

Для індивідуальних передплатників - 74126
Для підприємств і організацій - 40294



ISSN 2311-4061



ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ У КРАЇНІ

Науково-практичний журнал

RAILWAY TRANSPORT OF UKRAINE

THE SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL

3/2021

<p><i>The conceptual thrust of scientific and technical publications in this journal is basis on the priorities of the JSC “Ukrzaliznytsia” activity, of the Scientific and Technical Councils of the Company and the branch “SEI” of SC “Ukrzaliznytsia” decisions.</i></p> <p><i>Journal publications main directions:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • rail way transport reform; • transport systems and logistics; • technical politics and scientific and technical support; • train operation and safety; • rolling stock and infrastructural recourses; • railway automatics, communication and informatisation; • resource efficiency and ecology; • railway operation practical experience. <p><i>The journal “Railway transport of Ukraine” is indexed in Ukrainika Naukova, RSCI, Google Scholar.</i></p> <p><i>Responsibility for the accuracy of facts, quotations, proper names and other information is on the authors of publications and advertisers.</i></p>	<p>Journal founder - UKRZALIZNYTSIA Publisher - The Rail Transport Scientific and Engineering Institute branch of SC "Ukrzaliznytsia" (branch "SEI") Published since May 1996</p> <p>Chief Editor Sergey Myamlin Deputy Chief Editor Sergii Gryshchenko Materials reprinting - only with the permission of the journal editorial staff. Materials are printed by the original language: Ukrainian, Russian, and English. Articles are reviewed. The editors not always share the opinion of the author.</p>	<div>  <div> <div>«Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» - філія АТ «Укрзалізниця»</div> </div> </div> <div> <ul style="list-style-type: none"> • Наукові дослідження з підтримки і розвитку залізничного транспортного комплексу та його складових • Контроль технічного стану тягового та моторвагонного рухомого складу, пасажирських і вантажних вагонів та іншого спеціального рухомого складу методами неруйнівного контролю • Атестація лабораторій неруйнівного контролю вагонного господарства • Інспекторський та приймальний контроль продукції, що постачається для потреб АТ «Укрзалізниця» • Послуги інспекційного органу з інспектування та атестації підприємств щодо експлуатації, обслуговування, ремонту складових частин, деталей, вузлів рухомого складу • Дослідження життєвих циклів залізничного рухомого складу та розрахунків їх вартості • Послуги з дослідження експлуатаційної надійності залізничної техніки та супроводу її впровадження • Комплексні вимірювання фізичних величин, визначення показників безпеки руху, ходових якостей, комфортності та плавності ходу рухомого складу, його міцності, з визначенням статичних і динамічних напружень • Проведення комплексних інженерних розрахунків з оцінки напружено-деформованого стану металевих конструкцій: статичний та динамічний розрахунок міцності, модальний аналіз власних форм і частот коливань, розрахунок втомної довговічності конструкцій • Проведення вимірювань великогабаритних конструкцій з отриманням просторових координат конструкцій • Надання послуг акредитованого на відповідність ДСТУ ISO/IEC 17025 Науково-впроваджувального центру філії згідно сфери акредитації • Лабораторні дослідження якості (хімічний склад, структура, властивості) металів і сплавів, деталей, вузлів рухомого складу та елементів інфраструктури • Здійснення випробувань та вимірювань відповідно до галузі акредитації з метою перевірки якості нафтопродуктів, вугілля, вугільних вставок, лакофарбових матеріалів, технологічних вод,, електролітів, піску, чавунів та сталей, промислових стічних вод на відповідність нормативній документації, проведення досліджень складу та властивостей повітря робочої зони, важкості та напруженості праці • Вимірювання геометричних параметрів рухомого складу та його складових частин • Експертиза та розробка нормативно-технічної документації з експлуатації та організації ремонтів тягового та моторвагонного рухомого складу, пасажирських, вантажних та інших вагонів • Експертиза та розробка нормативної, технічної та конструкторсько-технологічної документації для верхньої будови колії, штучних споруд, експлуатації та ремонту колійних машин і механізмів, залізничної автоматики, систем телекомунікації та енергетики • Модернізація та ремонт несучих конструкцій тягового та моторвагонного рухомого складу • Проектування та виготовлення нестандартного обладнання для ремонту рухомого складу • Організація і проведення міжлабораторних порівнянь результатів вимірювань та випробувань • Послуги архіву залізничної нормативно-конструкторської документації • Послуги поліграфічної діяльності </div>
<p>INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL</p> <p>Vyacheslav Petrenko, director of the branch "SEI" of SC “Ukrzaliznytsia”, Ukraine (chairman of the council) Konstantin Bochkov, Dr.Tech.Sc., Belarusian State University Transport, Belarus Gintautas Bureika, Dr.Tech.Sc., Vilnius Technical University, Lithuania Andrzej Zurkowski, PhD.Tech., Instytut Kolejnictwa, Poland</p> <p>Mykhailo Kelrikh, Dr.Tech.Sc., branch "SEI", SC "Ukrzaliznytsia", Ukraine Viktor Leonets, Dr.Tech.Sc., Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine Mykhailo Makarenko, Dr.Ec.Sc., Ukraine Sergey Myamlin, Dr.Tech.Sc., SC "Ukrzaliznytsia", Ukraine Oleksandr Fedorenko, Director of the Department of State Policy in the field of Rail Transport of the Ministry of Infrastructure of Ukraine</p> <p>EDITORIAL BOARD</p> <p>Gleb Vatulya, Dr.Tech.Sc., Ukrainian State University of Railway Transport, Ukraine Sergii Grishchenko, PhD. Tech., branch "SEI", SC "Ukrzaliznytsia", Ukraine Eduard Danilenko, Dr.Tech.Sc., State University of Infrastructure and Technology, Ukraine Valery Domanskiy, Dr.Tech.Sc., NTU "Kharkov National University of Municipal Economy", Ukraine Yuriy Dyomin, Dr.Tech.Sc, East Ukrainian National University, Ukraine István Zobory, Dr.Tech.Sc , Budapest University of Technology and Economics, Hungary</p> <p>Jan Kalivoda, Dr.Tech.Sc., Czech Technical University in Prague, Czech Republic Sergii Kara, PhD. Tech., branch "SEI", SC "Ukrzaliznytsia", Ukraine Viktor Myronenko, Dr.Tech.Sc , State University of Infrastructure and Technology, Ukraine Sergii Myamlin, Dr.Tech.Sc., SC "Ukrzaliznytsia" , Ukraine Arthur Putsiata, Dr.Tech.Sc., State Technical University of Gomel, Belarus Victor Sychenko, Dr.Tech.Sc., branch "SEI", SC "Ukrzaliznytsia", Ukraine Anatoliy Falendish, Dr.Tech.Sc., Pryazovskyi State Technical University, Ukraine</p>		
<p>International Standard Serial Number ISSN 2311-4061. Indexes in the Catalog of Ukrainian Publications "Press by mail": for individual persons - 74126; for legal persons – 40294. 4 journals per year.</p> <p>The address of the editorial office: The "RT SEI" branch of SC "Ukrzaliznytsia", 39, Ivan Fedorova Str., Kyiv, 03038, Ukraine. Tel.: +38 (044) 309-68-93; +38 (044) 465-38-11; факс: +38 (044) 528-93-01. E-mail: ztu1520mm@gmail.com. Web: http://uz.gov.ua/about/activity/science/ndkti_uz/ztu/ Drafting group: Alexander Bocharov, Sergii Gryshchenko, Kateryna Dukhnenko, Alla Myrgorodska,</p> <p>© Branch “Rail Transport Scientific and Engineering Institute” of joint-stock company “Ukrainian railway”</p>		<div>  <div> <div>Наші контакти:</div> <div>вул.І.Федорова,39, м.Київ, 03038, Україна</div> <div>Тел.: 38 (044) 465 38 10</div> <div>Факс: 38 (044) 528 93 01</div> <div>Е mail: ndkti@lotus.uz.gov.ua</div> <div>www.uz.gov.ua</div> </div> </div>

**Засновник -
УКРЗАЛІЗНИЦЯ**
**Видавець - "Науково-дослідний
та конструкторсько-
технологічний інститут
залізничного транспорту"**
(Філія "НДКТИ"
АТ "Укрзалізниця")

Видається з травня 1996 р.
Реєстраційне свідоцтво КВ № 1429
від 10.05.95.

Головний редактор

Мямлін С. В.

Заступник головного редактора

Грищенко С. Г.

Передрук матеріалів - тільки з дозволу редакції журналу. Матеріали друкуються мовою оригіналу: українською, російською, англійською. Статті рецензуються. Відповідальність за достовірність фактів, цитат, власних імен та інших відомостей несуть автори публікацій та рекламодавці. Індеси журналу в Каталозі передплатних видань України: для індивідуальних передплатників - 74126, для підприємств та організацій - 40294. На рік видається 4 номери журналу. Ціна договірна. Формат 60 x 90/8. Папір крейдований. Друк офсетний. Установчий тираж: 200 прим. Журнал надруковано у типографії ПрАТ «Газета «Приазовський робочий», м. Маріуполь, Донецька обл., пр. Мира, 19

Адреса редакції:

Україна, 03038, Київ,
вул. Федорова, 39, філія «НДКТИ»,
редакція ЗТУ.
Тел.: +38 (044) 309-68-93;
+38 (044) 465-38-11.
Факс: +38 (044) 528-93-01.
E-mail: ztu1520mm@gmail.com;
https://www.uz.gov.ua/about/activit_y/science/ndkti_uz/ztu/.
Цифровий ідентифікатор DOI
присвоєно виданню реєстраційним
агентством Crossref.

Над випуском працювали:

Бочаров О. П., Грищенко С. Г.,
Духненко К. С., Миргородська А. І.



**ШАНОВНІ ЗАЛІЗНИЧНИКИ,
ЧИТАЧІ ЖУРНАЛУ «ЗАЛІЗНИЧНИЙ
ТРАНСПОРТ УКРАЇНИ»!**

Залізнична галузь, як відомо, є однією з бюджетоутворюючих галузей економіки України, від успішної діяльності якої залежить розвиток не тільки промисловості, а й аграрної сфери та багатьох інших. Тому визначальна роль залізничного транспорту набуває

все більшого значення, а це потребує суттєвого технологічного переозброєння всіх без виключення господарств залізничного транспорту.

Моральний та фізичний знос основних технічних засобів рухомого складу та залізничної інфраструктури свідчить про значну актуальність науково-технічного супроводу розвитку залізничного транспорту, як у напрямку вантажних, так і пасажирських перевезень. Вчені та залізничники активно приймають участь у формуванні та реалізації галузевих програм розвитку. Результати виконання відповідних науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт за напрямком технічного та технологічного розвитку залізниць мають знаходити місце на сторінках профільного залізничного журналу.

Редакційна колегія журналу має сподівання, що прогресивні науково-технічні досягнення з удосконалення техніки та впровадження інноваційних технологій залізничного транспорту і у подальшому будуть головними темами для обговорення на сторінках галузевого науково-практичного видання.

*З повагою,
від редакційної колегії журналу,
Сергій Мямлін -
головний редактор журналу
«Залізничний транспорт України»,
доктор технічних наук, професор,
Лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки,
Заслужений діяч науки і
техніки України*

Концептуальна спрямованість науково-технічних публікацій у журналі формується на підставі пріоритетів діяльності АТ «Укрзалізниця», рішень Науково-технічних рад Товариства та філії "НДКТІ" АТ "Укрзалізниця". Основні напрямки публікацій журналу, це: реформування залізничного транспорту; транспортні системи і логістика; технічна політика та науково-технічне забезпечення; організація і безпека руху поїздів; рухомий склад та засоби інфраструктури; залізнична автоматика, зв'язок і інформатизація; ресурсозбереження та екологія; практичний досвід експлуатації залізниць тощо. Журнал «Залізничний транспорт України» внесено до Переліку наукових фахових видань України, наказ МОНУ № 975 від 11.07.2019, та включено до української загальнодержавної реферативної бази даних «Україніка наукова», пошукової системи Google Scholar.

Матеріали даного випуску розглянуто та рекомендовано до друку Науково-технічною радою філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця», протокол № 3/21 від 24.09.2021 р.

Використання даних державних статистичних спостережень у наукових статтях без посилання на їх джерело заборонено. При використанні чи передруку матеріалів журналу «Залізничний транспорт України» посилання на видання є обов'язковим.

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА

БОЧКОВ К.А., докт. техн. наук,
професор Білоруського
державного університету
транспорту (Республіка Білорусь)
БУРЕЙКА Г., докт. техн. наук,
професор Вільнюського
технічного університету ім.
Гедімінаса (Литва)
ЖУРКОВСКИ А., канд. техн. наук,
директор Інституту колійництва
(Польща)

ПЕТРЕНКО В.О., директор
філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця»
(голова ради)
КЕЛЬРИХ М.Б., докт. техн. наук,
професор, науковий радник
директора філії «НДКТІ»
АТ «Укрзалізниця» (Україна)
ЛЕОНЕЦЬ В.А., докт. техн. наук
провідний науковий співробітник
Інституту проблем міцності імені
Г. С. Писаренка НАНУ (Україна)

МАКАРЕНКО М.В., докт. екон. наук,
професор (Україна)
МЯМЛІН С.В., докт. техн. наук,
професор, директор філії «Центр
діагностики залізничної
інфраструктури» АТ «Укрзалізниця»
(Україна)
ФЕДОРЕНКО О.Г., генеральний
директор Директорату залізничного
транспорту Міністерства
інфраструктури (Україна)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

ВАТУЛЯ Г.Л., докт. техн. наук,
професор, проректор з наукової
роботи Українського державного
університету залізничного транспорту
(Україна)
ГРИЩЕНКО С.Г., канд. техн. наук,
доцент, помічник директора філії
«НДКТІ» АТ «Укрзалізниця»
ДАНИЛЕНКО Е.І., докт. техн. наук,
професор, завідувач кафедри
«Залізнична колія та колійне
господарство» Державного
університету інфраструктури та
технологій (Україна)
ДОМАНСЬКИЙ В.Т., докт. техн. наук,
професор кафедри «Електричний
транспорт» Харківського
національного університету міського
господарства ім. О.М. Бекетова
(Україна)

ДЬОМІН Ю.В., докт. техн. наук,
професор кафедри «Залізничний,
автомобільний транспорт та
підйомно-транспортні машини»
Східноукраїнського національного
університету ім. В. Даля (Україна)
ЗОБОРІ Іштван, докт. техн. наук,
професор Будапештського
технологічного та економічного
університету (Угорщина)
КАЛІВОДА Ян, канд. техн. наук,
ас. проф. Чеського технічного
університету в Празі (Чехія)
КАРА С.В., канд. техн. наук, начальник
Управління інжинірингу Науково-
впроваджувального центру філії
«НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» (Україна)
МИРОНЕНКО В.К., докт. техн. наук,
професор, завідувач кафедри
«Управління комерційною діяльністю
залізниць» Державного університету
інфраструктури та технологій
(Україна)

МЯМЛІН С.В., докт. техн. наук,
професор, директор філії «Центр
діагностики залізничної
інфраструктури» АТ «Укрзалізниця»
ПУТЯТО А.В., докт. техн. наук, доцент,
ректор Гомельського
государственного технического
университета имени П.О. Сухого
(Республіка Білорусь)
СИЧЕНКО В.Г., докт. техн. наук,
професор, заст. начальника
проектно-конструкторського бюро
автоматики, телекомунікації та
енергетики філії «НДКТІ»
АТ «Укрзалізниця» (Україна)
ФАЛЕНДИШ А.П., докт. техн. наук,
професор, завідувач кафедри
«Транспортні технології підприємств»
Приазовського державного
технічного університету (Україна)

ЗМІСТ

Реформування транспорту

Приходько В.І., Ігнатов Г.С., Зюков А.А
Транспорт найближчого майбутнього і що таке
EU GREEN DEAL.....4

Технічна політика

Татур О.К.
Новини стандартизації15

Транспортні системи та логістика

**Ломотько Д. В., Огар О. М., Козодой Д. С.,
Ломотько М. Д.**
«Зелена» логістика, як основа покращення
екологічних показників вантажних
мультимодальних перевезень16

Інфраструктура

Мойсеєнко К. В.
Діапазони приведених мас колії у вертикальній
площині в межах стрілочного перевалу на
залізобетонних брусах проєкту 1740 (прямий
напрямок).....29

Надійність та менеджмент якості

**Леонець В.А., Лукашевич А.О., Повисий В.М.,
Яценко Л.Ф.**
Вплив овальності колісного центра на напружено-
деформований стан з'єднання «бандаж-центр»
колеса електровоза38

