

УДК 621.43.004.6: 343.983.4

DOI: 10.31498/2225-6733.53.2.2026.359958

ПІДХОДИ ДО ВИЯВЛЕННЯ НЕСПРАВНОСТІ ТЕПЛОВИЗНИХ ДИЗЕЛІВ
ПРИ ОБМЕЖЕННІ ВИХІДНИХ ДАНИХ

- Фалендиш А.П.** д-р техн. наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3602-7945>, e-mail: faphiit@gmail.com;
- Терещак Ю.В.** канд. техн. наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2603-3535>, e-mail: Yurii.V.Tereshchak@lpnu.ua;
- Іванченко Д.А.** канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет, м. Дніпро, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3024-3930>, e-mail: ivanchenko_d_a@pstu.edu;
- Джус О.В.** зав. лабораторії, Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, м. Львів, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7577-4049>, e-mail: djusov22@gmail.com;
- Грицишин П.М.** провідний науковий співробітник, Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, м. Львів, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5909-947X>, e-mail: p.hrvtshyn@gmail.com

Визначення причини непрацездатності та відмов рухомого складу після планового ремонту є складним завданням. Це пояснюється різноманітністю факторів, що їх спричиняють, та складністю самого рухомого складу. В основу роботи покладено практичні дослідження по визначенню причин виникнення несправностей тепловозного двигуна. В роботі запропоновані підходи по виявленню несправностей тепловозних дизелів при наявності різних обмеженнях вихідних даних. Визначено причини відмов дизелів, до яких належать особливості конструкції їх та рухомого складу різних типів, особливості несправностей та поломок для конкретних серій та моделей вузлів і агрегатів. Наведено та проаналізовано основні причини пошкоджень дизельних двигунів тепловозів, які можна визначити з високою достовірністю, якщо використовувати просту методику, в якій усі відомі ознаки пошкоджень. Дані пошкодження дизельних енергетичних установок поділяються на основні, підтверджені та уточнюючі. Запропонована процедура пошуку та усунення несправності тепловозного дизеля. Розроблений порядок розслідування причин виникнення відмов дизеля та його систем включає етапи визначення та опису об'єкта дослідження, висування гіпотез причин відмов та їх перевірку і розробку заходів та рекомендацій по причинах виходу зі строю та їх обґрунтуванню. На конкретному прикладі проведено аналіз наявності та важливості цих ознак при дослідженні причин відмови дизельного двигуна маневрового локомотива після проведеного йому планового ремонту у стороннього виконавця. Аналіз при цьому виконувався за допомогою діаграм Ісікави та Парето. Як основну гіпотезу первопричини виходу зі строю шатунно-поршневої групи дизеля запропоновано визнати порушення геометрії блоку циліндрів. Проведене дослідження дозволило вибрати версію причини несправності, яка потім також швидко підтверджується та уточнюється за іншими ознаками – підтверджуючими та уточнюючими.

Ключові слова: рухомий склад; локомотивна енергетична установка; відмова; працездатний стан; ремонт; експлуатація тепловозів.

Постановка проблеми

Для підвищення ефективності надання послуг залізничним транспортом на залізницях України проводять реформи. Одним з напрямків реформування є реформування локомотивного господарства, яке буде розділено на частини. Планується виділити ряд дочірніх підприємств, які будуть представляти послуги в постачанні рухомого складу, його експлуатації та ремонті. Оскільки ці підприємства будуть незалежними один від одного, то при виникненні причин виходу його зі строю постане питання визначення первопричин його виходу. Це можуть бути і конструктивні недоліки, і погана експлуатація. А враховуючи, що в результаті реформування до інфраструктури залізниць для перевезень будуть допущені ще інші власники локомотивів, то питання визначення первопричин виходу зі строю рухомого складу набуває важливого значення.

Важливим фактором, що заважає отриманню такої інформації, є відсутність методик, які могли би використовуватися для визначення причини несправностей із необхідним ступенем достовірності. Суттєво це стосується тяжких ушкоджень при повністю зруйнованих деталях або коли доступність пошкодженого рухомого складу з певних причин є неможливою. Усе це є перешкоджанням правильному виявленню причинно-наслідкових зв'язків. Питання визначення первопричини несправності та непрацездатності рухомого складу залізниць на даний час залишається невирішеним до кінця та представляє великий інтерес для науковців. Більшість досліджень в цьому напрямку мають теоретичний характер по причині багатфакторного впливу на рухомий склад та його технічної складності. Розробка та впровадження точних методик по визначенню первопричин потребує багато часу та ресурсів.

Для вирішення даної проблеми необхідно розробити підходи по виявленню несправностей тепловозів при обмеженні вихідних даних.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Питанням визначення першопричин несправності рухомого складу на другому етапі життєвого циклу приділяється багато уваги різними науковими, науково-навчальними та науково-дослідними закладами та промисловими підприємствами.

Так, симбіоз робіт науковців з Харкова, Києва та Луганська багато уваги приділяє оцінці міцності вагонів та його основних вузлів [1-5]. Роботи під керівництвом Фоміна О. та Ловської А. направлені на визначення раціональних конструкцій вагонів та його складових. Роботи в цьому напрямку виконуються вченими і в University of Zilina. Так, в працях [6-12] розглядаються питання визначення несправності конструкції вагонів на основі моделювання міцності механічної частини вагонів.

В працях вчених [13-17] розглядаються питання виявлення несправності паливної апаратури і причини їх виходу зі строю в більшій мірі з точки зору їх діагностики. Також з точки зору діагностики виявлення несправності, а не виявлення первопричин її виникнення, в роботі [18] при діагностиці пропонується використовувати тепловізійне обладнання.

Немаловажне значення дана проблема має і для вирішення судових спорів при з'ясуванні причин появи несправності залізничного транспорту. Даним питанням займаються працівники Львівського науково-дослідного інституту судових експертиз, деякі результати їх робіт висвітлені в працях [19-22]. Так, в праці [22] автори розглядають питання встановлення технічного стану рухомого складу залізниць на момент виникнення транспортної події. У відповідності з ДСТУ 2860-94 визначається об'єкт дослідження, його основна і допоміжна функції та його технічний стан і несправність. Для прикладу вони розглядають інцидент з тепловозом 2М62 і оцінюють стан гальмівної системи.

