловозів, суттєво знизити викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище.

### Список використаних джерел

1. Трелин, А. А. Основные показатели технического состояния форсунок – давление начала впрыска, качество распыливания топлива, герметичность и пропускная способность [Текст] / А. А. Трелин, К. В. Трелина // Труды ГОСНИТИ. – 2007. – Т. 99. – С. 61-63.
2. Інструкція з технічного обслуговування та поточних ремонтів тепловозів ЧМЭЗ, ЧМЕЗТ, ЧМЕЗЕ [Текст] : ЦТ-0042. – К. : Укрзалізниця, 2009. – 205 с.
3. Оценка геометрических характеристик факела распыливания топлива центробежными форсунками малого перепада давления [Текст] / Н. Д. Быстров, Н. Ю. Ильясова, Л. Н. Мединская, А. В. Устинов. – М., 1998. – 12 с. – Деп. в ВИНТИ 5.10.1998, № 2926-В-98.
4. Захаров, Ю. А. Проверка, диагностика и испытание форсунок дизелей [Текст] / Ю. А. Захаров, Е. Г. Рылякин // Транспорт. Экономика. Социальная сфера. Актуальные проблемы и их решения: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. МНИЦ ПГСХА. – Пенза : РИО ПГСХА, 2014. – С. 43–47.
5. Інструкція з технічного обслуговування та поточних ремонтів тепловозів 2ТЕ116 [Текст] : ЦТ-0042. – К. : Укрзалізниця, 2009. – 212 с.

6. Bystrov, N. D. Evaluating the geometrical parameters of atomization-jet cross section images in diagnostics of diesel injectors [Text] / N. D. Bystrov, N. Y. Piasova, L. N. Medinskaia, A. V. Ustinov // Proceedings SPIE. – vol. 3348. – P. 308-315.
7. Коньков, А. Ю. Основы технической диагностики локомотивов [Текст]: учеб. пособие / А. Ю. Коньков. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2007. – 98 с.
8. Балагин, Д. В. Экспериментальные исследования тепловых процессов в трубопроводах высокого давления топливной аппаратуры дизелей [Текст] / Д. В. Балагин // Омский научный вестник. – 2012. – № 3 (113). – С. 142–145.
9. Макушев, Ю. П. Датчики для осциллографирования процесса впрыска топлива в дизелях. Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России [Текст] / Ю. П. Макушев, А. В. Филатов, Л. Ю. Михайлова // Матер. 66-й Междунар. науч.-практ. конф. – Омск: СибАДИ, 2012. – Кн. 2. – С. 67–71.
10. Роганов, С. Г. Влияние зазора в распылителе форсунки на процесс впрыска и некоторые показатели дизеля [Текст] / С. Г. Роганов, Ю. П. Макушев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 1978. – № 1. – С. 97–101.
11. Михайлова, Л. Ю. Диагностика форсунки дизеля по анализу хода иглы и утечкам топлива [Текст] / Л. Ю. Михайлова // Вестник инновационного Евразийского университета. – 2011. – №3 (43). – С. 99-105.

---

Пузир Володимир Григорович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту.

Дацун Юрій Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту.

Сендюк Віктор Едуардович, магістрант, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (050)-836-82-55. E-mail: yasinovka24@gmail.com.

Пиво Володимир Васильович, магістрант, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту.

Пузырь Владимир Григорьевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта.

Дацун Юрий Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта.

Сендюк Виктор Эдуардович, магистрант, кафедра эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел: (050)-836-82-55.

E-mail: yasinovka24@gmail.com.

Пиво Владимир Васильевич, магистрант, кафедра эксплуатации и ремонта подвижного состава Украинского государственного университета железнодорожного транспорта.

Puzyr V., D. Sc (Tech.), Professor, Head of Department, Department of Operation and maintenance of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport.

Datsun Y., PhD (Tech.), Associate professor, Department of Operation and Maintenance of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport.

Sendiuk V., master, Department of Operation and Maintenance of Rolling Stock, Ukrainian State University Of Railway Transport. Tel.: (050)-836-82-55. E-mail: yasinovka24@gmail.com.

Pyvo V., master, Department of Operation and Maintenance of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport.

Статтю прийнято 12.11.2018 р.