**Писаренко Г. Г., Войналович О. В., Майло А. М.,
Писаренко С. Г.**

Накопичення мікропластичних деформацій
зразків низьковуглецевої сталі за
багатоциклового навантажування як фактор
експлуатаційного пошкодження тримальних
конструкцій залізничного транспорту.....46

Практичний досвід

**Зонов В.Д., Матяш В.О., Білоус Ю.А., Польніков
Ю.В., Левцов В.Б.**
Методологія виміру маси палива апаратно-
програмним комплексом тепловозу..... 53

Новини АТ «Укрзалізниця»

Новини науково-технічної ради
АТ «Укрзалізниця».....67

Реферати68

CONTENTS

Transport reformation

V. Prikhodko, G. Ignatov, A. Zyukov
Transport of the near future and what is EU GREEN
DEAL.....4

Technical policy

O. Tatur
Standardisation news.....15

Transport systems and logistics

D. Lomotko, A. Ogar, D. Kozodoy, M. Lomotko
The "green" logistics as a basis for improving
environmental indicators of multimodal freight
transport.....16

Infrastructure

K. Moyseyenko
The ranges of reduced track masses in the vertical
plane within the switch on reinforced concrete
beams of project 1740 (forward direction).....29

Reliability and quality management

**V. Leonets, A. Lukashevych, V. Povyschiy,
L. Yatsenko**
Influence of ovality of the wheel center on the
stress-deformed condition of the "bandage-center"
connection of the electric locomotive
wheel.....38

**G. Pysarenko, O. Voynalovich, A. Maylo,
S. Pysarenko**

Accumulation of microplastic deformations of low-
carbon steel samples under high-cycle loading as a
factor of operational damage to load-bearing
structures of railway transport46

Practical experience

**V. Zonov, V. Matyash, Y. Belous, Y. Polnikov,
V. Levtsov**
Methodology of measuring of mass of fuel by the
hardware-programmatic complex of diesel
engine.....53

News of JSC "Ukrzaliznytsia"

News of the scientific and technical council of
JSC «Ukrzaliznytsia».....67

Abstracts68

УДК 629.4.014.2

DOI: 10.34029/2311-4061-2021-140-3-04-15



*Голова Наглядової ради –
Президент товариства ПАТ
«КВБЗ», член президії ФРУ,
Лауреат Державної премії
України в області науки і
техніки, кандидат
технічних наук, професор
Приходько В.І.*



*Головний спеціаліст
ПАТ «КВБЗ»,
лауреат Державної
премії України в
області науки і
техніки
Ігнатов Г.С.*



*Начальник
конструкторського бюро
ПАТ «КВБЗ»
Зюков А.А.*

ТРАНСПОРТ НАЙБЛИЖЧОГО МАЙБУТНЬОГО І ЩО TAKE EU GREEN DEAL

Ключові слова: рухомий склад, «вуглецевий податок», декарбонізація промислових процесів і секторів економіки, водневі паливні елементи, «брудний» транспорт.

Вступ та постановка проблеми

Розвиток транспорту у світі, у тому числі залізничного, відбувається по певній спіралі вже понад 150 років. І черговий виток завжди маємо після винаходу нових конструкцій тягових засобів, нових технологій, матеріалів і ефективних видів палив.

І ці віхи: парова машина, двигун внутрішнього згорання, електродвигун постійного струму, двигун змінного струму, контактна мережа, підстанції, генерація електроенергії великої потужності, – призводять до нових проблем – забруднення місця існування людини і усії природи! Тому далі мова піде про угоду «EU Green Deal» і як вона впливає на Україну.

Що собою представляє угода «EU Green Deal» або «зелений курс»? Це, насамперед, набір політичних ініціатив Європейської ко-

місії. Все більше країн у світі ставлять мету досягти кліматичної нейтральності – скоротити викиди вуглецю та інших парникових газів у найближчому майбутньому. Тому 11 грудня 2019 року на саміті ООН по клімату 66 країн світу взяли на себе зобов'язання до 2050 року зробити Європу вуглецево нейтральною.

Кліматична нейтральність означає, що викиди в атмосферу вуглекислого газу (діоксида вуглецю) або його аналогів мають бути скорочені до мінімуму.

Чому викиди вуглекислого газу хочуть знизити? Збільшення викидів двоокису вуглецю (CO₂) призводить до погіршення екологічного стану планети та змін клімату. Вуглекислий газ шкідливий для довкілля у разі його надлишку. У природних пропорціях він потрібний для життєдіяльності рослин, які поглинають і переробляють CO₂, виділяючи в оточуюче середовище кисень. Але якщо газ CO₂ в надлишку, то він створює парниковий ефект, за якого випромінювання Сонця про-

ходить крізь атмосферу, але назад йде менше теплової енергії.

Чому Україна має долучитися до цієї стратегії? Що таке «Carbon Border Adjustment» (CBA)? «Carbon Border adjustment» або механізм граничного регулювання вуглецю – це спеціальний податок на товари, що імпортуються в Європейський Союз. Спеціальний податок застосовуватиметься не до усієї імпоротної продукції, а до продукції з країн, які не приділяють належної уваги зменшенню викидів CO₂. Україна, як торговельний партнер ЄС, повинна імплементувати норми, пов'язані з протидією зміні клімату. Інакше продукція, яка експортується нею в ЄС підпаде під «вуглецевий податок».

Європейська комісія пропонує ввести CBA не пізніше 2023 року. Це означає, що в Україні є максимум два роки на те, щоб почати процес декарбонізації промисловості. Що для цього потрібне в глобальних масштабах?

1. У країні повинні бути введені жорсткі екологічні стандарти і законодавча база, яка регулюватиме обсяги і норми викиду двоокису вуглецю.

2. Виробництва приватного бізнесу повинні ставати менш вуглецевмісними.

3. Має запрацювати ринок торгівлі з квотами на викиди вуглецю.

У 2019 році ЄС був головним торговельним партнером України. Питома вага торгівлі товарами і послугами з ЄС складала 40,1 % від загального обсягу торгівлі України. Було експортовано товарів на 20,2 млрд. доларів. При цьому, третина суми експорту потенційно підпадає під вуглецевий податок. Експортери не зможуть розвивати свій бізнес так, як це було б можливо, без сплати податку CBA. На даний момент вуглецевмісність практично усіх українських товарів вище, ніж у їх європейських аналогів.

В Україні розроблена своя концепція «Ukraine Green Deal». Її автори вважають, що Україні на початковому етапі буде досить інвестицій на рівні 5 % ВВП в рік (≈ 6,7 млрд. євро). Державне фінансування декарбонізації в перспективі повинно досягти 3 % ВВП в рік (до 4 млрд. євро).

Тренд на загальну декарбонізацію торкнувся і залізничного транспорту. Міжнародний союз залізниць UIC у своїх документах ставить цілі скоротити на 50 % середніх викидів CO₂ від експлуатації поїздів до 2030 року і

перейти до повністю безвуглецевої експлуатації до 2050 року. До цього часу суспільству має бути представлена кліматично нейтральна транспортна альтернатива [1].

Водень як паливо

Одним з найбільш перспективних напрямів сьогодні є переведення локомотивів на водневе паливо. Головні проблеми, які належить вирішити на цьому шляху, це дорожнеча виробництва екологічно чистого водню і безпека паливної інфраструктури.

«Використання водню пропонує рішення для декарбонізації промислових процесів і секторів економіки, де скорочення викидів CO₂ одночасно терміново потрібне і складне в реалізації. Усе це робить водень необхідним для підтримки зобов'язання ЄС досягти вуглецевої нейтральності до 2050 р. і для глобальних зусиль виконати умови Паризької угоди на шляху до нульових викидів», говориться в преамбулі Водневої стратегії ЄС.

У числі пріоритетів: часткова заміна вугілля на водень під час виробництва сталі та переведення на водневе паливо пасажирського і вантажного автомобільного та залізничного транспорту.

Водень, як паливо для локомотивів, має ряд безперечних переваг. Це, передусім:

- висока енергоефективність, тому що енергетична щільність водню майже в 3 рази вища, ніж у будь-якого іншого палива, яке використовується на транспорті (табл. 1);
- екологічність;
- можливість обійтися без використання електромереж [2].

Водень можна отримати з води шляхом електролізу. Для електролізу можна використовувати надлишкову електроенергію, яку виробляють в «піковий період» сонячні або вітрові електростанції. В результаті маємо екологічно чисте паливо, яке виробляється з води за допомогою «зеленої» електроенергії. Воно не призводить до викиду парникових газів і не залишає «вуглецевого сліду». А значить, не має впливу на клімат і не забруднює довкілля. Наприклад, автомобілі на водневих паливних батареях не виробляють шкідливих викидів CO₂ в атмосферу. А замість чадного газу з вихлопної труби виходить водяна пара, яка перетворюється у воду.

Табл. 1 – Енергоефективність різних видів палива

Ключові показники	Водень	Інші види палива			
		метан	бензин	дизпаливо	метанол
Щільність, кг/м ³	0,0898	0,71	702	855	799
Нижча теплота згорання, за масою [LHV], МДж/кг	120	50,4	42,7	41,9	19,9
Нижча теплота згорання, за об'ємом [LHV], МДж/м ³	10,8	36,1	31200	36500	18000

Екологічність робить водневе паливо привабливим. Більше того, водень допоможе замінити не лише паливо для транспорту, але і природний газ в системах опалювання та вугілля в металургії. Саме тому водень називають паливом майбутнього. Багато країн впроваджують проекти з використання водню замість вугілля у виробництві, по частковому заміщенню воднем природного газу в опалюванні житла і переведенню транспорту на екологічне паливо.

Водневі паливні елементи

Водневі паливні елементи можуть виробляти електричну енергію для електродвигуна

на борту транспортного засобу, замінивши тим самим двигун внутрішнього згорання з генератором, або застосовуватися для бортового живлення електричною енергією (рис. 1). Використання водню у якості енергоносія дозволить як істотно скоротити споживання викопних вуглеводневих палив, так і значно просунутися у вирішенні екологічної проблеми забруднення атмосфери населених пунктів шкідливими для здоров'я людини складовими відпрацьованих газів автомобілів і тепловозів.

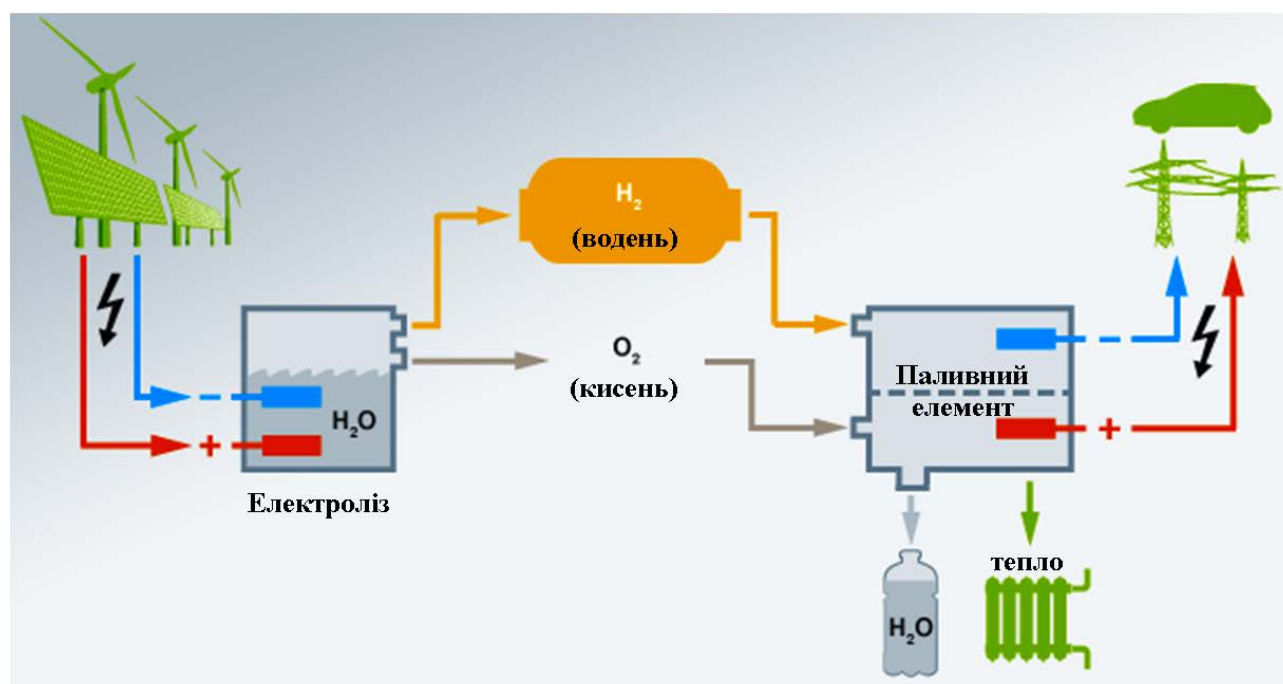


Рис. 1 – Технологічна схема виробництва водню

У 2009 році приблизно 25 % викидів вуглекислого газу в атмосферу Землі відбувалося в результаті роботи різного роду транспорту. За оцінкою, вже до 2050 року це число подвоїться і продовжить рости у міру того,

як у країнах, що розвиваються, збільшуватиметься кількість особистих автомобілів. Окрім CO₂ в атмосферу викидаються оксиди азоту, в результаті яких збільшується чисельність людей із захворюваністю на астму,

оксиди сірки, внаслідок яких йдуть кислотні дощі тощо [3].

Сьогодні влада країн Євросоюзу знову підіймає тему екологічно чистого транспорту, оскільки він допоможе в боротьбі проти змін клімату. Близько чверті викидів вуглекислого газу в ЄС виробляє транспорт. Саме тому влада шукає йому екологічну заміну.

Основні переваги водневих паливних елементів порівняно з традиційними двигунами внутрішнього згорання – високий ККД, а також повна відсутність шкідливих викидів у довкілля. Для транспорту використання водневих паливних елементів це ще і перехід до нового технологічного устрою, оскільки вони позбавлені вузлів тертя, що зношуються, властивих двигунам внутрішнього згорання. Головним недоліком таких елементів залишається їх висока вартість. Причому йдеться як про самі паливні елементи, так і про використовуваний в них водень. Іншою причиною підвищення інтересу до водневого транспорту є зростання цін на енергоносії (нині переважна їх більшість – вугілля, нафта та їх похідні), дефіцит палива та прагнення країн набутти енергетичної незалежності [3].

Впровадження водневих паливних елементів на залізничному транспорті

Залізничні двигуни (силові установки) повинні розвивати досить велику потужність, тоді як компактність залізничних силових установок менш важлива, ніж на автомобільному транспорті. Залізничний транспорт є величезним ринком збуту для силових установок на водневих паливних елементах. Нині близько 60 % залізничних вантажів в усьому світі перевозять тепловози. Ще одна вигідна можливість – побудувати, використовуючи паливні елементи, локомотиви, що поєднують якості теплового і електрового (здатність живитися від контактної мережі на електрифікованих лініях і автономність під час проходження неелектрифікованих ділянок).

«Canadian Pacific» (CP, Канадська тихоокеанська залізниця) і виробнича компанія «Ballard Power Systems» (BLDP) уклали контракт на постачання модулів водневих елементів. Вони використовуватимуться для виробництва автономних локомотивів, що працюють на новому виді палива. Планується, що у 2021 році компанія-виробник поставить

перші шість модулів потужністю 200 кВт і проведе роботи з їх установки на локомотив.

Згідно з програмою «Hydrogen Locomotive Program», що діє з початку поточного року, CP розробить перший в Північній Америці лінійний вантажний локомотив, що працює на водневому паливі [4, 5]. Для реалізації цієї програми фахівці компанії переобладнують двигун H₂, що працює на дизельному паливі, в тяговий водневий агрегат. Згідно з контрактом, перші шість водневих модулів будуть поставлені вже цього року. Планується, що водневі модулі зможуть забезпечити новий локомотив електроенергією потужністю 1,2 МВт. Після переобладнання локомотиву будуть проведені його випробування.

Паливні елементи працюватимуть з акумуляторною технологією для живлення тягових електродвигунів локомотива. Паливні елементи є спеціалізованими хімічними реакторами, призначеними для прямого перетворення енергії, що вивільняється у ході реакції окислення палива, в електричну енергію. Як паливо в модулях використовується чистий водень, а роль окисника виконує кисень, що міститься в повітрі. Отриманий водень зберігається в спеціальних баках, який показано на рисунку 2.

«На мою думку, сьогодні використання водневого палива – це єдиний спосіб для залізничного сектора, що дозволяє понизити викиди вуглекислого газу в атмосферу. Особливо тема актуальна у сфері вантажних перевезень, для двигунів великої і середньої потужності», сказав президент і головний виконавчий директор BLDP Ренді Маківен [4].