Але основні дослідження інституту судових експертиз припадають на оцінку стану гальмівних систем локомотивів, а відповідно і розрахунку гальмівного шляху поїздів, які викладені в розробленій методиці [23]. Питанню виявлення причин відмов дизелів в експлуатації приділяється набагато менше уваги.

Мета статті

Зі зробленого аналізу слідує, що питанням визначення первопричин виходу зі строю рухомого складу залізниць приділяється недостатньо уваги і вони, в основному, направлені на визначення міцності конструкції або діагностику виявлення вже самої несправності рухомого складу. Тому метою даної статті є розробка методик та підходів по визначенню першопричин виходу зі строю рухомого складу під час його експлуатації.

Матеріали та методи

На вихід зі строю рухомого складу впливає дуже багато факторів. Це і конструкція рухомого складу, і якість виготовлення та матеріали, і правильність експлуатації та обслуговування, і якість ремонту. Охопити одночасно всі ці фактори в моделі представляє дуже важку задачу.

Тому в статті розглянемо визначення причин відмови лише силових установок тепловозів. Як приклад візьмемо випадок виходу з ладу силової установки К6S310DR маневрового тепловоза ЧМЕЗ, яка сталася під час проведення реостатних випробувань тепловоза після проведеного йому планового ремонту.

В цьому випадку об'єктом нашого дослідження є процес функціонування силових установок тепловозів в експлуатації та при проведенні реостатних випробувань після планових видів ремонту. Предметом дослідження є методики та підходи по визначенню причин відмов дизелів тепловозів в експлуатації та при проведенні їм реостатних випробувань.

При розробці методики використовуються методи аналізу ієрархій, методи оцінки технічного рівня транспортних засобів, методи аналізу та синтезу. При проведенні розрахунків та моделюванні використовуються програмні продукти Microsoft Office.

Виклад основного матеріалу

Розробляти технологію пошуку причин несправності дизеля маневрового тепловозу будемо по процедурі, яка враховує усунення несправностей тепловозних дизелів при ремонті та представлена на рис. 1.

- I. Фіксація інформації по виходу зі строю тепловозу
- II. Перевірка стану базових систем дизеля
- III. Перевірка стану дизеля по причинам виходу
- IV. Діагностика дизеля з використанням інструментів та приборів
- V. Визначення причин несправності дизеля
- VI. Усунення несправності дизеля.
- VII. Контрольний запуск дизеля та перевірка параметрів його роботи

Рис. 1 – Процедура пошуку та усунення несправності тепловозного дизеля

Розглянемо більш детально етапи пошуку несправності тепловозного дизеля (V пункт процедури).

Оскільки наша країна збирається вступати в ЄС, нам необхідно дотримуватись Директив ЄС стосовно розслідування транспортних подій [24]. Тому подальші наші дослідження будемо вести з врахуванням вимог ДСТУ EN IEC 31010:2022 та ДСТУ EN

62740:2022 [25-26]. Нами пропонується наступна методика визначення першопричин (RCA) виходу зі строю дизеля тепловоза, яка враховує стандарт [25], згідно з яким виділяється п'ять етапів.

На першому етапі визначення причин несправності дизеля виконується фіксація виявлених несправностей по конструктивним ознакам МПко (явні поломки дизеля та його системи) або по непрямим ознакам. Непрямі ознаки можна описати масивом зовнішніх ознак МПзо та масивом параметрів двигуна МПпд:

- МПко = {розбитий корпус; розбита клапанна коробка};
- МПзо = {димність; сторонні шуми; вібрації};
- МПпд = {потужність; запуск; перегрів масла; перегрів води; витрата масла; витрата води}.

При цьому необхідно зафіксувати умови, при яких появилася або появляється несправність: холостий хід; робота під навантаженням; виникнення до моменту прогріву; виникнення після прогріву.

Оскільки причина виникнення несправності на першому етапі невідома, тому необхідно розглянути кілька найімовірніших гіпотез по відмові. Інформацію у встановленні причин несправності можна отримати від інженерно-технічного складу підприємства. Джерелами встановлення причин виникнення несправностей можуть бути також інші нормативні документи: технічні та рекламацийні акти, технічні звіти, бюлетені з доопрацювання вузлів, агрегатів та деталей.

При невідомості причин виникнення несправності треба зазначити кілька найімовірніших причин. Інженерно-технічний склад підприємства може надати допомогу у встановленні причин несправності. Джерелами встановлення цих причин можуть бути також рекламацийні та технічні акти, технічні звіти, бюлетені з доопрацювання вузлів, агрегатів та деталей.

Залежно від причини виникнення несправності можна класифікувати на конструктивно-виробничі; експлуатаційні; ремонтні.

Конструктивно-виробничі несправності обумовлені недосконалістю застосованих методів конструювання, помилками конструктора, невідповідністю матеріалу до заданих вимог, недосконалістю технологічного процесу або його порушенням. Експлуатаційні несправності обумовлені недотриманням встановлених правил технічного обслуговування чи експлуатації. Ремонтні несправності обумовлені недосконалістю чи порушенням технології ремонту, низькою якістю ремонту.

Згідно Стандарту [25] для ідентифікації, аналізу, представлення можливих причин виникнення відмови дизеля, взаємозв'язку між подією та усіма факторами, які можуть на неї впливати, доцільно використовувати методику RCA «Діаграма риб'ячої кістки (Fishbone) або діаграму Ісікави (Ishikawa Diagram)». Дана методика всебічно розглянута в [27], а результати щодо виявлення причини несправності двигуна представлені у вигляді схеми Ісікава (рис. 2) для подальшого аналізу.