18 лютого 2004 року японський «Залізничний інститут технічних досліджень» уперше у світі випробував прототип поїзда на водневих паливних елементах. Розробки водневого залізничного рухомого складу ведуться в Японії також компаніями «Hitachi» і «Kinki Sharyo».



Рис. 2 – Ємність (бак) для зберігання водню

У США експлуатація локомотива на водневих паливних елементах потужністю 2000 кінських сил повинна була розпочатися у 2009 році. Локомотив створювався з 2003 року за участю «Міністерства оборони США» (DoD) для не тактичних військових цілей і комерційного використання.

У Данії водневий поїзд вже курсує між містами Vemb, Lemvig і Thyborøn. Протяжність маршруту – 59 км, що обмежено місткістю водневих баків на тягових вагонах. Проект

дістав назву «Danish Hydrogen Train Project» [3].

Фірма «Alstom» і її пасажирський поїзд «Coradia iLint»

«Alstom» – французький виробник рухомого складу для залізниць, є світовим лідером в розробці поїздів на водневих паливних елементах. Перший пасажирський рухомий склад на водні «Coradia iLint» – вийшов на лінії в Німеччині у 2018 році (рис. 3). У липні 2019 року він пройшов більше 100 тис. км, через 10 місяців регулярного перевезення пасажирів з вересня 2018 року. Два такі поїзди курсують між містами Бремерферде, Куксхафен, Бремерхафен і Букстехуде в Німеччині, у федеральній землі Нижня Саксонія [6].

У травні 2020 року «Alstom» повідомив про успішне завершення пілотного проекту використання двох поїздів на водні в Нижній Саксонії. Ця німецька земля замовила французам ще 14 поїздів, які обійдуться у близько 81 млн. євро. Підписали також контракт на постачання 27 пасажирських експресів для земель Гессен і Рейнланд-Пфальц [7].



Рис. 3 – Пасажирський поїзд «Coradia iLint» на водневих паливних елементах

У самій же Франції, виробник якої став піонером в розвитку водневих пасажирських поїздів, в березні цього року зробили перше замовлення на такі поїзди. Три «Coradia iLint» за 52 млн. євро будуть куплені для регіону Бургундія – Франш-Конте. В цілому, як заявив французький держсекретар з питань

транспорту Жан-Батист Джеббари, Франція має намір перейти на водневі поїзди протягом наступних 20–30 років. Французький оператор пасажирських перевезень «SNCF Voyageurs», діючи від імені регіонів Овернь – Рона – Альпи, Бургундія – Франш-Конте, Гранд-Ест і Окситанія, підписав контракт з

компанією «Alstom» на виробництво гібридних поїздів. Згідно з контрактом на 190 млн. євро «Alstom» поставить 12 нових поїздів, які працюють від електричної контактної мережі та водневих паливних елементів. Нові поїзди будуть створені на основі сімейства «Coradia Polyvalent» виробництва «Alstom», які зможуть працювати від декількох систем електропостачання, що розрізняються за родом і частотою струму та величиною живлячої напруги. Ці поїзди «Alstom» зможуть працювати у двох режимах. З одного боку, це класичний електропоїзд, що працює від повітряної контактної мережі. Там, де ділянки дороги неелектрифіковані, поїзд рухатиметься на водневих паливних елементах, що перетворюють енергію водню в електричний струм. Запас водню, що знаходиться в спеціальній цистерні на даху, розрахований на 600 км шляху. Поїзд оснащений батареями, що накопичують надлишки електроенергії, яку виробляє водневий паливний елемент. Кожен з чотирьох регіонів отримає по три поїзди. На

думку президента «Alstom France» Жан-Батиста Еймеуда, новий гібридний поїзд не поступатиметься за тягово-динамічними характеристиками і рівнем комфорту серійним поїздам, що випускаються. «Це нове замовлення для французького ринку повністю відповідає прагненню «Alstom Group» стати «номером один» на ринку виробництва локомотивів на водневій тязі» [8].

У вересні 2020 року у рамках пілотного проекту перший водневий поїзд «Alstom» запустили в Австрії, де він успішно завершив тримісячний період тестової експлуатації на регіональних лініях ÖBB (Австрійські федеральні залізниці). Рухомий склад дістав офіційне схвалення від Федерального міністерства охорони клімату, довкілля, енергетики, мобільності, інновацій і технологій Австрії (рис. 4). Таким чином, Австрія стала другою країною після Німеччини, яка повністю схвалила «Coradia iLint», як альтернативу рухомому складу з дизельними двигунами.



Рис. 4 – Водневий пасажирський поїзд, що пройшов випробування в Австрії

Протягом трьох місяців випробувань на чотирьох маршрутах поїзд показав здатність працювати навіть на крутих ділянках колії і в кліматичних умовах, що змінюються під час руху. Після тривалої успішної експлуатації водневих поїздів в Австрії отримані дані дозволять провести подальше вдосконалення їх конструкції і технології виробництва. У «Alstom» заявляють, що жоден інший виробник поїздів нині не може запропонувати перевірений, випробуваний водневий поїзд, готовий до серійного виробництва [9].

Як влаштовані поїзди «Coradia iLint»? Ці поїзди мають два тягові електромотори. Електрика для моторів поступає з джерела енергії в самому поїзді. На даху встановлена цистерна з воднем і паливний елемент (рис. 5).

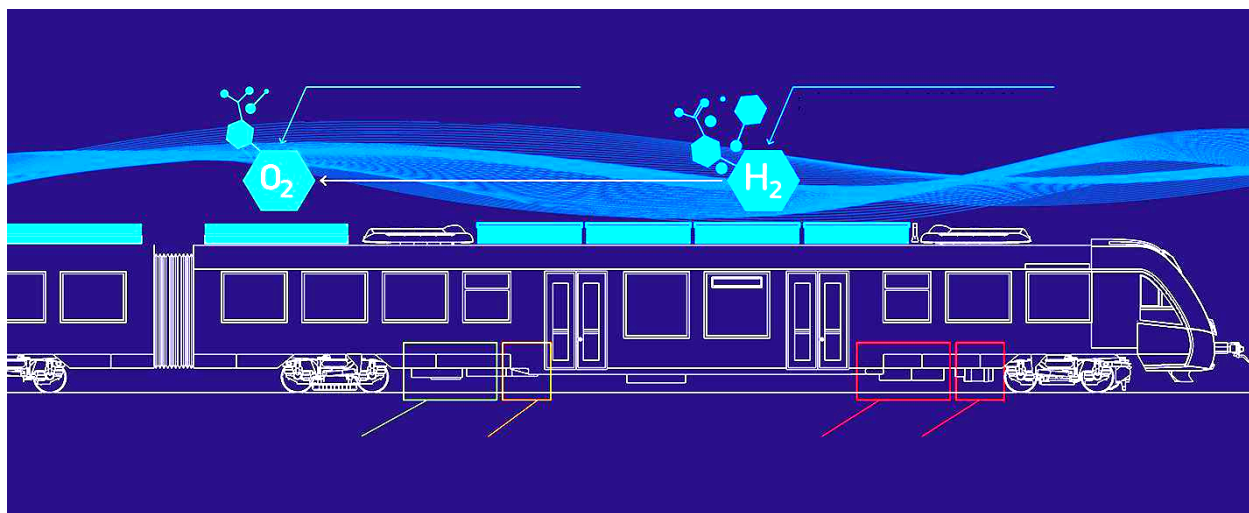


Рис. 5 – Конструктивна схема побудови поїздів «Coradia iLint»

Електричну енергію для тяги та живлення електрообладнання (в т.ч. тягових двигунів на вагоні) виробляє паливний елемент. Надлишок електроенергії зберігається у накопичувальній батареї і там же зберігається енергія від рекуперативного режиму роботи тягового електродвигуна під час гальмувань. Усе це відбувається під активним мікропроцесорним контролем витрат/вироблення електроенергії.

Електрична енергія виробляється за допомогою хімічної реакції в реакторі, де поєднується паливо (водень) із горючим агентом (киснем у повітрі). Продуктом реакції є електроенергія і вода з водяним паром. Паливний елемент живить електроенергією тягові двигуни під час руху, бортове електрообладнання вагона і заряджає акумулятор. Наявна літій-іонна батарея резервує надлишки електроенергії, що виробляється паливним елементом і тієї, що надходить від тягових електродвигунів під час гальмування поїзду. Допоміжний конвертор перетворює електричну енергію, отриману від паливного елемента і батареї, у енергію, необхідну для роботи бортового електрообладнання (кондиціонування, привод дверей, дисплеї пасажирської інформації, освітлення тощо). Тяговий інвертор/конвертор перетворює електроенергію, що виробляється паливним елементом і батареєю, для живлення тягових електродвигунів. Він також направляє електричну енергію, отриману у результаті гальмування поїзда, на підзарядку його акумуляторних батарей. Кожен тяговий двигун, відповідно, приводить у

рух ведучу колісну пару через приводний редуктор.

У результаті реакції в паливному елементі до довкілля виділяється тільки вода і немає ніякого викиду шкідливих речовин, таким чином поїзд «Coradia iLint» є 100 % безпрецедентним новим технічним рішенням – «зеленим продуктом», вільним від емісії CO₂ в атмосферу. Ще один плюс – такі поїзди практично безшумні. Максимальна швидкість 72-метрового поїзду з 218 місцями для пасажирів – 140 км/год. Дальність поїздки на одній заправці – від 800 до 1000 кілометрів. На заправку йде близько 15 хвилин. Якщо підсумувати усі замовлення «Alstom» від Німеччини, вона планує стати світовим лідером в області використання залізничних пасажирських поїздів на водневому паливі [6].

Компанія «Alstom», що лідирує в розробці поїздів на водневому паливі, в 2021 році придбала «Helion Hydrogen Power» – дочірнє підприємство компанії «AREVA Energies Renouvelables». Таким чином, «Alstom» нарощує портфель інноваційних рішень у сфері тягового рухомого складу на альтернативних джерелах енергії. «Helion Hydrogen Power», створена в 2001 році і спеціалізується на розробці й створенні систем паливних елементів великої потужності. Зокрема, вона випускає типові модулі «FC Rack» потужністю до 175 кВт (рис. 6). Вже реалізовано понад 100 проєктів в енергетичному і транспортному секторах різних країн. Виробничий майданчик «Helion Hydrogen Power» розташований в місті Екс-ан-Прованс на півдні Франції. У штаті компанії 30 інженерів, які займаються про-

ектуванням, розробкою, виготовленням систем паливних елементів, а також інжиніринговою підтримкою і навчанням персоналу замовників. Після реалізації угоди «Helion Hydrogen Power» стане одним з підрозділів «Alstom» і буде перейменована в «Alstom Hydrogène» [10].

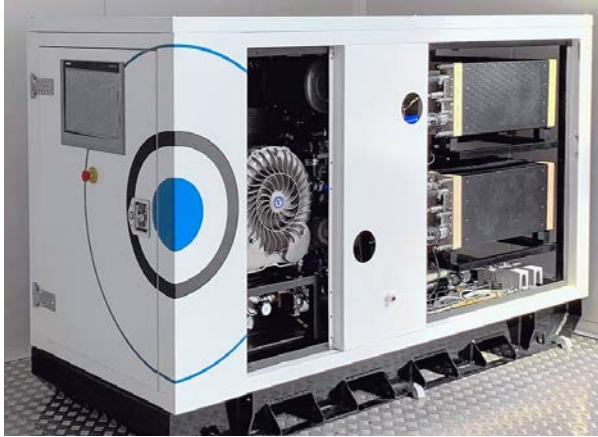


Рис. 6 – Паливний елемент фірми «Helion Hydrogen Power»

Незважаючи на розвинену інфраструктуру, деякі ділянки залізниць ЄС складно або недоцільно електрифікувати. Для таких ділянок водневий транспорт може бути вирішенням проблеми, замінивши старі дизельні поїзди. У середині березня 2020 року в Нідерландах завершили випробування французького рухомого складу «Coradia iLint». Поїзди на водневому паливі в Нідерландах замінять собою рухомий склад на дизельному паливі, мазуті та інших «брудних» видах палива на тих напрямках, де не можна провести електрику. Поки планується, що вони ходитимуть в районі міста Гронінген. На думку президента регіональної ради Овернь-Рона-Альпи Лорана Вокієза, водневі поїзди є прямою альтернативою дизельним локомотивам, що курсують неелектрифікованими залізничними лініями регіону.

Застосуванню паливних елементів і використанню водню у якості палива у світі приділяється велика увага [11-16]. Цей напрям отримав активний розвиток і на колії 1520 мм в Росії. Для концентрації у ВАТ «РЖД» знань і досвіду в галузі водневої енергетики, проведення досліджень, випробувань технічних засобів і технологій на базі «ВНИИЖТ» планується створення водневого кластера. Як показали минулі тематичні конференції у кінці 2020 року, дослідження в області водне-

вих технологій проводяться в багатьох наукових центрах і торкаються усіх основних аспектів водневої енергетики – від виробництва, зберігання і транспортування водню до його використання в паливних елементах, а також ключових технологій самих паливних елементів та їх мембран.

Для розвитку водневих технологій у Росії і забезпечення конкурентоспроможності вітчизняної промисловості на світовому ринку Урядом Росії прийнятий план заходів «Розвиток водневої енергетики в РФ до 2024 року», який передбачає, зокрема, створення дослідного зразка залізничного транспорту на водні не пізніше ніж у 2024 році [17]. Пілотним проектом комплексного впровадження водневих технологій у галузі стала організація пасажирського сполучення на острові Сахалін із застосуванням поїздів на водневих паливних елементах. Відповідна угода про співпрацю і взаємодію була підписана 4 вересня 2019 року між урядом Сахалінської області, ВАТ «РЖД», держкорпорацією «Росатом» і АТ «Трансмашхолдинг». Документ передбачає створення комплексної водневої технології, що включає виробництво, зберігання, транспортування водню та пункти екіпіровки, а також експлуатацію і технічне обслуговування водневих поїздів (В-поїздів). Також на Сахаліні передбачається створення експертного і освітнього центру з водневих технологій.

«ВНИИЖТ» опрацював експлуатаційну модель приміських поїздів і фінансову модель проекту. Визначені і ключові параметри рухомого складу. Розрахунки показали, що експлуатація водневих поїздів дасть можливість понизити викиди шкідливих речовин на 67 тонн в рік з кожного поїзду. Між тим, розрахунки щодо фінансової моделі показали, що за умови перевезення пасажирів на Сахаліні В-поїздами за поточної заданої вартості палива і ціни проїзду, економічного ефекту, порівняно з рейковими автобусами на дизельному паливі, для усіх учасників проекту добитися неможливо. Тому головною метою першого етапу проекту є вибір оптимальних технологічних рішень, що забезпечують мінімальні витрати у виробництві і експлуатації. Також стоїть задача визначитися з варіантами субсидування розвитку водневих технологій та експлуатації поїздів, що дозволять в найкоротші терміни досягти результатив-

ності, у порівнянні з експлуатацією рейкових автобусів серії «РА-3».

Створивши рухомий склад і забезпечивши його водневим паливом, необхідно також підготувати інфраструктуру для його обслуговування і ремонту. Істотну частину тут складає забезпечення промислової безпеки, зокрема встановлення віконних рам, які легко скидаються, монтажу систем виявлення витоків водню, систем вентиляції і пожежогашіння, установки додаткових фрамуг, що відкриваються.

Обслуговування водневих паливних елементів зводиться переважно до планової заміни повітряних фільтрів, а ремонт - до заміни окремих елементів після вичерпання ними ресурсу. Це може бути реалізовано на майданчику виробника або його представниками. У депо буде потрібно спеціалізоване устаткування для пошуку витоків водню, опресування газової системи поїзда, а також ділянка для проведення ревізії газових балонів, у разі якщо місцеві спеціалізовані організації не можуть забезпечити проведення таких робіт в необхідних обсягах і в задані терміни. Не можна забувати також і про підготовку експлуатуючого і ремонтного персоналу. Без цього неможлива безпечна експлуатація технічних засобів на основі водневих технологій.

Ефективний розвиток водневих технологій вимагає взаємної ув'язки проектів створення технічних засобів, навчання персоналу, підготовки інфраструктури і розробки нормативної бази. Ці процеси зводяться в дорожню карту з розвитку водневої енергетики, яка формується нині.

Чинники, що стримують впровадження водневих технологій в Україні

До таких чинників відносяться:

1. Відсутність водневої інфраструктури на транспорті України.