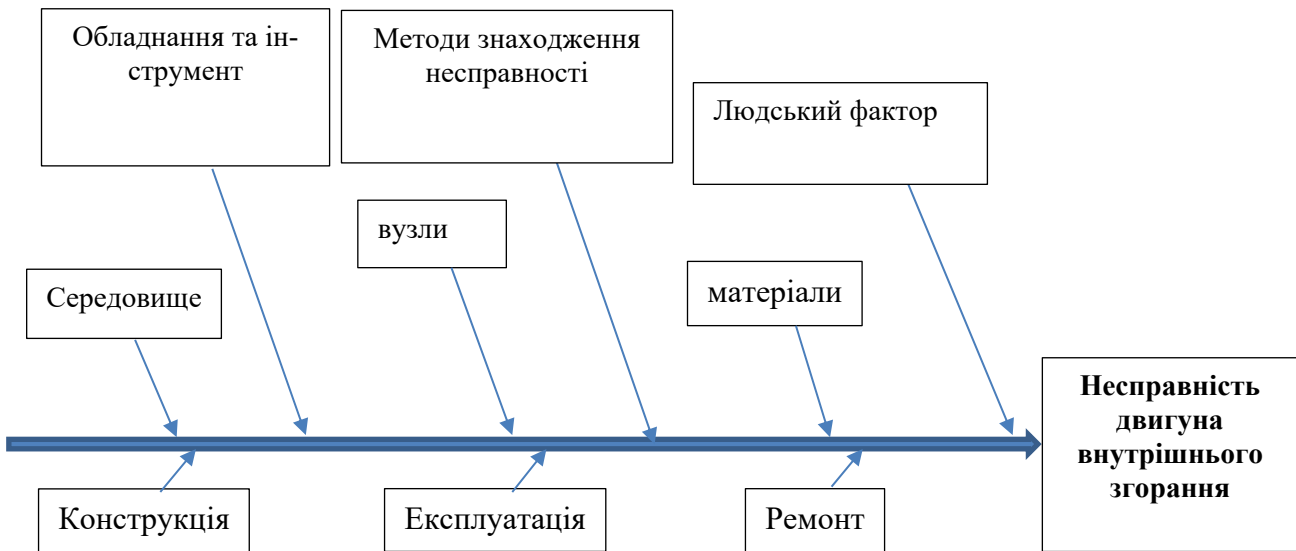
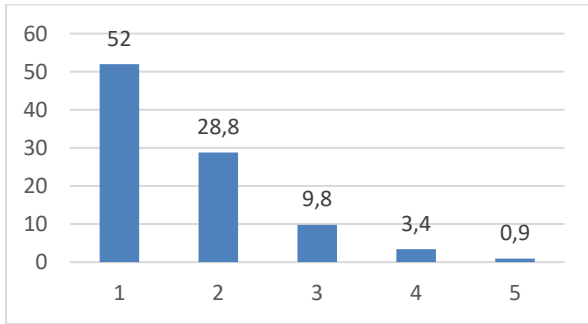


Рис. 2 – Діаграма Ісікави для оцінки несправностей та відмов силової установки тепловозу

У встановленні розподілу відмов та несправностей за системами, вузлами, агрегатами, видами (тріщини, знос, негерметичність) та класифікаційними групами проведений аналіз отриманих даних дозволив виділити колінчастий вал та шатунно-поршневу групу, як одні з очевидних причин аварії дизеля тепловоза. На

основі досліджень [27-28] були виявлені ненадійні агрегати шатунно-поршневої групи і найпоширеніші у них види несправностей. Для наочності результат аналізу представлений у вигляді діаграм Парето (рис. 3).



1 – руйнування шатунного або корінного підшипника; 2 – деформація та руйнування стрижня шатуна; 3 – руйнування клапана; 4 – руйнування поршневого пальця; 5 – інші руйнування

Рис. 3 – Діаграма Парето розподілу основних відмов шатунно-поршневої групи дизеля за видами.

Зважаючи на даний аналіз, подальші дослідження проводилися з корінними та шатунними підшипниками двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ). При цьому складно, а в деяких випадках і неможливо провести перевірочні розрахунки несправностей, пов'язані зі порушенням роботи ущільнень, зносом пар, що труться, руйнуванням деталей складної форми і т. п., тому що у цих випадках складно врахувати та визначити сукупність впливу різних факторів на механізм

виникнення несправності: вивчити та описати конструкцію об'єкта, скласти опис та топографію несправності, умови роботи та експлуатації, обставин, при яких виникла несправність, тим самим методи її виявлення, рівень діючих навантажень, скласти ескізи деталі.

При виконанні цього етапу роботи найбільшою складністю є вивчення величин діючих зовнішніх навантажень та експлуатаційних умов роботи підшипника. Спеціальна технічна література з питань надійності, міцності та довговічності подібних вузлів, рекомендаційні акти можуть надати відповіді на ці питання.

Дослідження по визначенню первопринчин виникнення несправності у тепловозному дизелі запропоновано проводити за блок-схемою, наведеною на рис. 4.

Як приклад, проведемо аналіз факторів, що можуть стати причиною виходу підшипників колінчастого валу дизеля з ладу.

Можливість провести випробування з різним впливом на них різних факторів дозволяє отримати об'єктивні експлуатаційні дані щодо виходу підшипників з ладу.

Враховуючи практичну неможливість цього, подальше дослідження проводиться, спираючись на викладки з [3] щодо проведення повноцінних польових випробувань дизельних двигунів, що випускаються в США.

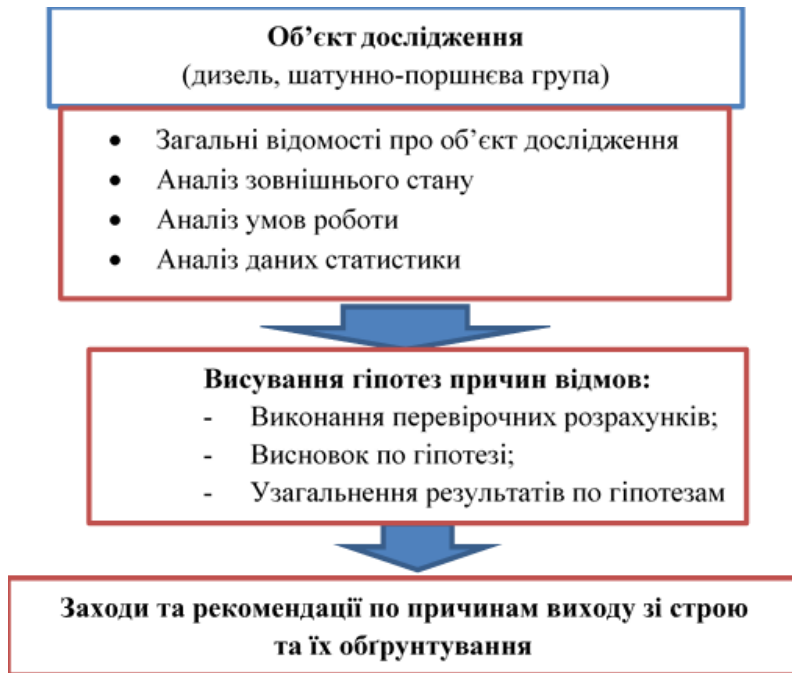


Рис. 4 – Порядок розслідування причин виникнення відмов дизеля та його систем

Як показав аналіз, підшипники дизельних двигунів можуть працювати 1,6 млн км і більше без заміни. При тому, щоб досягти такого терміну служби, потрібна комбінація кількох факторів:

- Підшипники необхідно правильно встановити.

- Колінчастий вал повинен бути виготовлений із правильними контурами шийок з відповідною якістю обробки поверхні.

- Необхідно виконувати належне технічне обслуговування за термінами заміни повітряного та масляного фільтрів.

- Необхідно дотримуватися рекомендацій виробника двигуна по технічному обслуговуванню щодо інтервалів заміни олії.

- Виконувати роботи по запобіганню потрапляння в моторне масло палива та охолоджуючої рідини.

- Використання олії відповідних стандарту якості API та градацій в'язкості SAE.

- Контролювати експлуатаційні умови двигуна для унеможливлення сильного навантаження, надмірних оборотів, перегріву двигуна необхідність.

Найбільший інтерес представляють стендові або експлуатаційні випробування підшипників двигуна. Особливий інтерес представляє не тільки знос підшипників, а і їх корозія під впливом різних факторів. Проведені стендові випробування підшипників дизеля Cummins на корозію (тест Mask T-9) та випробування підшипників на знос для бензинового двигуна (тест L-38) показали непогані результати. За період спостережень було зібрано багато інформації по виходу моторних підшипників із ладу. Але аналіз причин, які спричиняють відмову дизельного двигуна в експлуатації, показав наступне.

1. Витік охолоджуючої рідини може призвести до корозії підшипників. Кородують всі мідно-свинцеві підшипники (шатунні, корінні та підшипники опори валу), а також масляний радіатор.

2. Витік олова із покривного шару в основному відбувається при відносно малому пробігу (до 450 000 км). Дослідження показали, що два різних постачальника постачали дані двигуна підшипниками, і підшипники одного з них виходили з ладу частіше і в динамометричних, і в польових випробуваннях. Усі вони демонстрували видалення покривного шару.

3. Втрата підшипником покривного шару через незначні витоки охолоджувальної рідини.

4. Відділення мідно-свинцевого металу вкладиша від сталевій основі за рахунок порушення зчеплення в підшипнику.

5. Абразивний знос покривного шару. Це один з найпоширеніших механізмів аварії підшипників. При цьому цей тип аварій на сьогодні з успіхом усувається за умови застосування чудових систем фільтрації моторного масла. Проте, поломки підшипників, що обумовлені брудом, відбуваються в дуже потужних двигунах. Алюмінієво-оловяні покриття більш стійкі до зносу та втоми, але мають меншу поглинальну здатність для бруду. Від чистоти двигуна та очисної системи моторного масла більшою мірою залежить їх безаварійна робота.

Результати та їх обговорення

З використанням запропонованої методики було визначено першопричини виходу зі строю дизеля

тепловозу ЧМЕЗ при проведенні реостатних випробувань після виконаних ремонтних робіт.

На першому етапі була зібрана інформація про вихід зі строю дизеля K6S310DR. Спочатку була зібрана інформація про дизель K6S310DR тепловозу ЧМЕЗ та особливості проведення реостатних випробувань для нього. Потім зібрана інформація про момент виникнення відмови дизеля. Так, при проведенні реостатних випробувань тепловозу після виконаних ремонтних робіт на 6-тій позиції контролера машиніста виник сторонній звук. Після припинення випробувань та зупинки дизеля було виконано його часткове розбирання та огляд, який показав, що в одному випадку виникло підклинювання поршня (рис. 5), в іншому – обрив гільзи (рис. 6).



Рис. 5 – Заклинювання поршню в гільзі циліндру: а – поршень, який заклинило; б – сліди заклинювання на гільзі циліндру



Рис. 6 – Обрив гільзи циліндру

Аналіз проведених ремонтних робіт по дизелю K6S310DR на тепловозі ЧМЕЗ показав, що було проведено заміну трьох циліндрових гільз (перший, третій та п'ятий циліндри) на нові. Заміна шатунно-поршневої групи не проводилась.

Після цього було проведено огляд дизеля та заміри поршня та циліндрової гільзи першого циліндру (рис. 7).



Рис. 7 – Обмір параметрів циліндро-поршневої групи

При огляді дизеля були виявлені пошкодження бокової площини блока циліндрів. На бічній поверхні поршня та внутрішній поверхні гільзи виявлено сліди «прихвату» поршня до гільзи та наволочення алюмінію. Проведені вимірювання поршня підтвердили відповідність його геометричних параметрів встановленим ЦТ-0187 «Правилами технічного обслуговування і поточних ремонтів тепловозів серії ЧМЕЗ, ЧМЕЗТ, ЧМЕЗЕ» [29]. Вимірювання циліндрової гільзи виявили овальність нижнього поясу гільзи. Сліди підклинювання поршня в гільзі у вигляді смуг алюмінієвого шару розташовані рівномірно по всій поверхні гільзи з характерними потовщенням на рівні поясу гумових ущільнюючих кілець.