2. Складнощі у виробництві водню, через що вартість водню, необхідного для споживача, значно перевищує аналогічну вартість іншого палива, і це за умови отримання водню з природного газу, при тому що цей спосіб не дозволяє скоротити емісію вуглецю в атмосферу, а значить, не дає переваг водню перед прямим спалюванням вуглеводнів. Отримання ж водню шляхом електролізу виходить ще дорожчим, оскільки вимагає дуже дорогих платинових каталізаторів. До того ж,

за оцінками Міжнародного агентства з енергетики під час виробництва водню методом електролізу з води, для задоволення потреб транспорту, наприклад, у Франції потрібно було б збільшити виробництво електроенергії вчетверо.

3. Недосконалість технології зберігання водню.

4. Відсутність стандартів безпеки, зберігання, транспортування і застосування водню.

Небезпека водневого палива

Небезпека використання водню як палива пов'язана з двома чинниками:

- а) із високою летючістю водню, із-за якої він проникає через дуже малі пори (щілини);
- б) із легкістю займання водню.

Суміш водню з повітрям вибухонебезпечна. Водень небезпечніший за бензин, оскільки горить у суміші з повітрям в ширшому діапазоні концентрацій.

Беззаперечна статистика

Залізничний транспорт України займає значний сектор в загальних вантажоперевищеннях - 53,7 %, а без урахування трубопроводного транспорту - 77,6 %. Експлуатаційна протяжність головних магістральних мереж АТ «Укрзалізниця» (АТ «УЗ») складає 22,3 тис. км, і за цим параметром Україна займає 6 місце в Європі і 12 місце у світі. Протяжність електрифікованої частини доріг АТ «УЗ» станом на грудень 2020 року складає 50–51 % від її загальної протяжності [<https://uz.gov.ua>].

За даними «Центра Транспортних Стратегій» [<https://cfts.org.ua>], в експлуатації на неелектрифікованих ділянках залізниць України знаходяться більше 2000 одиниць дизельного тягового рухомого складу – тепловозів, дизель-поїздів, рейкових автобусів.

Сьогодні це значний залізничний парк, який потрапляє під поняття «брудний» транспорт, і тому влада саме для нього шукатиме екологічну заміну найближчим часом.

Згідно з дослідженнями німецького консалтингового агентства «SCI Verkehr», за період з 2015 по 2019 рік, включно, у світі було продано всього 8000 тепловозів. У 2019 році продажі нових дизельних локомотивів впали до 2,75 млрд. євро, а тенденції розвитку цього ринку стали все більше визначатися заходами зі скорочення парків тепловозів в Китаї (за рахунок електрифікації ліній), США (за

рахунок нових концепцій експлуатації) і в Європі (завдяки меті добитися нульового викиду вуглеводнів до 2050 року). Тому залізничні оператори в усьому світі все частіше відмовляються від довгострокових інвестицій в дизельну тягу. Кризовий 2020 рік тільки посилив цю тенденцію, і істотного зростання попиту найближчими роками не передбачається. Тим часом, за даними дослідницької компанії «Valuates», об'єм світового ринку поїздів на альтернативних джерелах живлення (як пасажирських, так і вантажних) у 2019 році оцінювався в 16,2 млрд. доларів, а до 2027 року досягне 23,9 млрд. доларів. Тому, один за одним, виробники і залізничні оператори все частіше озвучують плани з впровадження більш екологічно чистих, водневих і гібридних поїздів і локомотивів на залізницях [5].

Висновки

1. Вважаємо, що для впровадження більш екологічно чистих водневих локомотивів в Україні спочатку має бути виконана значна пошукова науково-практична робота, обов'язково з державною фінансовою підтримкою.

2. Для концентрації в АТ «Укрзалізниця» знань і досвіду в області водневої енергетики, проведення досліджень, випробувань технічних засобів і технологій, розробки відповідних стандартів на базі філії НДКТІ АТ «УЗ» необхідно організувати спеціалізований підрозділ, який буде підключати до виконання окремих робіт з водневих проблем науково-

виробничі підприємства і конструкторські бюро в Україні, які мають досвід роботи з виробництвом, зберіганням і розподілом (заправні станції) природного газу та водню, а також із розробкою і виготовленням паливних водневих елементів.

3. Сьогодні на ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» (ПАТ «КВБЗ») є Проектно-конструкторське управління (ПКУ) з виробничими площами, устаткуванням і трудовими резервами, що виготовляють сучасні електро-дизель-поїзди, які експлуатуються залізницями України. На цій базі, використовуючи водневі паливні елементи і відповідне устаткування, у т.ч. імпортне, можна в досить короткий час розробити, виготовити, провести випробування та організувати серійне виробництво вітчизняних «водневих» поїздів для приміських сполучень, а також двосистемних електропоїздів, з можливістю їх роботи на неелектрифікованих ділянках довжиною до 600 км, що працюють на водні і які надалі стануть екологічно чистою заміною дизель-поїздів парку АТ «Укрзалізниця».

Як приклад, на рисунку 7 ПАТ «КВБЗ» представляє концепцію пасажирського двовагонного поїзда з водневим паливним елементом на базі серійного дизель-поїзда ДПКр-3. Пасажиромісткість поїзда – до $2 \times 200 = 400$ пасажирів; планування вагонів – за узгодженням із Замовником; експлуатаційна швидкість В-поїзда – 140 км/год.

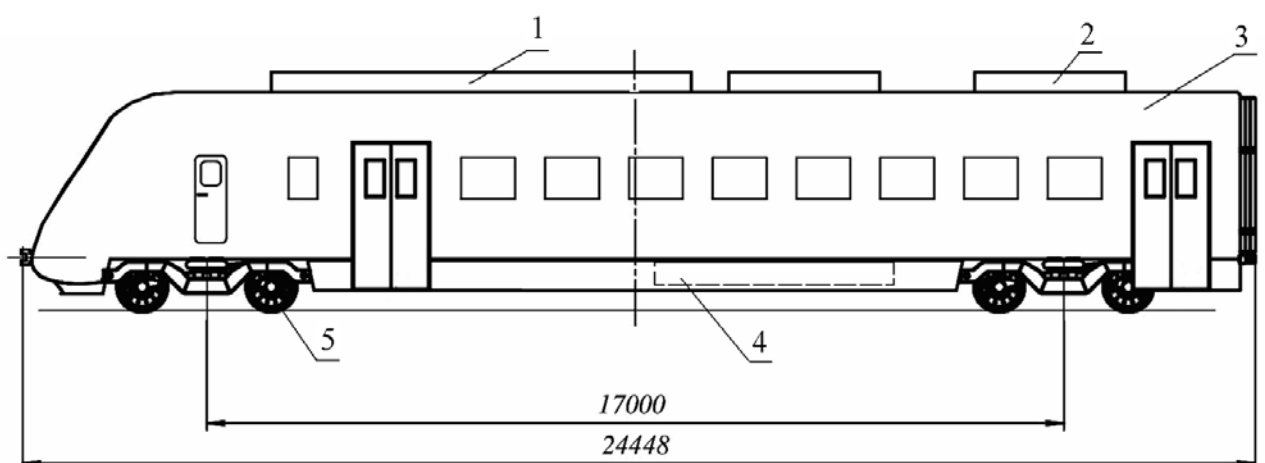


Рис. 7 – Концепція В-поїзда ПАТ «КВБЗ», на базі серійного дизель-поїзда ДПКр-3:
1 – балони з воднем; 2 – паливний елемент; 3 – головний вагон В-поїзда; 4 – Li-ion акумулятор;
5 – привідний візок з тяговим електродвигуном і редуктором

Література

1. Что такое EU Green Deal и почему Украина должна выполнять эту стратегию: портал УкрРудПром [Електр. ресурс]. - К., 2020. - Режим доступу: https://www.ukrrudprom.com/digest/CHto_takoe_EU_Green_Deal_i_pochemu_Ukraina_dolgha_vipolnyat_etu_.html. - 01.12.2020.

2. Водородная «бомба» для РЖД. От Илона Маска до взрывов АЗС: перспективы перевода ЖД-тяги на водородное топливо: интернет-портал Vgudok [Електр. ресурс]. - Тверь, 2021. - Режим доступу: <https://vgudok.com/lenta/vodorodnaya-bomba-dlya-rzhd-ot-ilona-maski-do-vzryvov-azs-perspektivy-perevoda-zhd-tyagi-na>. - 31.03.2021.

3. Водородный транспорт: интернет-портал ru.wikipedia.org [Електр. ресурс]. - Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82. - 21.04.2018.

4. Волков С. В Канаде дизель заменяют водородом / С. Волков: интернет-портал Gudok.ru [Електр. ресурс]. - Режим доступу: <https://gudok.ru/content/mechengengineering/1558650/>. - 01.04.21.

5. Водород, батареи, растительное топливо: Как «зеленый» тренд меняет локомотивы и поезда: интернет-портал ЦТС [Електр. ресурс]. - Режим доступу: https://cfts.org.ua/articles/vodorod_batarei_rastitelnoe_toplivo_kak_zelenyy_trend_menyaet_lokomotivy_i_poezda_1793/123043. - 06.04.2021.

6. Зачем в мире переходят на водородный транспорт и где он работает: интернет-портал Бизнес Цензор [Електр. ресурс]. - Режим доступу:

https://biz.censor.net/resonance/3184189/zachem_v_mire_perehodyat_na_vodorodnyyi_transport_i_gde_on_rabotaet. - 30.03.2020.

7. Во Франции в 2025 году появятся 12 водородных поездов Alstom: интернет-портал Минпром [Електр. ресурс]. - Режим доступу: <https://www.minprom.ua/news/269395.html>. - 12.04.2021.

8. Волков С. Состав с двойной тягой / С. Волков: интернет-портал Gudok.ru [Електр. ресурс]. - Режим доступу:

<https://gudok.ru/content/mechengengineering/1560354/>. - 15.04.21.

9. Водородный поезд Alstom одобрен для эксплуатации в Австрии: интернет-портал ЦТС [Електр. ресурс]. - Режим доступу:

https://cfts.org.ua/news/2020/12/02/vodorodnyy_poezd_alstom_odobren_dlya_ekspluatatsii_v_avstrii_62192. - 02.12.2020.

10. Alstom приобретает компанию Helion Hydrogen Power поставщика топливных элементов большой мощности: интернет-портал Железные дороги мира [Електр. ресурс]. - Режим доступу:

<https://sites.google.com/a/zdmira.com/zdmira/news/alstompriobretayetkompaniuhelionhydrogenpowerpostavshikatoplivnyhelementovbolsojmosnosti?overridemobile=true>. - 02.04.2021.

11. Яковенко Т.П. Применение альтернативных источников электроэнергии на железнодорожном транспорте / Т.П. Яковенко, С.А. Власенко // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. - Хабаровск: Дальневосточный гос. ун-т путей сообщения, 2019. - Т. 1. - С. 34-37.

12. Wang H. Experimental investigation of thermodynamic instability of supercritical endothermic hydrocarbon fuel within a small-scale channel / H. Wang, W. Nie, L. Su // Advances in Mechanical Engineering. - 2019. - Vol. 11, iss. 3. - pp. 1-12. DOI: 10.1177/1687814019830283

13. Трыкова В. П. Развитие технологий подвижного состава железных дорог и транспортной инфраструктуры / В. П. Трыкова // Транспорт сегодня: проблемы и перспективы: сборник материалов Междунар. научно-практ. конф., г. Брянск, 26 февраля 2020 г. - Брянск: Брянский филиал ПГУПС, 2020. - С. 87-90.

14. Носырев Д. Я. Эффективность применения альтернативных топлив в транспортных дизелях / Д. Я. Носырев, А. Ю. Балакин, Т. В. Щербицкая // Наука и образование транспорта. - 2019. - № 1. - С. 66-70.

15. Ehrhart B. Hydrogen for Rail Applications: presentation SAND2019-3185 C / Ehrhart B., Klebanoff L., Hecht E., Headley A., Ng M., Markt C. // H2@RailSM Workshop, March 26-27, 2019, in Lansing, Michigan. - 33 slides.

16. Богославский А. Е. Водородное топливо. Перспективы применения на подвижном составе / А. Е. Богославский // Транспорт Российской Федерации. - 2019. - № 6 (85). - С. 40-45.

17. Белов С. Создание поезда на водородном топливе невозможно без государственной поддержки / С. Белов: интернет-портал РЖД-Партнер.ru [Електр. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/opinions/sozdanie-poezda-na-vodorodnom-toplive-nevozmozhno-bez-gosudarstvennoy-podderzhki>. – 10.09.2019.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Приходько Володимир Іванович, к.т.н., професор, лауреат Державної премії України в області науки і техніки, Голова Наглядової ради – Президент товариства ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» (ПАТ «КВБЗ»), член Президії Федерації роботодавців України.
Вул. І. Приходька, 139, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна.
Тел.: +38 0536 769 505; +38 0536 769 305.
E-mail: kvsz@kvsz.com.

Ігнатов Георгій Сергійович, радіоінженер, лауреат Державної премії України в області науки і техніки, головний спеціаліст ПАТ «КВБЗ». А/с 87, м. Кременчук-21, 39621, Україна.
Тел.: +38 067 535 01 21.
E-mail: igs@kvsz.com.

Зюков Андрій Анатолійович, інженер-механік, начальник бюро технічної документації служби Головного конструктора пасажирського моторвагонного рухомого складу Проектно-конструкторського управління ПАТ «КВБЗ». Вул. Молодіжна, 2а/51, смт. Власівка, Світловодського р-ну, Кіровоградської обл., 27552, Україна.
Тел.: +38 067 610 97 42.
E-mail: pkuteh3@kvsz.com.

НОВИНИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ

Відповідно до пункту 2 частини 2 статті 11 Закону України «Про стандартизацію», розпорядження Кабінету Міністрів України від 26.11.2014, № 1163 «Про визначення державного підприємства, яке виконує функції національного органу стандартизації» та за пропозицією ТК 2 «Прокат сортовий, фасонний та спеціальні профілі» (протокол від 27.05.2021 № 57) наказом ДП «УкрНДНЦ» від 16.06.202, № 225 *відновлено дію на період з 01 липня 2021 року до 01 листопада 2022 року міждержавного стандарту:*

ГОСТ 22343–90. Клемма раздельного рельсового скрепления железнодорожного пути. Технические условия.

Татур О.К. - начальник Відділу технічного регулювання Департаменту розвитку і технічної політики АТ «Укрзалізниця»

УДК 656.223:502.5

DOI: 10/34029/2311-4061-2021-140-3-16-28



*Д-р техн. наук
Ломотко Д. В*



*Д-р техн. наук
Огар О. М.*



*Канд. техн. наук
Козодой Д. С.*



*Аспірант
Ломотко М. Д.*

«ЗЕЛЕНА» ЛОГІСТИКА, ЯК ОСНОВА ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВАНТАЖНИХ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

***Ключові слова:** залізниця, автотранспорт, «зелена» логістика, мультимодальне перевезення, вплив на довкілля, забруднення повітря, шумове забруднення, засмічення довкілля.*

Вступ і постановка проблеми

Сучасною тенденцією світового розвитку є глобалізація національних економік, що відкриває додаткові можливості для виробництва та транспортування продукції масового попиту, за умов зниження її вартості. Світова транспортна система все більше орієнтується на контейнеризацію, оскільки цей спосіб за своїми технологіями та формами

організації найбільш повно адаптується до вимог сервісної економіки, для якої логістичні витрати все частіше поступаються якості та швидкості надання транспортних послуг.

Розвитку мультимодальних технологій безсумнівно сприяє скорочення обсягів перевезень сировинних вантажів та продукції первинної переробки при збільшенні частки високотехнологічних товарів в умовах розширення географії перевезень. Зростання вимог до транспортного процесу, якості логістичного сервісу, збільшенню швидкості і рівню збереження вантажів призвело до загальносистемного ефекту при перевезеннях масових вантажів у контейнерах, за яких концепція «зеленої» логістики грає одну з ключових ролей. Еволюція контейнерних та контрейлерних перевезень стала початком не тільки уніфікації транспортних засобів, але й модернізації їх основних показників, розвитку та адаптації термінального обладнання, змін у світових і держаних нормативних, технологічних, екологічних вимогах до елементів транспортно-логістичних систем.

В Україні розвиток мультимодальних перевезень із залученням залізничного транспорту здійснюється відповідно до Стратегії акціонерного товариства «Українська залізниця» на 2019-2023 роки [1]. Концепція «зеленої» логістики сприяє розвитку вітчизняної макрологістичної системи у напрямку екологічного раціонального проектування та користування, що відповідає сучасним трендам сталого розвитку світової економіки. У зв'язку з цим дослідження та розвиток технологій у сфері комбінованого та мультимодального транспорту в Україні є актуальними.

Метою статті є аналіз можливості використання концепції «зеленої» логістики при вантажних мультимодальних перевезеннях із залученням залізничного транспорту. Відомо, що перевезення окремими видами транспорту не в повній мірі враховує можливі переваги кожного з них. З екологічної точки зору вплив залізничного та автомобільного транспорту на довкілля полягає у певних викидах в атмосферу, відчуженні земельних ділянок під залізничну інфраструктуру, забрудненні води та ґрунтів шляхом потрапляння на них залишків мастила та палива, електромагнітному забрудненні, а також у

наявності вібрації та акустичного забруднення (шуму) та засміченні територій. Якщо вплив транспорту з точки зору викидів у повітря речовин органічного та неорганічного походження значно більш досліджений, то проблеми шумового забруднення та засмічення довкілля потребують свого вивчення на основі використання принципів «зеленої» логістики і, в першу чергу, в умовах здійснення вантажних мультимодальних перевезень.

Аналіз досліджень, публікацій та технологій

Питанням функціонування транспортного комплексу приділяли значну увагу такі вчені, як Бутько Т.В., Данько М.І., Дикань В.Л., Котлубай М.І., Мацюк В.І., Мироненко В.К., Панченко С.В., Смахов А.О., Цветов Ю.М. та інші. В сфері експлуатації залізниць та мультимодальних перевезень відомими є праці таких вчених, як Альошинський Є.С., Бакаєв О.О., Дьомін Ю. В., Запара В.М., Кирилова О.В., Кулаєв Ю.Ф., Красноштан О.М., Нагорний Є.В., Негрей В.Я., Самсонкін В.М. та ін. Аналіз низки літературних джерел показує, що проблеми функціонування транспортної системи можуть бути ще досліджені з точки зору покращення окремих екологічних пока-

зників вантажних мультимодальних перевезень.

Екологічну політику в різних регіонах світу можливо класифікувати як регулятивну (заборони, дозволи та стандарти), фінансову (вигоди за дотримання та зменшення, система екологічних податків) та інформаційно-просвітню (екологічна звітність, аудит, маркування продукції, елементи екологічної освіти). Таким чином, технології «зеленої» логістики ведуть до розвитку законодавства країн у всіх цих сферах. Наприклад, у США все IT-обладнання повинно відповідати вимогам рейтингу Energy Star, який діє з 2007 року. В ЄС контроль за вуглецевим слідом від обладнання та транспортних засобів стає істотним фактором для отримання екологічних сертифікатів.

Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 № 430 схвалена Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року, яка містить окремий розділ «Безпечний для суспільства, екологічно більш чистий та енергоефективний транспорт» [2]. Структуру витрат АТ «Укрзалізниця» на природоохоронні заходи (2018 р.) наведено на рисунку 1 [7].

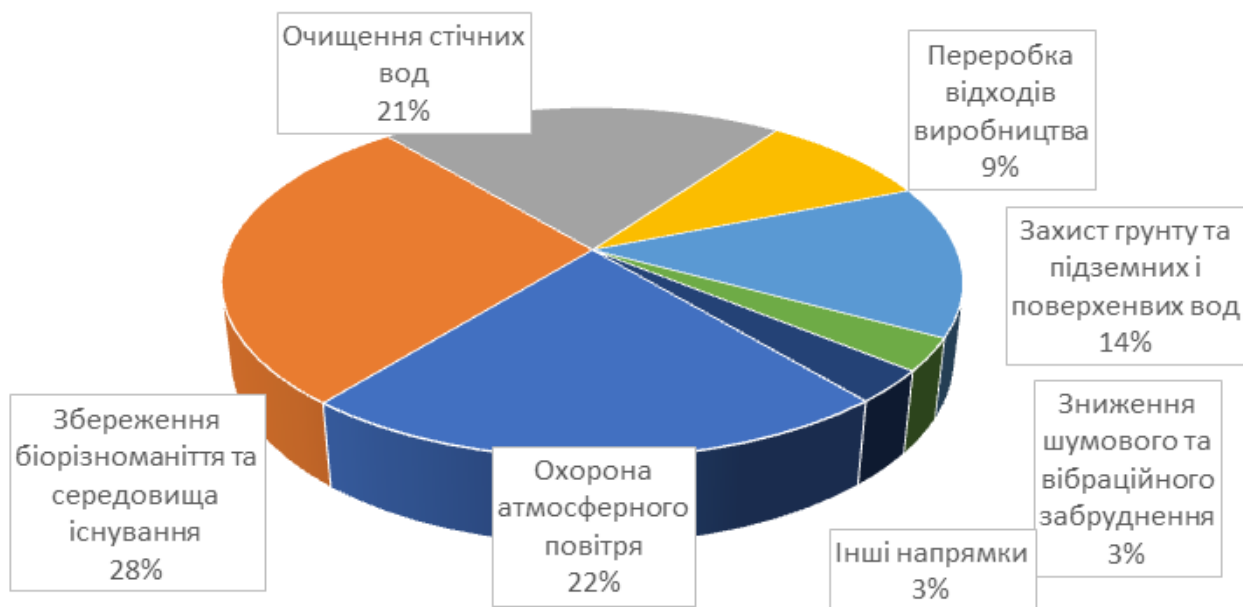


Рис. 1 – Структура витрат АТ «Укрзалізниця» на природоохоронні заходи

Основна частина

У спільному документі Європейської економічної комісії (ЄЕК) ООН, Європейської Конференції Міністрів транспорту (ЄКМТ) і

ЄС "Термінологія комбінованих перевезень" [2] наведено такі визначення:

- мультимодальне перевезення - перевезення вантажів двома або більше видами транспорту;

- інтермодальне перевезення - послідовне перевезення вантажів двома або більшою кількістю видів транспорту в одній і тій же вантажній одиниці або автотранспортному засобі, без перевантаження самого вантажу при зміні виду транспорту;

- комбіноване перевезення - інтермодальне перевезення, в межах якої більша частина рейсу припадає на залізничний, внутрішній водний або морський транспорт, при чому будь-який початковий та/або кінцевий відрізок шляху, на якому використовується автомобільний транспорт, є максимально коротким.

У більш широкому сенсі термін "інтермодальність" застосовується для опису системи транспортування, яка передбачає використання двох або більше видів транспорту для перевезення однієї і тієї ж вантажній одиниці або вантажного автотранспортного засобу в рамках комплексного транспортного ланцюга (за технологією «від дверей до дверей») без вантажно-розвантажувальних операцій.

Для впровадження «зеленої» логістики найбільш сприятливими із розповсюджених є мультимодальні технології перевезення вантажів. Поєднання різних видів транспорту створює передумови до мінімізації впливу на довкілля, рівні забруднення повітря, води і ґрунту, на показники акустичного забруднення, кількість випадків травматизму та захворювання, тобто спрямовано на досягнення стійкого балансу між економічними показниками галузі, вимогам суспільства та навколишнім середовищем.

Як правило в якості основних екологічних показників вантажних мультимодальних перевезень розглядається оцінка впливу на атмосферне повітря. Слід зазначити, що автотранспортом вже розглянуто питання питомого забруднюючого впливу на атмосферне повітря від загального при перевезенні 20-футового контейнера (TEU) різними видами транспорту [10], яке становить:

- за рівнем CO для автомобільного - 61,67%, для морського - 38,31%, для залізничного - 0,02%;

- за рівнем NOx для автомобільного - 52,6%, для морського - 35,94%, для залізничного - 11,46%;

- за рівнем SOx для автомобільного - 53,83%, для морського - 31,54%, для залізничного - 14,63%.

В даному контексті перед усіма учасниками мультимодальних перевезень постає необхідність забезпечення екологічної безпеки перевезень та охорони навколишнього середовища. Це можливо досягти шляхом створення системи екологічного менеджменту у відповідності до міжнародного стандарту ДСТУ ISO 14001 «Системи екологічного керування. Вимоги та настанови щодо застосування» [4], що містить систему заходів, які стосуються:

- впливу на атмосферне повітря;
- впливу параметричного забруднення (шум, вібрація);
- впливу на ґрунти;
- впливу на водні об'єкти;
- поводження з відходами.

Перевагами впровадження системи екологічного менеджменту та сертифікації згідно з ДСТУ ISO 14001[4] при перевезеннях дозволяє значно знизити споживання електроенергії та природних ресурсів, зменшити розміри екологічних податків, продемонструвати екологічні зобов'язання партнерам і вантажовласникам, показати інноваційність при веденні бізнесу та створити умови для ефективного управління екологічними ризиками. Вже зараз у багатьох галузях країн ЄС від бізнес-партнерів вимагається наявність сертифіката ISO 14001[4] як обов'язкової умови для співпраці.

Оцінку екологічної ефективності підприємства як частини логістичного ланцюга можливо зробити на підставі рекомендації стандарту ISO/FDIS 14031:2021 [13]. Структура операційної діяльності підприємства і фактори, що впливають на його екологічну ефективність та утворення відходів і викидів, наведено на рисунку 2.

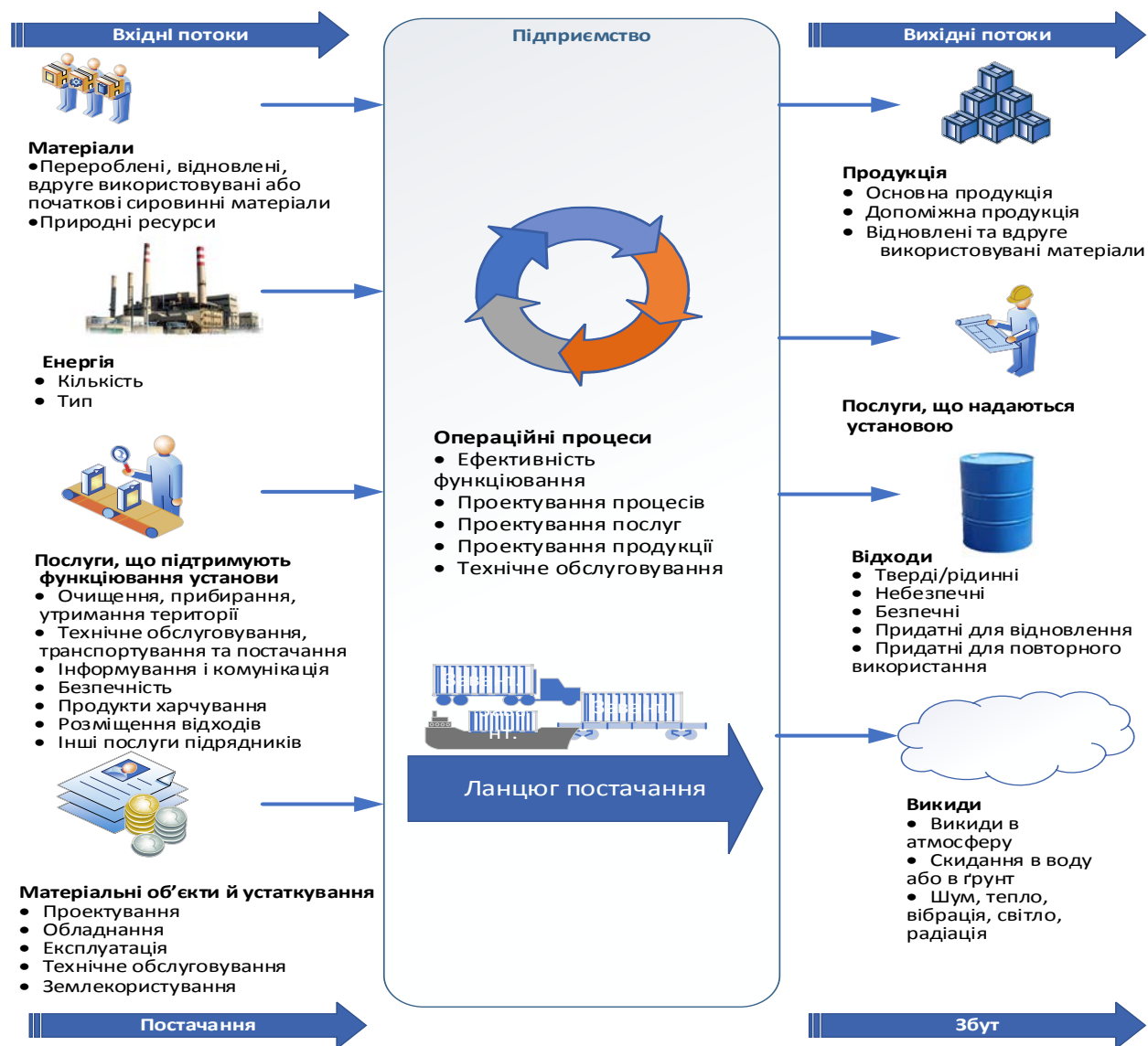


Рис. 2 – Структура операційної діяльності логістичного підприємства та фактори, що впливають на його екологічну ефективність

Основні кількісні показники негативного впливу залізничного транспорту на навколишнє природне середовище, за підсумками 2018 року, такі [7]:

- використання значних земельних площ - 216,4 тис. га, у т. ч. біля 84,3 тис. га під лісонасадженнями, які захищають навколишнє природне середовище від аварійних розсипів і розливів різних вантажів, очищають повітря від пилу та шкідливих речовин, протидіють ерозії ґрунтів і мають шумозахисне та декоративно-озеленювальне значення;

- утворилося 101,382 тис. тон відходів, з яких 0,148 тис. тон - I класу небезпеки, 0,930 тис. тон - II класу небезпеки, 22,450 тис. тон - III класу небезпеки та 77,854 тис. тон - IV класу небезпеки, з них 46,864 тис. тон - твердих побутових відходів.

Забруднення ґрунтового покриву відбувається при переливанні палива, шляхом вивітрювання з вагонів при перевезенні сипучих вантажів на відкритому рухомому складі та при втраті вантажу під час аварійних ситуацій. Статистичні дослідження показують, що щорічно з пасажирських вагонів на кожен кілометр шляху виливається до 200 м³ стічних вод і викидається 12 тон сухого сміття [15]. Під час навантаження, розвантаження і перевезення у вагонах сипучих вантажів відбувається часткове розпорошення цих вантажів, яке може досягати 8 %. Загальновідомо, що чим вище швидкість руху поїздів, тим більше втрати від розпилення. Відповідно до статистичних даних [7], загальна кількість втрат при перевезеннях мінеральних добрив насипом у критих вагонах становить 8,6 %, а

при перевезеннях у піввагонах насипом - 28, 1 %. Загальні втрати цих сипучих вантажів перевищують нормативи природного зменшення в декілька разів, що негативно впли-

ває на довкілля. Експлуатаційні фактори впливу залізничних вантажних вагонів на навколишнє середовище наведено у таблиці 1.

Табл. 1 - Експлуатаційні фактори впливу вантажу залізничних вантажних вагонів на забруднення навколишнього середовища

Тип залізничного вагону	Розсипання вантажу	Витікання вантажу	Випарювання вантажу
Універсальний	є	є	є
Спеціальний		є	є
Піввагон	є	є	
Критий вагон		є	
Платформа	є	є	
Цистерна		є	є
Хопер (думпкар)	є	є	

Принципи оплати за забруднення довкілля запроваджено у Законі України «Про охорону навколишнього природного середовища» [9], який має забезпечити компенсацію витрат, необхідних для ліквідації і нейтралізації наслідків шкоди навколишньому природному середовищу. У вітчизняних умовах розмір шкоди внаслідок засмічення земель (N_z) визначається згідно [11] за формулою

$$N_z = A \times B \times \Gamma_{oz} \times P_{dz} \times K_{zz} \times K_{eg}, \quad (1)$$

де: N_z - розмір шкоди від засмічення земель, грн;

A - коефіцієнт питомих витрат на ліквідацію наслідків засмічення земельної ділянки, значення якого дорівнює 0,5;

B - коефіцієнт перерахунку, що при засміченні земельної ділянки відходами дорівнює 15, а небезпечними відходами - 300.

Γ_{oz} - нормативна грошова оцінка земельної ділянки, що зазнала засмічення, грн/м²;

P_{dz} - площа засміченої земельної ділянки, м²;

K_{zz} - коефіцієнт засмічення земельної ділянки, що характеризує ступінь засмічення її відходами, який дорівнює 1.25-3.00 [10], залежно від об'єму відходів;

K_{eg} - коефіцієнт еколого-господарського значення земель, який для земель промисловості, транспорту, зв'язку, енергетики, оборони та іншого призначення дорівнює 1,0 [10].

Нормативна грошова оцінка земельної ділянки Γ_{oz} залежить від призначення, місця розташування, адміністративного статусу (місто, селище тощо). За даними Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру [11] станом на січень 2021 року величину Γ_{oz} для земель транспортних вузлів оцінено в 1949,78 грн/м² у м. Київ, 1605,47 грн/м² у м. Одеса, 639,78 грн/м² у м. Харків, 584,99 грн/м² у м. Львів, 306,35 грн/м² у м. Дніпро, 290,80 грн/м² у м. Вінниця, 118,24 грн/м² у м. Гребінка, 76,00 грн/м² у м. Жмеринка, 40,3 грн/м² у м. Знам'янка. Таким чином, розмір шкоди внаслідок засмічення земель, розрахований за формулою (1), може коливатися від 377,81 грн. до 18 279,19 грн. за м², тобто відрізняється майже у 50 разів.