В результаті перевірки перпендикулярності площини посадочних буртів до осей циліндричних розточень під циліндрову втулку першого циліндру вимірювання зазорів між встановленою новою гільзою та нижньою посадочною поверхнею виявлена нерівномірність радіального зазору, який складає від 0,04 мм до 0,14 мм. Отримана величина свідчить про неспіввідповідність посадочних місць під циліндрову втулку на 0,1 мм (повинна бути не більше 0,05 мм на довжині 480 мм згідно ЦТ-0124 «Правила капітальних ремонтів КР-1, КР-2 тепловозів серії ЧМЕЗ, ЧМЕЗТ, ЧМЕЗЕ» [30]).

На другому етапі за результатами проведеного дослідження була зроблена попередня гіпотеза, що причиною виходу зі строю циліндро-поршневої групи дизеля К6S310DR («прихвату» поршня до гільзи) є порушення геометрії блоку дизеля в наслідок замерзання охолоджуючої води в дизелі.

На наступному етапі була виконана повна перевірка геометрії блоку циліндрів, яка показала невідповідність отриманих замірів Правилам [30]. Відповідно, цих правил, блок дизеля не підлягає ремонту та потребує заміни на справний.

Висновки

В результаті виконаних робіт та аналізу розробленої діаграми Ісікави встановлено, що первопричиною виходу зі строю циліндро-поршневої групи дизеля

К6S310DR є порушення геометрії блоку дизеля. А первопричиною виходу дизеля тепловозу в цілому являється порушення правил експлуатації та ремонту тепловозу в зимовий період, яке проявилось в замерзанні охолоджуючої води в дизелі.

В основу цієї роботи покладено практичні дослідження по визначенню причин виникнення несправності тепловозного двигуна, що має основний вплив на рівень надійності тепловоза. Зроблено аналіз причин виходу з ладу силової установки тепловоза.

Виконаний комплексний аналіз розподілу відмов та несправностей за системами, вузлами, агрегатами, типами (тріщини, знос, витоки) та класифікаційними групами з використанням діаграм Ісікави та Парето.

Запропоновано блок-схему дослідження причин несправності в колінчасто-поршневій дизельній групі та дизелю в цілому.

На основі наявних даних про реостатні випробування дизеля К6S310DR, а також висновків технічної експертизи щодо визначення причин виходу з ладу циліндро-поршневої групи дизеля тепловозу ЧМЕ-3 показано, що первопричиною виходу дизеля зі строю являється порушення правила експлуатації та ремонту тепловозу в холодний період року.

Отримані результати надають змогу в подальшому раціонально проводити експертизи по визначенню причин виходу зі строю силових агрегатів тепловозів. Це дозволить підвищити надійність та ефективність використання дизелів тепловозів в різних умовах їх експлуатації.

Перелік використаних джерел

- [1] Dynamics and strength of circular tube open wagons with aluminum foam filled center sills / O. Fomin et al. *Materials*. 2021. Vol. 14(8). Article 1915. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14081915>.
- [2] Calculation of Loads on Carrying Structures of Articulated Circular-Tube Wagons Equipped with New Draft Gear Concepts / Lovska A., Fomin O., Kučera P., Pištěk V. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10(21). Article 7441. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10217441>.
- [3] Adapting the load-bearing structure of a gondola car for transporting high-temperature cargoes / O. Fomin et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 2(7(116)). Pp. 6–13. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253770>.
- [4] Fomin O., Lovska A. Determination of dynamic loading of bearing structures of freight wagons with actual dimensions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 2(7(110)). Pp. 6–14. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.220534>.
- [5] Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam / O. Fomin et al. *Materials*. 2021. Vol. 14(12). Article 3420. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14123420>.