Ресурсний цикл утворення та знищення сміття на основі ланцюга технологічно пов'язаних транспортних підприємств, сфери споживання та навколишнього середовища забезпечує постійний обіг ресурсу, що виділяється на боротьбу із сміттям, та процесів утворення сміття, оцінку яких можливо здійснити з урахуванням розміру шкоди від засмічення земель. Динаміку цього процесу можливо представити у вигляді системи диференційних рівнянь, які є певним розвитком моделі динаміки популяцій «хижак-жертва» Лотки - Вольтерра [12], з припущеннями про однорідність забруднення та незмінну в часі інтенсивність всіх процесів:

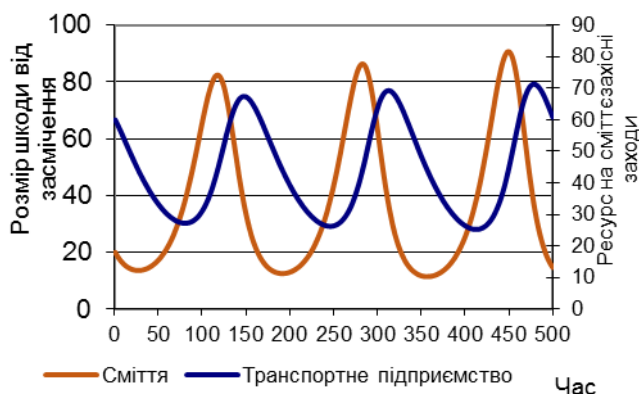
$$\begin{cases} \frac{dN_c}{dt} = N_c + N_c(p_2N_3 - d_2) \\ \frac{dN_3}{dt} = N_3 + N_3(r_1 - p_1N_c - N_3\varepsilon) \end{cases} \quad (2)$$

$$N_3 \geq 0; N_c \geq 0$$

де: N_c – кількісна оцінка фінансового ресурсу, що виділяється на заходи із усунення наслідків сміттевого забруднення на полігоні транспортного обслуговування;

p_2 – коефіцієнт ефективності заходів із знищення наслідків забруднення сміттям;

d_2 – коефіцієнт, що враховує випадкові фактори, які знижують ефект захисту від сміття;



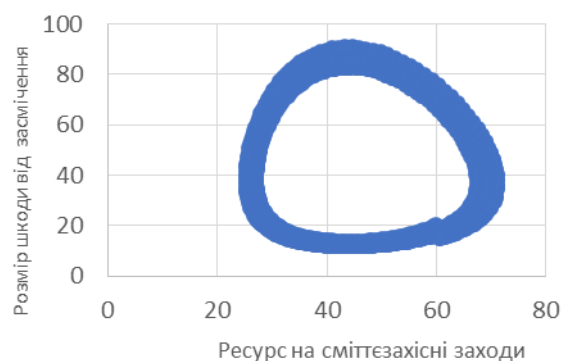
а)

r_1 – коефіцієнт, що враховує інтенсивність утворення сміття на території транспортного полігону;

p_1 – коефіцієнт, що враховує частку прямого ефекту від заходів із захисту від сміття;

ε – коефіцієнт інтенсивності природного знищення сміття під дією факторів навколишнього середовища.

Цикл та рівень необхідних фінансових ресурсів на заходи із усунення наслідків сміттевого забруднення для умовного полігону наведено на рисунку 3.



б)

Рис. 3 – Приклад розрахунку циклів заходів та рівня необхідних фінансових ресурсів на усунення наслідків сміттевого забруднення умовного залізничного полігону

З результатів, наведених на рис. 3а, можливо зробити висновок про необхідну циклічність та періодичність проведення заходів із боротьби з сміттям (у прикладі - не рідше ніж кожні 150 діб), що забезпечить транспортному підприємству прийнятний рівень сміттевого забруднення полігону обслуговування та економію фінансових ресурсів у порівнянні із відшкодуванням шкоди за засмічення. На рис. 3б інше представлення цих даних, що свідчить про наявність стійкого балансу між інтенсивністю забруднення та ресурсом, який виділяється на заходи із усунення наслідків від засмічення. Наведену модель (2) можливо доповнювати додатковими, у тому числі випадковими факторами, та рекомендовано покласти у основу системи підтримки прийняття рішень щодо екологічного керування ресурсами логістичного транспортного підприємства.

Відповідно до проведених досліджень [8] засмічення довкілля може проводитися двома шляхами: безпосередньо через збільшення викидів на кілометр, коли засоби транспорту рухаються з непродуктивною швидкістю, та опосередковано за рахунок збільшення кількості повторних перевезень та переадресування вантажів засобами транспорту. Дослідження показують, що тільки за рахунок реструктуризації транспортної мережі відбувається скорочення на 11 % витрат на експлуатацію та на 10 % викидів CO₂. Зменшення відстані, яку долає товар у ланцюзі поставок, є ключовим моментом в оптимізації транспортної мережі за екологічними критеріями, що відповідають концепції «зеленої» логістики.

Екологічний шлях до відповідного розвитку транспорту включає до себе «зелену» тару та упаковку. «Зелена» упаковка враховує

збереження навколишнього середовища та зменшує вплив товару на довкілля на всіх етапах його життєвого циклу. Зараз упаковка становить 23 % ваги відходів та 37 % обсягу відходів [8]. Тому впровадження контейнерних перевезень дозволяє знизити вимоги до міцності транспортної тари та, як наслідок, – знизити коефіцієнт тари і кількість матеріалу для її виготовлення, який потрапляє у довкілля після транспортування. Новітні технології «зеленої» упаковки дозволяють використовувати її в якості вторинної сировини або створювати умови для організації її сортування і біологічного розкладання у навколишньому середовищі. Використання сучасних саморозкладаючихся миючих засобів та реактивів під час обробки і видалення залишків вантажу із засобів транспорту та контейнерів дозволяє знизити екологічне навантаження на стічні води і ґрунти.

Ініціативи з впровадження «зеленої» логістики на транспорті можуть носити загальносистемний характер та комплексно включати сфери енергетики, постачання, транспортні операції та ринкову конкуренцію у вигляді "зелених" закупок. Раціональна організація постачання товарів за рахунок економічно виправданого закріплення постачальників і виробників у логістичному ланцюгу перевезень забезпечує користь навколишньому середовищу за умови отримання вигоди у соціальному напрямку.

Перевізники також можуть “пом'якшити” наслідки забруднення довкілля шляхом автоматизації процесу планування перевезень у таких напрямках:

- реалізація «зеленого» ланцюга поставок шляхом зменшення використання ресурсів і впорядкування бізнес-процесів;
- створення доступних логістичним операторам інформаційних систем реального часу відстеження вантажів та засобів транспорту;
- зменшення обсягу використання автомобільного транспорту завдяки переорієнтації значної частини перевезень на довгих відрізках маршруту (вище 200 км згідно європейських вимог) на використання більш екологічно чистих видів транспорту, в першу чергу – залізничного;

- автоматизації наскрізних безпаперових бізнес-процесів.

З цієї метою у ЄС ще в 1986 році була затверджена перша версія системи UN/EDIFACT (Electronic data interchange), яка використовується на залізничному транспорті. Ця інформаційна технологія використовує універсальну мову для формалізації електронних документів, наприклад, INVOIC (рахунок-фактура), стандартних замовлень ORDERS (замовлення на поставку), CUSDEC (митна декларація), IFTMFR (міжнародне транспортно-експедиційне повідомлення) тощо. Це дозволило об'єднати інформацію по окремих видах транспорту в мультимодальні повідомлення та отримати екологічний ефект від безпаперового документообігу.

Транспорт значним чином впливає не тільки на рівень забруднення атмосферного повітря, води і ґрунтів. Залізничний та автомобільний транспорт є джерелом параметричних джерел забруднення, зокрема шуму. Найбільш активний підхід до зниження рівня шуму здійснюється на стадії проектування та придбання устаткування за програмою "Buy silence", що існує в Європі.

Для оцінки та управління шумом у навколишньому середовищі рекомендовано також використовувати вимоги директиви 2002/49/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 25 червня 2002 р. [14]. Першим кроком у програмі "Buy silence" є встановлення прийнятних критеріїв шуму для нового обладнання, які приймаються покупцем і продавцем як абсолютна вимога [6]. Сучасне обладнання, що використовується при мультимодальних перевезеннях, задовольняє цим вимогам, а існуюче – у більшості випадків застосовано або доопрацьовано згідно з цими вимогами.

Аналіз досліджень дозволяє зробити висновки про те, що основними джерелами акустичного забруднення територій населених місць є транспортні потоки, в першу чергу - потоки автотранспорту [7]. Основні фактори, що впливають на акустичні характеристики автотранспортних потоків, це зростання щільності автодоріг, стан їх покриття, збільшення інтенсивності та швидкості руху у денний і нічний час тощо. Акустичний вплив на довкілля від залізничного транспорту ха-

рактизується такими особливостями: збільшення щільності залізничної мережі і наближення колій до житлових будинків, збільшення швидкості руху поїздів, наявність у потоці високошвидкісних пасажирських поїздів та колійної техніки, збільшення довжини і маси вантажних поїздів.

Фахівці при дослідженні шуму транспортного походження для відображення усіх характеристик використовують широкосмугові вимірювання, що охоплюють весь чутний діапазон частот. Тому для оцінки рівня шуму застосовують А-зважування. Воно, по-суті, є величиною впливу шуму, яке відкориговане з урахуванням факторів, що враховують ступінь та особливості сприйняття шумового подразнення. Таким чином, при розрахунку рівнів транспортного шуму, прогнозуванні характеристик його джерел та особливостей поширення відповідно до стандарту ISO 1996-2:2017 «Акустика - опис, вимірювання та оцінка шуму навколишнього середовища» [14] визначають L_{Aeq} - А-ваговий еквівалент безперервного рівня звуку, що вимірюється у дБА. Загальна оцінка рівня транспортного шуму здійснюється за формулою:

$$L_T = L_{Aeq} + K_I + K_T + K_D + K_S, \quad (3)$$

де: K_I - поправка на імпульси у загальних складових шумового забруднення;

K_T - поправка тональні імпульси;

K_D - поправка на денний час доби;

K_S - поправка (позитивна чи негативна) для деяких типів джерел і типів ситуацій.

Згідно з чинним стандартом [5, 14] нормований рівень шуму $L_T(7,5)$, що створюється автотранспортом, визначається шумоміром на відстані 7,5 м від першої (ближньої) до розрахункової точки смуги транспортного потоку інтенсивністю I_p авт/год. Для наближеного визначення рівня шуму $L_T(N_x)$ на відстані N_x , м, користуються формулою Орнатського та Карагодіна [15], яка враховує фізичні закони поширення звукових хвиль у навіколоземному просторі:

$$L_T(N_x) = 46 + 11,8 \cdot \lg I_p + \psi - \sum_{i=1}^4 S_i, \quad (4)$$

де: ψ - сумарна поправка, яка враховує відхилення умов вимірювання від типових, дБА;

S_1 - зниження шуму внаслідок поширення звукових хвиль в атмосфері, дБА;

S - зниження шуму під впливом придорожньої зони, дБА, що визначається як

$S_2 = K_p S_1$, причому коефіцієнт поглинання шуму K_p приймається для асфальту – 0,9, для відкритого ґрунту – 1,0, для зелених насаджень або газону – 1,2;

S_3 - зниження шуму під впливом зелених насаджень, дБА, яке при їх відсутності $S_3 = 0$;

S_4 - зниження шуму під впливом поглинального ефекту будівель, який умовно приймається 2...5 дБА.

Сумарна поправка ψ визначаються за формулою

$$\psi = \pm \psi_N + \psi_V \pm \psi_i + \psi_T, \quad (5)$$

де: ψ_N - поправка на співвідношення громадського та вантажного транспорту в транспортному потоці (збільшується на 1 дБ на кожні 10% відхилення від нормального складу), дБА, який вважається нормальним, якщо в транспортному потоці 20 % вантажних автомобілів;

ψ_V - поправка на відхилення швидкості руху, дБА, яка зростає на 1 дБА на кожні 10 % відхилення швидкості від 40 км/год;

ψ_i - поправка на поздовжній ухил автодороги, дБА, яка зростає на 1 дБА на кожні 2 % ухилу дороги;

ψ_T - поправка яка за наявності трамваю у транспортному потоку становить +3 дБА.

Якщо наявний рівень шуму транспортного потоку перевищує граничний норматив, то необхідно використовувати шумозахисні заходи.

Найпоширенішим джерелом шуму та головною причиною слухового подразнення і занепокоєння людей у всіх країнах світу є шумове забруднення від автомобільного транспорту, тому саме йому приділяється найбільша увага WHO (Всесвітня організація охорони здоров'я) та у розвинених країнах світу щодо визначення нормативів обмеження шуму (табл. 2, згідно [16]) і розробці заходів щодо його зниження від транспортних потоків.

Табл. 2 - Обмеження на рівень шуму
від автомобільного транспорту у країнах світу

Країна	Денне обмеження, дБА	Нічне обмеження, дБА
Австралія	60	55
Австрія	50 - 55	40 - 45
Канада	50	50
Данія	55	55
Франція	60 - 65	55 - 57
Німеччина	50 - 55	40 - 45
Нідерланди	50	40
Іспанія	60	50
Швеція	55	55
Швейцарія	55	45
Великобританія	55	42
Рекомендації WHO	50 - 55	50 - 55

Розрахунки рівнів шумового забруднення від лінійної ділянки автодороги виконуються на підставі даних її технічної інвентаризації, з урахуванням таких показників:

- інтенсивність руху по ділянці автодороги на досліджуваній території I_p , од. авто./год, в різний час доби, днів тижня, місяців року;
- середня швидкість руху по ділянці автодороги, що досліджується, км / год;
- ухили автодороги і вид дорожнього покриття;
- стан дорожнього покриття;
- структура транспортного потоку на дорозі, за видами автомобільного транспорту (вантажний, легковий, мотоцикли і спеціальний транспорт).

Так, згідно з Державними санітарними нормами допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків [5], шумовими характеристиками потоків автомобільного транспорту є еквівалентні $LA_{екв}$ і максимальні $LA_{макс}$ рівні звуку в дБА, на відстані 7,5 м від осі найближчої до розрахункової точки смуги руху транспорту.

Величини $LA_{екв}$ визначають за формулою:

$$LA_{екв} = 44 + 0,26V + 10 \lg(N_3/V_3) + \Delta L_{Анокр} + \Delta L_{Аухил}, \quad (6)$$

де: V - середня швидкість транспортного потоку на перегоні, км/год;

N_3 - зведена інтенсивність руху, од/год;

V_3 - зведена (відносно швидкості легких автомобілів) середня швидкість транспортного потоку на перегоні, км/год;

$\Delta L_{Анокр}$ - поправка у дБА, що враховує тип покриття проїзної частини: асфальт – 0, цементобетон +3, бруківка +5;

$\Delta L_{Аухил}$ - поправка у дБА, що враховує позовдовжній ухил дороги: від 0,5 до 8 дБА.

Еквівалентний рівень шуму від залізничного транспорту дещо нижче, ніж від автотранспорту. У деяких країнах оцінка $L_{Аeq}$ розраховується шляхом віднімання з фактичного значення індексу $L_{Аeq}$ значення 5 дБА (так званий "залізничний бонус"). Взагалі шумові обмеження для нових залізничних ліній, прокладених всередині житлових кварталів, складають 60 - 70 дБА, але в порівнянні з шумом автомобільного транспорту, для одного і того ж значення $L_{Аeq}$, рівень слухового роздратування від залізниці нижче за автомобільний транспорт. Еквівалентні рівні шуму від залізничного транспорту на прилеглих територіях житлової забудови часто перевищують 65-70 дБА у нічні та денні часи, при прийнятій вітчизняній нормі 40 дБА у денний та 30 дБА у нічний час [4].

Розрахунок шуму від лінійної ділянки залізничних колій виконується з урахуванням таких показників:

- оцінка інтенсивності руху рухомого складу протягом доби;
- вид рухомого складу (пасажирський або вантажний);

- довжина складу потягу та середня швидкість його руху по дослідній ділянці колії;
- середня кількість рейкових стиків на кілометр шляху;
- відповідність стану залізничних колій технічним регламентам.

Шумовими характеристиками потоків залізничних поїздів відповідно до ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013 є еквівалентні $LA_{екв}$ і максимальні $LA_{макс}$ рівні звуку у дБА на відстані 25 м від осі найближчої до розрахункової точки колії руху. Ці характеристики для вантажних поїздів визначають за формулами:

$$LA_{екв} = 4,1lg l + 13lg V + \Delta L_{Астик} + 39,9; \quad (7)$$

$$LA_{макс} = 79,4 + \Delta L_{Астик} + 0,233V, \quad (8)$$

де: V - середня розрахункова швидкість руху поїздів, км/год;

l - фактична (розрахункова) довжина поїздів, м;

$\Delta L_{Астик}$ - поправка в дБА, що враховує тип залізничної колії: з відкритими стиками на залізобетонних шпалах + 2; з відкритими стиками на дерев'яних шпалах 0; безстиківий на залізобетонних шпалах 0; безстиківий на дерев'яних шпалах -2.

Орієнтовні еквівалентні рівні зовнішнього звукового навантаження від залізничних об'єктів наведено у таблиці 3, яку складено на підставі діючих нормативів та результатів досліджень [5, 6]. Рішенням щодо зменшення шумового впливу на довкілля є зменшення кількості переробок вагонів на станціях у процесі перевезення вагонів шляхом формування наскрізних маршрутів поїздів, в тому числі – маршрутів змішаних перевезень вантажів.

Табл. 3 – Еквівалентні рівні звукового навантаження на довкілля від залізничних об'єктів

Об'єкти	Рівень звуку $L_{Аекв(100м)} / (L_{Аекв(7,5м)})$, дБА
Сортувальні станції:	
позакласні	75 / (97)
1-го класу	77 / (99)
Вантажні станції	65 / (87)
Відкрити вантажні термінали	75 / (97)
Локомотивні і вагонні депо	68 / (90)

Слід зауважити, що фактичний еквівалентний рівень шуму для автотранспорту досягає 70–90 дБА у довгостроковому періоді, часто – незалежно від денного або нічного періоду доби [4]. Дослідження свідчать про те, що збільшення рівня шуму на 10 дБА, а для фізіологічного сприйняття людиною це відповідає збільшенню гучності в 4 рази, зменшує працездатність робітників на виробництві та збільшує загальну захворюваність.

Вплив цього негативного фактору призводить до підвищеного навантаження на нервову, серцево-судинну системи людини. Виникають шкідливі умови праці, наслідком яких є прискорена втомлюваність працівників та зниження їх уваги, що в свою чергу підвищує вірогідність виникнення подій з небажаними наслідками (травм, аварій та ін.). Окрім негативного впливу на організм людини, акустичні процеси скорочують ресурс елементів конструкцій та механізмів.

Оцінку ризику здоров'ю населення від впливу транспортного шуму, за емпіричними даними [16] та власними дослідженнями, наведено на рисунку 4 (порушення сну), при цьому вражаються органи і системи людини при стійких рівнях шуму $L_r > 70$ дБА, імовірність (ризик) пред'явлення населенням скарг - від 0,75 од./100 осіб.

Аналіз даних наведених на рисунку 4 показує, що перехід на перевезення від автомобільного до залізничного транспорту навіть на гранично допустимому рівні шуму $L_r = 70$ дБА частка осіб зі стійким порушенням сну зменшується на 10 %, а при $L_r = 90$ дБА - вже на 24 %.

Найчастіше як заходи з захисту від зовнішнього шуму застосовують зменшення швидкості руху засобів транспорту, виконання насипу або виїмки для прокладання колії, використання електричних транспортних засобів, встановлення у житлових будинках шумозахисних вікон та шумозахисних екра-

нів вздовж колії. Ефективність останніх підтверджується результатами досліджень: при встановленні шумозахисного екрану висотою 2,5 м зниження рівня транспортного шуму на відстані 100 м від його джерела складає $\Delta L_r(100) \approx -10$ дБА, з екраном висотою 3,5 м - $\Delta L_r(100) \approx -15$ дБА, а при висоті екрану 6 м $\Delta L_r(100) \approx -22$ дБА, за інших рівних умов.

За останні роки дуже ефективно себе зарекомендували такі заходи зниження шуму від залізничного рухомого складу, як улаштування безстикової залізничної колії («оксамитовий шлях») та встановлення фальшбортів на вагони. «Оксамитовий шлях» - це ділянка залізничного шляху, змонтована з рейкових плетей зварених безстиковим способом. Ці плеті значно довше звичайної рейки в 25 м, тому стиків між ними значно менше. Такі шляхи із використанням гумових прокладок між рейками і шпалами дозволяють знизити шумове та вібраційне випроміню-

вання рухомого складу у довкілля в межах 15-20 дБА [6]. Додатково воно зменшується при введенні шліфування рейок та зелених насаджень вздовж колій. Ці заходи дозволяють також істотно знизити витрату палива та електроенергії на рух поїздів.

Фальшборти вагонів являють собою конструкцію, яка повністю закриває їх кліренс збоку і виглядає як продовження зовнішньої частини бокового огороження вагону до рейкового полотна. При цьому з внутрішньої сторони, як правило, ці огороження оброблені шумопоглинальним матеріалом (рис. 5). Поширення використання даної конструкції для вагонів контейнерних і контрейлерних поїздів, які мають відносно невелику масу та довжину, вочевидь сприятиме зменшенню шумового забруднення довкілля від цих поїздів.

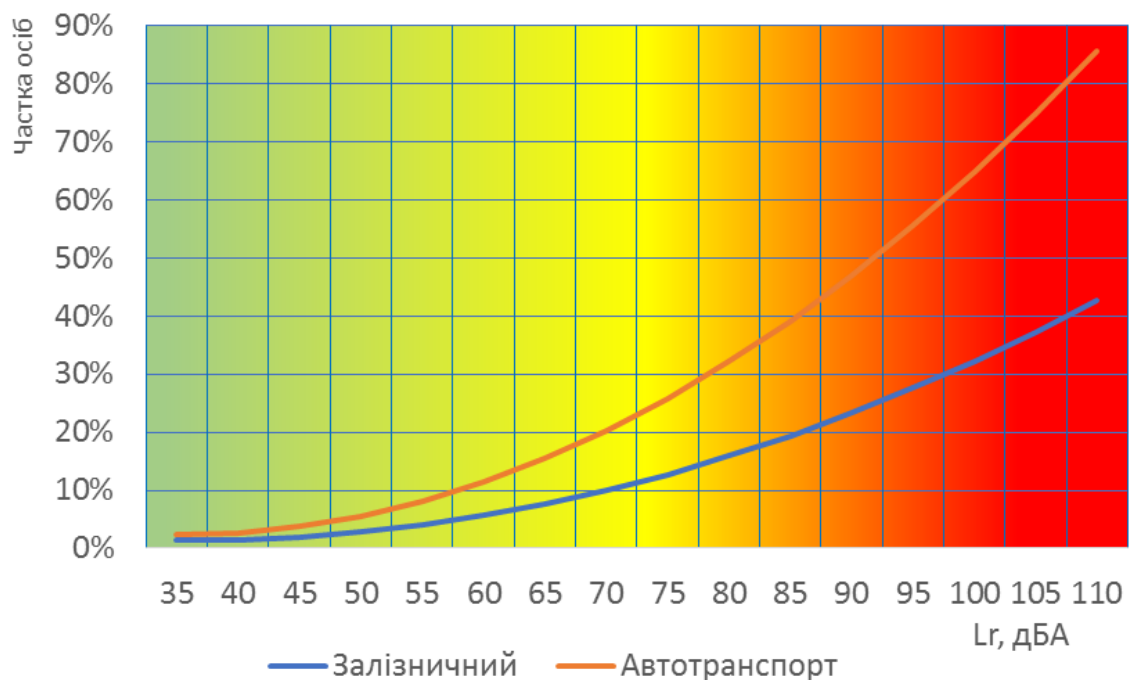


Рис. 4 – Зміни частки осіб зі стійким порушенням сну при збільшенні рівнів шуму від залізниці та автотранспорту

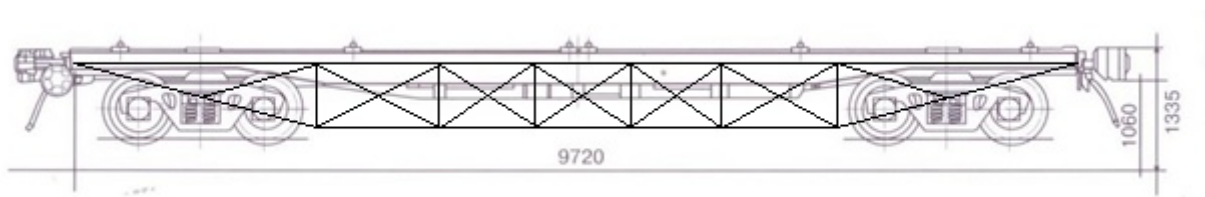


Рис. 5 – Залізнична платформа для перевезення великотоннажних контейнерів з фальшбортами із шумопоглинальним матеріалом (концепт)

Для перспективного використання можливо рекомендувати наступну схему управління ризиками під час дії транспортного шуму. Для заздалегідь заданого рівня ризику (у ймовірнісній або у вартісній формі) можливо зробити наступну експертну оцінку варіантів можливих дій спрямованих на зменшення шумового навантаження від залізничного транспорту:

- при низькому рівні ризику рекомендувати моніторинг шумового навантаження;
- при помірному рівні ризику рекомендувати використання шумозахисного екранування, зелених насаджень вздовж колій та шумопоглинаючих конструкцій в ближніх будівлях;
- при високому рівні ризику рекомендувати перегляд проектної документації на нові будівлі у зоні шумового забруднення, переселення населення на більшу відстань від джерела шуму, будівництво та реконструкцію споруд та зданий із застосуванням спеціальних технологій, що забезпечують високий рівень їх шумозахищеності.

Висновки

Розвиток мультимодальних перевезень вантажів сприяє впровадженню «зелених» логістичних технологій, з виділенням наступних перспективних напрямків діяльності у цієї сфері:

- забезпечення проведення комплексної екологічної оцінки планів і програм розвитку транспортної галузі шляхом проектування, реконструкції та будівництва об'єктів транспортної інфраструктури з використанням альтернативних варіантів на основі концепції «зеленої» логістики, з мінімальним негативним впливом на навколишнє середовище, в тому числі – зі зменшенням забруднення сміттям та шумовим впливом;
- зменшення обсягу використання автомобільного транспорту завдяки переорієнтації значної частини перевезень на довгих відрізках транспортних маршрутів (вище 200 км згідно європейських вимог) на використання більш екологічно чистих видів транспорту, в першу чергу – залізничного, в умовах дотримання нормативних вимог до автомобільного та залізничного транспорту стосовно додержання екологічних обмежень;
- використання шумозахисного екранування у місцях розташування населених пунктів з кількістю населення не менш як 250

тис. осіб поблизу авто- та залізничних магістралей;

- для мінімізації впливу засобів транспорту на навколишнє середовище при виробництві нової техніки застосувати екологобезпечні технології і матеріали, шумозахисні технічні рішення, сучасні технології утилізації та ліквідації залишків нафтопродуктів, інших відходів і сміття, дієві методи зменшення викидів у повітря сипучих вантажів, спеціальні технології очищення забруднених вод після миття автомобілів, вагонів та локомотивів;
- реалізація «зеленого» ланцюга поставок шляхом зменшення використання ресурсів та впорядкування бізнес-процесів відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 14001;
- створення доступних логістичним операторам інформаційних систем реального часу відстеження руху вантажів та засобів транспорту з метою скорочення тривалості перевезень та впровадження ідеології «зелених» закупок;
- введення автоматизованих наскрізних безпаперових бізнес-процесів.

Література

1. Стратегія акціонерного товариства «Українська залізниця» на 2019-2023 роки. — Режим доступу: <https://bit.ly/3kiKGgL>.
2. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. — Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80>.
3. Терминология комбинированных перевозок / ЕЭК экономического и социального совета ООН TRANS/WP.24/2000/1 — Режим доступу: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/wp24/documents/wp24-00-1r.pdf>.
4. Системи екологічного керування. Вимоги та настанови щодо застосовування (ISO 14001:2015, IDT): ДСТУ ISO 14001:2015. — [Чинний від 2016-07-01]. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. — 29 с. — (Нац. стандарт України).
5. Про затвердження Державних санітарних норм допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови. МОЗ України. Наказ від 22.02.2019 № 463. —

Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0281-19>.

6. Мямлін С.В. Параметрична екологія на залізничному транспорті: принципи, оцінка, контроль, безпека / С.В. Мямлін, Ю.В. Зеленько, Л.О. Недужа. – Дніпропетровськ: 2015.- 64 с.

7. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2018 році / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. — Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/>.

8. Palanivelu P., Dhawan M. Green Logistics. White Paper Tata Consulting Systems // TCS. – Режим доступу: https://www.academia.edu/28094615/Green_Logistics_Whitepaper.

9. Про охорону навколишнього природного середовища. Закон України від 25.06.1991 № 1264-ХІІ (із змінами станом на 01.01.2021 р.). — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>.

10. Ломотько Д. В. Перспективи «зеленої» логістики при використанні контейнерних та контрейлерних перевезень в Україні / Д. В. Ломотько, О. М. Огар, Д. С. Козодой, М. Д. Ломотько // Залізничний транспорт України. - 2021. - № 1. - С. 11-21. DOI: 10.34029/2311-4061-2021-138-1-11-2.

11. Про затвердження «Методики визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства»: наказ Мінекобезпеки України від 27.10.1997, № 171 (редакція від 12.01.2021). — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0285-98>.

12. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование / В. Вольтерра. - М.: Наука, 1976. – 287 с.

13. ISO/FDIS 14031:2021. Environmental management — Environmental performance evaluation — Guidelines. / Екологічний менеджмент. Оцінка екологічної ефективності. Керівництво. — Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/81453.html>.

14. ISO 1996-2:2017. Acoustics. - Description, measurement and assessment of environmental noise. - Part 2: Determination of sound pressure levels <https://www.iso.org/ru/standard/59766.html>.

15. Білявський Г.О. Основи екології: теорія та практикум: навч. посібник / Г.О. Біляв-

ський, Л.І. Бутченко. – К.: Лібра, 2006. – 368 с.

16. Aircraft and road traffic noise and children's cognition & health: exposure-effect relationships. - Stansfeld S.A., Berglund B., Clark C., Lopez Barrio I., Fischer P., Ohrstrom E., Haines M.M., Head J., Hygge S., van Kamp I. & Berry B. // The Lancet, vol. 366. Issue 9487, 2005.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Ломотько Денис Вікторович,

д. т. н., професор, завідувач кафедри «Транспортні системи та логістика» Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДАЗТ). Пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна. Тел.: +38 057 730 19 55; +38 099 761 00 90. E-mail: den@kart.edu.ua.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7624-2925>.

Огар Олександр Миколайович,

д. т. н., професор, завідувач кафедри «Залізничні станції та вузли» УкрДАЗТ. Пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна. Тел.: +38 057 730 10 42.

E-mail: ZSV2020@kart.edu.ua.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1967-5828>.

Козодой Дмитро Сергійович,

к. т. н., доцент кафедри «Охорона праці та навколишнього середовища» УкрДАЗТ. Пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна. Тел.: +38 057 730 10 56.

E-mail: Dmitry_1980@ukr.net.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3615-1815>.

Ломотько Микола Денисович,

Аспірант кафедри «Залізничні станції та вузли» УкрДАЗТ. Пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050, Україна. Тел.: +38 057 730 10 42.

E-mail: ZSV2020@kart.edu.ua.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0294-2686>

УДК 625.151

DOI: 10.34029/2311-4061-2021-140-3-29-37

Канд. техн. наук Мойсєєнко К. В.

ДІАПАЗОНИ ПРИВЕДЕНИХ МАС КОЛІЇ У ВЕРТИКАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ В МЕЖАХ СТІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ НА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БРУСАХ ПРОЄКТУ 1740 (ПРЯМИЙ НАПРЯМОК)

Ключові слова: залізнична колія, стрілочний перевід на залізобетонних брусах, приведена маса.

Вступ

У роботі [1] нами рекомендовано діапазони приведених вертикальних жорсткостей скріплення та баласту із земляним полотном для найпопулярнішого на залізницях України перевodu типу Р65 марки 1/11 на залізобетонних брусах – проєкту 1740. Ця робота має на меті визначення іншої, не менш важливої характеристики пружно-деформативних якостей колії у вертикальній площині в межах цього ж таки стрілочного перевodu – маси, яка взаємодіє з рухомим складом. Модель колії, для якої її визначено, ідентична наведеній у статті [1]: маса, що взаємодіє, розділена на дві, приведені до колеса екіпажа (рейкові елементи, залізобетонні бруси), змінні по довжині перевodu та різні для контррейкової й хрестовинної ниток.