- [6] Software analysis for modeling the parameters of shunting locomotives chassis / Falendysh A., Volodarets M., Hatchenko V., Vykhopen I. *MATEC Web of Conferences*. 2017. Vol. 116. Article 03003. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711603003>.
- [7] Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages / Vatulia G., Falendysh A., Orel Ye., Pavliuchenkov M. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 187. Pp. 301-307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.379>.
- [8] Investigation of Ride Properties of a Rail Vehicle with Whell Defects / Dižo J., Blatnický M., Steišūnas S., Falendysh A. *Transport Means: Proceedings of the International Conference, Trakai, Lithuania, 3–5 October 2018*. Pp. 104-109.
- [9] Fundamentals of modelling the multibody system of a wagon with a deformable component / J. Dižo et al. *Transport Means: Proceedings of the International Conference, Palanga, Lithuania, 02-04 October 2019*, pp. 738-743.
- [10] Modification and analyses of structural properties of a goods wagon bogie frame / Dizo J., Blatnický M., Harušinec J., Falendysh A. *DIAGNOSTYKA*. 2019. Vol. 20, № 1. Pp. 41-48. DOI: <https://doi.org/10.29354/diag/99853>.
- [11] Blatnický M., Dizo J., Falendysh A. Design of a storage mechanism designed for a railway vehicles producer. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7(4.3). Pp. 643-649. DOI: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.20723>.
- [12] Calculation of Basic Indicators of Running Safety on the Example of a Freight Wagon with the y25 Bogie / Dižo J., Blatnický M., Molnár D., Falendysh A. *COMMUNICATIONS*. 2022/3. Vol. 24(3). Pp. B259-B266. DOI: <https://doi.org/10.26552/com.C.2022.3.B259-B266>.
- [13] Хрульова А. С., Кочуренка Ю. В. Методика оцінки технічного стану дизельних двигунів локомотивів за параметрами робочого процесу. *Вісник НТУ «ХП»*. Серія: Транспортне машинобудування. 2017. № 14(1236). С. 52–60.
- [14] Mc Geehan J. A., Ryason P. Million Mile Bearings: Lessons From Diesel Engine Bearing Failure Analysis. *SAE Technical Paper*. 1999. Vol. 108. Pp. 2068-2089. DOI: <https://doi.org/10.4271/1999-01-3576>.
- [15] Проектування, випробовування та експлуатація тягового рухомого складу залізниць. Частина 1. Удосконалення методів та моделей визначення техніко-економічних показників гібридних маневрових тепловозів: кол. моногр. / А. П. Фалендиш та ін. Львів: СПОЛОМ, 2024. 240 с.
- [16] Improvement of diesel injector nozzle test techniques // D. Aulinet al. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 985. Article 012031. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012031>.
- [17] Розрахунковий комплекс оцінки ефективності використання ресурсозберігаючих технологій очищення систем дизеля та тепловоза / Аулін Д. О., Каграманян А. О., Фалендиш А. П., Рудковський О. В. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2017. № 6. С. 9–15. DOI: <https://doi.org/10.18664/iksz.v0i6.119917>.
- [18] Sumtsov A., Falendysh A., Kletska O. Thermal imaging diagnostics locomotives. *MATEC Web Conferences. 17th International Conference Diagnostics of Machines and Vehicles, Bydgoszcz, Poland, 25-26 September 2018*. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818201004>.
- [19] Сокол Э. Н. Железнодорожно-транспортное происшествие и его механизм (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики). Монография. Львів : ПАІС, 2011. 376 с.
- [20] Болжеларский Я. В. История, тенденции и перспективы судебных железнодорожно-транспортных исследований в Украине. Криминалистика и судебная экспертология. *Наука, обучение, практика* : сб. материалов Межд. научно-практической конференции, Паланга, Литва, 14-16 сентября 2017. Часть 2. С. 371–389.
- [21] Експертиза залізнично-транспортних пригод: навчальний посібник / М. І. Березовий та ін. 2023. 158 с. DOI: <https://doi.org/10.15802/978-617-8314-48-4>.
- [22] Бобирь Д. В., Болжеларський Я. В. Установлення технічного стану рухомого складу залізниць у судовій залізнично-транспортній експертизі. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*. 2010. Вип. 10. С. 484-491.
- [23] Методика розрахунку зупиночного шляху поїзда у судовій залізнично-транспортній експертизі. Реєстраційний код 10.0.08.2014.
- [24] Directive (EU) 2016/798 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 on railway safety. 2016. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2016/798/oj> (дата звернення: 11.10.2025).
- [25] ДСТУ EN 62740:2022. Аналіз першопричини (RCA) (EN 62740:2015, IDT; IEC 62740:2015, IDT). [Чинний від 2023-12-31]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 38 с.
- [26] ДСТУ EN IEC 31010:2022. Керування ризиками. Методи оцінювання ризику (EN IEC 31010:2019, IDT; IEC 31010:2019, IDT). [На заміну ДСТУ IEC/ISO 31010:2013; чинний від 2023-12-31]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 196 с.
- [27] Двигуни внутрішнього згоряння : підручник : у 6 т. Т. 1 : Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин / за ред. А. П. Марченка, А. Ф. Шеховцова. Харків : НТУ «ХП», 2004. 464 с.
- [28] Хрулев А. Э., Кочуренко Ю. В. Методика определения причины неисправности ДВС при тяжелых эксплуатационных повреждениях. *Двигатели внутреннего сгорания*. 2017. №1. С. 52-60. DOI: <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2017.1.10>.
- [29] ЦТ-0187. Правила технічного обслуговування і поточних ремонтів тепловозів серії ЧМЕЗ, ЧМЕЗТ,

ЧМЕЗЕ : Наказ № 367-Ц від 24.06.2009. Київ, 2009. 380 с.

[30] ЦТ-0124. Правила капітальних ремонтів КР-1, КР-2 тепловозів серії ЧМЕЗ, ЧМЕЗТ, ЧМЕЗЕ : Наказ № 691-ЦЗ від 13.12.2005. Київ, 2005. 231 с.

APPROACHES TO DETECTION OF DIESEL ENGINE FAILURES WITH LIMITED OUTPUT DATA

Falendysh A.P.	<i>D.Sc. (Engineering), professor, Lviv Polytechnic National University, Lviv, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3602-7945, e-mail: faphiit@gmail.com;</i>
Tereshchak Yi.V.	<i>PhD (Engineering), associate professor, Lviv Polytechnic National University, Lviv, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2603-3535, e-mail: Yurii.V.Tereshchak@lpnu.ua;</i>
Ivanchenko D.A.	<i>PhD (Engineering), associate professor, SHEI «Priazovskyi state technical university», Dnipro, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3024-3930, e-mail: ivanchenko_d_a@pstu.edu;</i>
Dzhus O.V.	<i>head of laboratory, Lviv Research Institute of Forensic Science of the Ministry of Justice of Ukraine, Lviv, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7577-4049, e-mail: djusov22@gmail.com;</i>
Hrytsyshyn P.M.	<i>leading researcher, Lviv Research Institute of Forensic Science of the Ministry of Justice of Ukraine, Lviv, ORCID: https://orcid.org/0009-0000-5909-947X, e-mail: p.hrytsyshyn@gmail.com</i>

Determining the cause of inoperability and failures of rolling stock after scheduled repairs is a difficult task. This is explained by the variety of factors that cause them and the complexity of the rolling stock itself. The work is based on practical research to determine the causes of diesel locomotive engine malfunctions. The work proposes approaches to detecting diesel locomotive diesel engine malfunctions in the presence of various input data limitations. The causes of diesel engine failures are determined, which include the design features of them and rolling stock of different types, the features of malfunctions and breakdowns for specific series and models of units and assemblies. The main causes of damage to diesel locomotive engines are presented and analyzed, which can be determined with high reliability if a simple method is used in which all known signs of damage are used. These damage to diesel power plants are divided into main, confirming and clarifying. A procedure for searching for and eliminating a diesel locomotive diesel engine malfunction is proposed. The developed procedure for investigating the causes of diesel engine failures and its systems includes the stages of defining and describing the object of study, putting forward hypotheses about the causes of failures and their verification, and developing measures and recommendations for the reasons for the outage and their justification. On a specific example, the presence and importance of these signs were analyzed when investigating the causes of the failure of a diesel engine of a shunting locomotive after it underwent scheduled repairs at a third-party contractor. The analysis was performed using Ishikawa and Pareto diagrams. As the main hypothesis of the root cause of the failure of the connecting rod and piston group of a diesel engine, it was proposed to recognize a violation of the geometry of the cylinder block. The study made it possible to choose a version of the cause of the malfunction, which is then also quickly confirmed and clarified by other signs - confirming and clarifying.

Keywords: rolling stock; locomotive power plant; failure; serviceable condition; repair; operation of diesel locomotives.

References

- | | |
|--|---|
| <p>[1] O. Fomin, M. Gorbunov, A. Lovska, J. Gerlici and K. Kravchenko, “Dynamics and strength of circular tube open wagons with aluminum foam filled center sills,” <i>Materials</i>, vol. 14(8). article 1915, 2021. doi: 10.3390/ma14081915.</p> <p>[2] A. Lovska, O. Fomin, P. Kučera, and V. Píštěk, “Calculation of Loads on Carrying Structures of Articulated Circular-Tube Wagons Equipped with New Draft Gear Concepts,” <i>Applied Sciences</i>, vol. 10(21), article 7441, 2020. doi: 10.3390/app10217441.</p> <p>[3] O. Fomin, A. Lovska, M. Khara, I. Nikolaienko, A. Lytyvenko, and S. Sova, “Adapting the load-</p> | <p>bearing structure of a gondola car for transporting high-temperature cargoes,” <i>Eastern-European Journal of Enterprise Technologies</i>, vol. 2(7(116)), pp. 6–13, 2022. doi: 10.15587/1729-4061.2022.253770.</p> <p>[4] O. Fomin, and A. Lovska, “Determination of dynamic loading of bearing structures of freight wagons with actual dimensions,” <i>Eastern-European Journal of Enterprise Technologies</i>, vol. 2(7(110)), pp. 6–14, 2021. doi: 10.15587/1729-4061.2021.220534.</p> <p>[5] O. Fomin, M. Gorbunov, J. Gerlici, G. Vatulia, A. Lovska, and K. Kravchenko, “Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls</p> |
|--|---|

- Filled with Aluminium Foam,” *Materials*, vol. 14(12), article 3420, 2021. doi: **10.3390/ma14123420**.
- [6] A. Falendysh, M. Volodarets, V. Hachenko, and I. Vykhopen, “Software analysis for modeling the parameters of shunting locomotives chassis,” *MATEC Web of Conferences*, vol. 116, article 03003, 2017. doi: **10.1051/mateconf/201711603003**.
- [7] G. Vatulia, A. Falendysh, Ye. Orel, and M. Pavliuchenkov, “Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages,” *Procedia Engineering*, vol. 187, pp. 301-307, 2017. doi: **10.1016/j.proeng.2017.04.379**.
- [8] J. Dižo, M. Blatnický, S. Steišūnas, and A. Falendysh, “Inverstigation of Ride Properties of a Rail Vehicle with Whell Defeects,” in *Proc. of the Int. Conf. «Transport Means»*, Trakai, Lithuania, Oct. 3-5, 2018, pp. 104-109.
- [9] J. Dižo, M. Blatnický, J. Harušinec, A. Falendysh, R. Melnik, and M. Kostrzewski, “Fundamentals of modelling the multibody system of a wagon with a deformable component,” in *Proc. of the Int. Conf. «Transport Means»*, Palanga, Lithuania, Oct. 02-04, 2019, pp. 738-743.
- [10] J. Dizo, M. Blatnický, J. Harušinec, and A. Falendysh, “Modification and analyses of structural properties of a goods wagon bogie frame,” *DIAGNOSTYKA*, vol. 20, № 1, pp. 41-48, 2019. doi: **10.29354/diag/99853**.
- [11] M. Blatnický, J. Dizo, and A. Falendysh, “Desing of a storage mechanism designed for a railway vehicles producer,” *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 7(4.3), pp. 643-649, 2018. doi: **10.14419/ijet.v7i4.3.20723**.
- [12] J. Dižo, M. Blatnický, D. Molnár, and A. Falendysh, “Calculation of Basic Indicators of Running Safety on the Example of a Freight Wagon with the y25 Bogie,” *COMMUNICATIONS*, vol. 24(3), pp. B259-B266, 2022. doi: **10.26552/com.C.2022.3.B259-B266**.
- [13] A. Ye. Khrulova, and Yu. V. Kochurenka, “Metodyka otsinky tekhnichnogo stanu dyzelnykh dvyhuniv lokomotyviv za parametry robochoho protsesu” [“Methodology for assessing the technical condition of diesel locomotive engines based on work process parameters”], *Visnyk NTU «KhPI». Serii: Transportne mashynobuduvannia – Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Transport Engineering*, № 14(1236), pp. 52-60, 2017. (Ukr.)
- [14] J. A. Mc Geehan, and P. Ryason, “Million Mile Bearings: Lessons From Diesel Engine Bearing Failure Analysis,” *SAE Technical Paper*, vol. 108, pp. 2068-2089, 1999. doi: **10.4271/1999-01-3576**.
- [15] A. P. Falendysh, M. V. Volodarets, O. V. Kletska, D. A. Ivanchenko, and V. O. Karashchuk, *Proektuvannia, vyprovovuvannia ta ekspluatatsiia tiahovoho rukhomoho skladu zaliznyts. Chastyna 1. Udoskonalennia metodiv ta modelei vyznachennia tekhniko-ekonomichnykh pokaznykiv hibrydnykh manevrovnykh teplovoziv: kol. monohr.* [Design, testing and operation of railway traction rolling stock. Part 1. Improvement of methods and models for determining technical and economic indicators of hybrid shunting diesel locomotives: collective monograph], A. P. Falendysh, Ed., Lviv, Ukraine: SPOLOM, 2024. (Ukr.)
- [16] D. Aulin, O. Klymenko, A. Falendysh, O. Kletska and J. Dizo, “Improvement of diesel injector nozzle test techniques,” *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 985, article 012031, 2020. doi: **10.1088/1757-899X/985/1/012031**.
- [17] D. Aulin, A. A. Kagramanian, A. P. Falendysh, and O. V. Rudkovskiy, “RoZRakhunkovyi kompleks otsinky efektyvnosti vykorystannia resursozberhaiuchykh tekhnolohii ochyshchennia system dyzelia ta teplovoza” [“Estimated complex for assessing the efficiency of using resource-saving technologies for cleaning diesel and diesel locomotive systems”], *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti – Information and control systems at railway transport*, № 6, pp. 9-15, 2017. doi: **10.18664/ikszt.v0i6.119917**. (Ukr.)
- [18] A. Sumtsov, A. Falendysh, and O. Kletska, “Thermal imaging diagnostics locomotives,” in *Proc. of the 17th International Conference Diagnostics of Machines and Vehicles MATEC Web Conferences.*, Bydgoszcz, Poland, Sept. 25-26, 2018. doi: **10.1051/mateconf/201818201004**. (Ukr.)
- [19] E. N. Sokol, *Zheleznodorozhno-transportnoe proyshshestvye y eho mekhanizm (Sudebnaia ekspertyza. Elementi teoryy y praktyky). Monohrafiya* [Railway Accident and Its Mechanism (Forensic Examination. Elements of Theory and Practice). Monograph]. Lviv, Ukraine: PAIS, 2011. (Rus.)
- [20] Ya. V. Bolzhelarskiy, “Ystoriya, tendentsyy y perspektyvi sudebnikh zheleznodorozhno-transportnykh yssledovanyi v Ukrainy. Krymynalystyka y sudebnaia ekspertolohiya” [“History, Trends, and Prospects of Forensic Railway Investigations in Ukraine. Forensic Science and Forensic Expertise”], in *Proc. of the Int. Sci.-Pract. Conf. «Science, education, practice»*, Palanga, Lithuania, Sept. 14-16, 2017, vol. 2, pp. 371-389. (Rus.)
- [21] M. I. Berezovyi, D. M. Kozachenko, Ya. V. Bolzhelarskiy, T. V. Bolvanovska, and A. R. Milianych, *Ekspertyza zaliznychno-transportnykh pryhod: navchalnyi posibnyk* [Railway accident examination: training manual]. 2023. doi: **10.15802/978-617-8314-48-4**. (Ukr.)
- [22] D. V. Bobyr, and Ya. V. Bolzhelarskiy, “Ustanovlennia tekhnichnogo stanu rukhomoho skladu zaliznyts u sudovii zaliznychno-transportnii ekspertyzi” [“Determining the technical condition of railway rolling stock in forensic railway transport examination”], *Teoriia ta praktyka sudovoi ekspertyzy i krymynalystyky – Theory and practice of forensics and criminalistics*, vol. 10, pp. 484-491, 2010.
- [23] *Metodyka rozrakhunku zupynochnoho shliakhu poizda u sudovii zaliznychno-transportnii ekspertyzi*

- [Methodology for calculating the stopping distance of a train in forensic railway transport expertise]. Registration code 10.0.08.2014.
- [24] Directive (EU) 2016/798 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 on railway safety, May 11, 2016. [Online]. Available: <http://data.europa.eu/eli/dir/2016/798/oj>. Accessed: Oct. 11, 2025.
- [25] Analiz pershoprychyny (RCA) [Root Cause Analysis (RCA)], DSTU EN 62740:2022 (EN 62740:2015, IDT; IEC 62740:2015, IDT), State Enterprise «UkrNDNC», 2022.
- [26] Keruvannya ryzykamy. Metody otsiniuvannya ryzyku [Risk management. Risk assessment methods], DSTU EN IEC 31010:2022 (EN IEC 31010:2019, IDT; IEC 31010:2019, IDT), State Enterprise «UkrNDNC», 2022.
- [27] “Rozrobka konstruktzii forsovanykh dvyhuniv nazemnykh transportnykh mashyn” [“Development of designs of forced engines of land transport vehicles”], in *Dvyhuny vnutrishnoho zghoriannia : pidruchnyk* [Internal combustion engines: textbook], A. P. Marchenko, A. F. Shekhovtsov, Eds., Kharkiv, Ukraine: NTU «KhPI» Publ., 2004. (Ukr.)
- [28] A. E. Khrulev, and Yu. V. Kochurenko, “Metodyka opredeleniya prychny neyspravnosti DVS pry tiazhelikh ekspluatatsyonnikh povrezhdeniyakh” [“Method for determining the cause of the ice failure for severe damages in operation”], *Dvyhately vnutrenneho shoranyia – Internal Combustion Engines*, № 1, pp. 52-60, 2017. doi: **10.20998/0419-8719.2017.1.10**.
- [29] *Pravyla tekhnichnoho obsluhovuvannya i potochnykh remontiv teplovoziv serii ChME3, ChME3T, ChME3E* [Rules for technical maintenance and current repairs of diesel locomotives of the ChME3, ChME3T, ChME3E series], Order of the Ministry of Transport and Communications of Ukraine No. 367-Ts, June 24, 2009. (Ukr.)
- [30] *Pravyla kapitalnykh remontiv KR-1, KR-2 teplovoziv serii ChME3, ChME3T, ChME3E* [Rules for capital repairs KR-1, KR-2 of diesel locomotives of the ChME3, ChME3T, ChME3E series], Order of Ukrzaliznytsia No. 691-TsZ, Dec. 13, 2005. (Ukr.)

Стаття надійшла 01.03.2026

Стаття прийнята 20.03.2026

Стаття опублікована 26.03.2026

Цитуйте цю статтю як: Підходи до виявлення несправності тепловозних дизелів при обмеженні вихідних даних / А. П. Фалендиш та ін. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки.* 2026. Вип. 53, том 2. С. 209–218. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.53.2.2026.359958>.