Під час досліджень взаємодії колії та рухомого складу в межах стрілочного перевodu на залізобетонній основі (здебільшого хрестовини) застосовують два підходи до розрахунку приведених мас металевих частин і брусів. Перший – приведену масу рейкових елементів стрілочного перевodu розраховують як масу металевих частин перевodu, що розташована в додатній зоні лінії їх прогинів; масу брусів, що взаємодіє, обчислюють на цій самій довжині [2, 3]. Другий [4, 5] базується на дослідженні К. М. Шмідта [6], який визначив приведену масу колії, використовуючи метод Релея та принцип повної енергії системи (у розробленому професором Е. І. Даниленком методі розрахунку приведеної маси в межах стрілочного перевodu [7] для визначення приведеної маси рейкових

елементів і брусів теж запропоновано застосовувати ідею К. М. Шмідта).

У першому випадку приведену масу металевих частин або брусів визначають за формулою:

$$M = l \cdot m, \quad (1)$$

де l – довжина додатної частини лінії прогину металевих частин;

m – маси металевих частин або брусів, що розташовані в межах додатної частини лінії прогину металевих частин, віднесені до її довжини. Щодо брусів уважається, що у взаємодії бере участь частина бруса, яка розташована в межах додатної частини лінії прогину бруса.

Для балки нескінченної довжини, укладеної на суцільну основу однакової пружності, довжину додатної частини лінії прогину визначають за відомою залежністю

$$l = \frac{3\pi}{2k}, \quad (2)$$

де k – коефіцієнт відносної жорсткості пружної основи та балки.

Після підстановки залежності (2) у формулу (1) отримуємо:

$$M = \frac{3\pi}{2k} m. \quad (3)$$

У другому випадку, згідно з дослідженням К. М. Шмідта [6], приведену масу рейкошпальної решітки визначають за формулою

$$M = \frac{3P_{\text{рш}}}{2gk}, \quad (4)$$

де $P_{\text{рш}}$ – вага 1 м рейкошпальної решітки; g – прискорення вільного падіння.

Розділяючи рейкошпальну решітку на рейкові елементи та бруси, отримуємо таку залежність для визначення приведених мас рейкових елементів або брусів:

$$M = \frac{3P}{2gk}, \quad (5)$$

де P – вага металевих частин або брусів, що розташовані на 1 м стрілочного перевodu.

Беручи до уваги, що $P = gm$, формулу (5) можна переписати у вигляді

$$M = \frac{3}{2k} m. \quad (6)$$

Нескладно помітити, що величина приведеної маси, розрахована за формулою (3), перевищуватиме значення, отримане за формулою (6). Це дозволяє одержати діапазон величин мас, застосувавши для розрахунку максимального значення приведеної маси формулу (3), а мінімального – формулу (6).

Використання під час розрахунків взаємодії колії та рухомого складу діапазону мас замість конкретної величини повністю відповідає рекомендаціям фундаторів сучасної науки про взаємодію колії та рухомого складу на вітчизняних теренах – професорів М. Ф. Вериги і О. Я. Когана [8].

У цій статті прийняті такі передумови:

– у місці розташування i -го бруса рейковий елемент розглядається як балка нескінченної довжини постійного перерізу з моментом інерції I_i , укладена на суцільну основу однакової пружності з модулем пружності U_i ;

– бруси розглядаються як короткі балки постійного перерізу, укладені на суцільну основу однакової пружності й завантажені зосередженими силами. Згідно з рекомендаціями, наведеними в роботі [9], реакції незавантажених рейкових ниток не враховуються.

Метою статті є запровадження в науковий обіг властивих стрілочному перевodu на залізобетонних брусах діапазонів приведених мас колії у вертикальній площині, різних для контррейкової та хрестовинної ниток і змінних по довжині перевodu.

Методика розрахунку приведених мас металевих частин

Мінімальну величину приведеної маси металевих частин контррейкової або хрестовинної нитки для перерізу, що проходить через вісь i -го бруса, визначаємо за формулою

$$M_{m,i}^{\min} = \frac{3}{2k_i} m_m(x_i), \quad (7)$$

де $m_m(x)$ – функція маси одного метра металевих частин стрілочного перевodu від відстані до переднього стику рамної рейки;

x_i – відстань від переднього стику рамної рейки до i -го бруса;

k_i – коефіцієнт відносної жорсткості основи та металевих частин стрілочного перевodu в місці розташування i -го бруса.

Коефіцієнт відносної жорсткості основи k_i розраховуємо за відомою залежністю

$$k_i = \sqrt[4]{\frac{U_i}{4EI_i}}, \quad (8)$$

де U_i – значення модуля пружності суцільної підрейкової основи в місці розташування i -го бруса;

E – модуль пружності рейкової сталі;

I_i – момент інерції металевих частин перевodu (рамна рейка, рамна рейка з гострьком, хрестовина, колійна рейка з контррейкою) відносно горизонтальної осі на i -му брусі.

Щодо моменту інерції металевих частин прийнято такі припущення: моменти інерції хрестовини та гострька постійні по довжині; момент інерції хрестовини дорівнює подвійному моменту інерції рейки; на ділянках перевodu за коренем гострька, перед і за хрестовиною, де розташовані спеціальні стрілочні підкладки, момент інерції дорівнює подвійному моменту рейки. Для контррейкової нитки залежно від номера бруса момент інерції металевих частин визначаємо за залежністю (9), для хрестовинної – (10).

$$I_i = \begin{cases} I_{P65}, i = 1 - 21, 33 - 55, 65 - 85, \\ 2I_{P65}, i = 22 - 32, \\ I_{P65} + I_{PK65}, i = 56 - 64, \end{cases} \quad (9)$$

де I_{P65} – момент інерції рейки типу P65;

I_{PK65} – момент інерції контррейкової рейки типу PK65.

$$I_i = \begin{cases} I_{P65}, i = 1 - 5, 33 - 51, 73 - 85, \\ I_{P65} + I_{OP65}, i = 6 - 21, \\ 2I_{P65}, i = 22 - 32, 52 - 72, \end{cases} \quad (10)$$

де I_{OP65} – момент інерції гострькової рейки типу OP65.

Формули, за якими визначатимемо функцію $m_m(x)$ залежно від рейкової нитки й номера бруса, наведено в таблиці 1.

Тут m_1 – маса рейки типу Р65 разом з вузлами проміжного скріплення (за виключенням закладних болтів з гайками, шайбами та втулками), віднесена до довжини ділянки стрілочного переходу, на якій застосовується скріплення типу КБ;

m_2 – маса рамної рейки разом з гостряком, спеціальними стрілочними підкладками й відповідним проміжним скріпленням (маса звичайних підкладок КБ-65 і скріплення типу КБ не врахована);

m_3 – маса 1 м рейки типу Р65;

m_4 – маса гостряка;

m_5, m_7, m_9 – маси спеціальних стрілочних підкладок разом з відповідним проміжним скріпленням, що розташовані за коренем гостряка, перед і за хрестовиною відповідно;

m_6 – маса колійної рейки разом з контррейкою, спеціальними стрілочними підкладками та відповідним проміжним скріпленням (маса звичайних підкладок КБ-65 і скріплення типу КБ не врахована);

m_8 – маса хрестовини разом зі спеціальними стрілочними підкладками й відповідним проміжним скріпленням.

Зміст відстаней $l_1 - l_8$ пояснює рисунок 1.

Табл. 1 – Формули розрахунку маси одного метра металевих частин стрілочного переходу залежно від рейкової нитки та номера бруса

Рейкова нитка	Номери брусів	Формула
Контррейкова	1-5, 33-55, 65-85	$m_m(x) = m_1$
	6-21	$m_m(x) = [m_2 - m_3(l_2 - l_1) - m_4] / l_1$
	22-32	$m_m(x) = 2m_3 + m_5 / l_3$
	56-64	$m_m(x) = [m_6 - m_3(l_5 - l_7)] / l_7$
Хрестовинна	1-5, 33-51, 73-85	$m_m(x) = m_1$
	6-21	$m_m(x) = [m_2 - m_3(l_2 - l_1)] / l_1$
	22-32	$m_m(x) = 2m_3 + m_5 / l_3$
	52-54	$m_m(x) = 2m_3 + m_7 / l_4$
	55-65	$m_m(x) = m_8 / l_6$
	66-72	$m_m(x) = 2m_3 + m_9 / l_8$

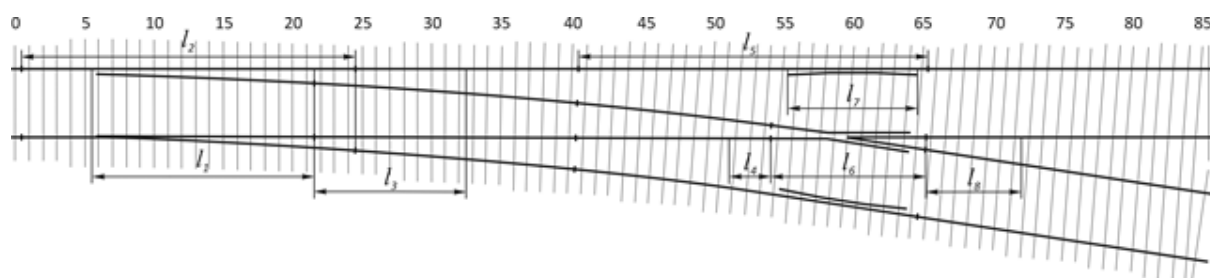


Рис. 1 – Схема, що пояснює зміст відстаней $l_1 - l_8$

Модуль пружності в місці розташування i -го бруса визначаємо за дещо зміненою формулою з роботи [10]:

$$U_i = \sqrt[3]{\frac{\beta_i^4}{64EI_i}}, \quad (11)$$

де β_i – значення жорсткості рейкової нитки на i -му брусі, отримане шляхом натурного вимірювання.

Максимальну величину приведеної маси металевих частин контррейкової або хрестовинної нитки для перерізу, що проходить через вісь i -го бруса, визначаємо за формулою

$$M_{m,i}^{\max} = \int_{x_i-0,5l(i)}^{x_i+0,5l(i)} m_m(x) dx, \quad (12)$$

де $l(i)$ – довжина додатної частини лінії прогину металевих частин, розрахована в місці розташування i -го бруса.

Величину $l(i)$ обчислюємо за відомою формулою

$$l(i) = \frac{3\pi}{2k_i}. \quad (13)$$

Методика розрахунку приведених мас брусів

Мінімальну величину приведеної маси брусів контррейкової або хрестовинної нитки в перерізі, що проходить через вісь i -го бруса, визначаємо за формулою

$$M_{бр,i}^{\min} = \frac{3}{2k_i} \left(\frac{m_{бр,i-1} + m_{бр,i} + m_{бр,i+1}}{0,5l_{i-1} + l_i + l_{i+1} + 0,5l_{i+2}} \right), \quad (14)$$

де m_{i-1} , m_i , m_{i+1} – маси частин брусів відповідної рейкової нитки;

l_{i-1} , l_i , l_{i+1} , l_{i+2} – відстані між осями брусів з номерами $i-2$ і $i-1$, $i-1$ і i , i і $i+1$ та $i+1$ і $i+2$, відповідно, приймаються згідно зі схемою укладання переводу.

Масу частини бруса контррейкової або хрестовинної рейкової нитки визначаємо за формулою

$$m_{бр} = m_{бр}^{\text{пог}} \cdot l_{кр} \text{ або } m_{бр} = m_{бр}^{\text{пог}} \cdot l_{хр}, \quad (15)$$

де $m_{бр}^{\text{пог}}$ – маса 1 м бруса, її визначають як частку маси й довжини бруса; довжину та масу бруса приймають згідно з технічними умовами [11] і [12];

$l_{кр}$ – довжина частини бруса контррейкової нитки, її визначають відповідно до схеми, наведеної на рисунку 2 (відстані a_1 , a_2 , s розраховують за даними технічних умов [11]);

$l_{хр}$ – довжина частини бруса хрестовинної нитки, розташованої в межах додатної лінії його прогину.

Довжину частини бруса хрестовинної нитки на ділянці $(a_2, l]$ визначимо, використавши залежність для обчислення прогинів короткої балки постійного перерізу, укладеної на суцільну основу однакової пружності, наведену в роботі [9]:

$$y(x) = y_0 A(nx) + \frac{1}{n} \varphi_0 B(nx) + \frac{1}{n^3 E_{бр} I_{бр}} \{ Q_1 D[n(x - a_1)] + Q_2 D[n(x - a_2)] \}, \quad (16)$$

де y_0 , φ_0 – значення прогину та кута повороту перерізу кінця бруса на початку осі координат;

$A(x)$, $B(x)$, $D(x)$ – гіперболю-тригонометричні функції Крилова;

n – основна характеристика рівняння вигину бруса як балки на пружній основі;

$E_{бр}$ – модуль пружності бетону; $E_{бр} = 35$ ГПа [9];

$I_{бр}$ – момент інерції поперечного перерізу бруса; $I_{бр} = 2,53 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4$;

Q_1 , Q_2 – одинична сила; $Q_1 = Q_2 = 1000 \text{ Н}$.

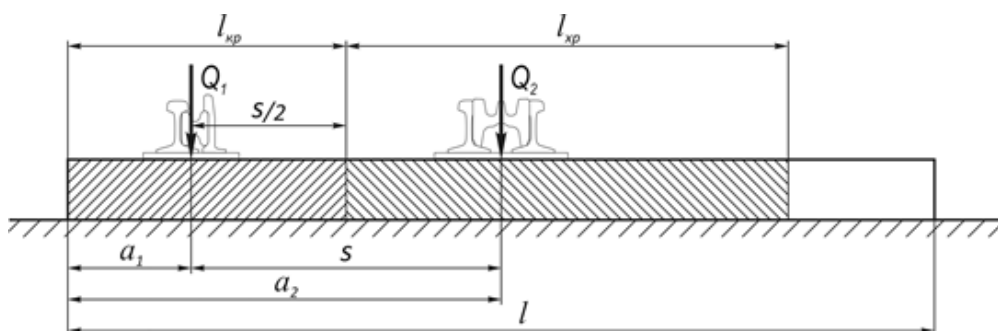


Рис. 2 – Схема до розрахунку прогинів бруса

Величину n визначаємо за формулою

$$n = \sqrt[4]{\frac{K_{\text{п}}}{4E_{\text{бр}}I_{\text{бр}}}}, \quad (17)$$

де $K_{\text{п}}$ – погонний коефіцієнт постелі бруса.

Погонний коефіцієнт постелі бруса обчислюємо за формулою

$$\begin{cases} \frac{K_{\text{п}}}{n^2} y_0 C(l) + \frac{K_{\text{п}}}{n^3} \varphi_0 D(l) - \frac{1}{n} Q_1 B[n(l-a_1)] - \frac{1}{n} Q_2 B[n(l-a_2)] = 0, \\ \frac{K_{\text{п}}}{n} y_0 B(l) + \frac{K_{\text{п}}}{n^2} \varphi_0 C(l) - Q_1 A[n(l-a_1)] - Q_2 A[n(l-a_2)] = 0, \end{cases} \quad (19)$$

де $C(x)$ – гіперболо-тригонометрична функція Кривої;

l – довжина бруса.

Максимальну величину приведеної маси брусів контррейкової або хрестовинної нитки в перерізі, що проходить через вісь i -го бруса, визначаємо як суму мас частин брусів відповідної рейкової нитки, які розташовані в межах ділянки довжиною $l(i)$, середина якої припадає на вісь i -го бруса.

Вихідні дані

Схему укладання стрілочного переводу проєкту 1740 наведено на рисунку 3. Відстані між брусами прийнято за інструкцією [13].

$$K_{\text{п}} = Cb, \quad (18)$$

де C – коефіцієнт постелі бруса; для баласту в неущільненому стані прийmemo $C = 50$ МПа/м, для ущільненого баласту – $C = 300$ МПа/м [9];

b – ширина підшви бруса; $b = 0,3$ м [11].

Прогин і кут повороту перерізу кінця бруса на початку осі координат визначаємо, розв'язавши систему рівнянь

Довжини й кількість брусів у кожному типорозмірі – за ТУ У В.2.6-00034045-001-95 [12]. За технічними умовами [12] бруси виготовлялися з 1995 до 2010 року, зараз їх виготовляють за технічними умовами [11]. Основна відмінність між ними – відсутність у [11] брусів довжиною 5,25 м і 5,5 м. Розміри та форма решти брусів не відрізняються, дещо уточнена їхня маса (у межах 4 %).

Значна кількість переводів проєкту 1740 укладена з повним комплектом брусів, що зумовлює появу на рисунку 3 брусів довжиною 5,25 м і 5,5 м.

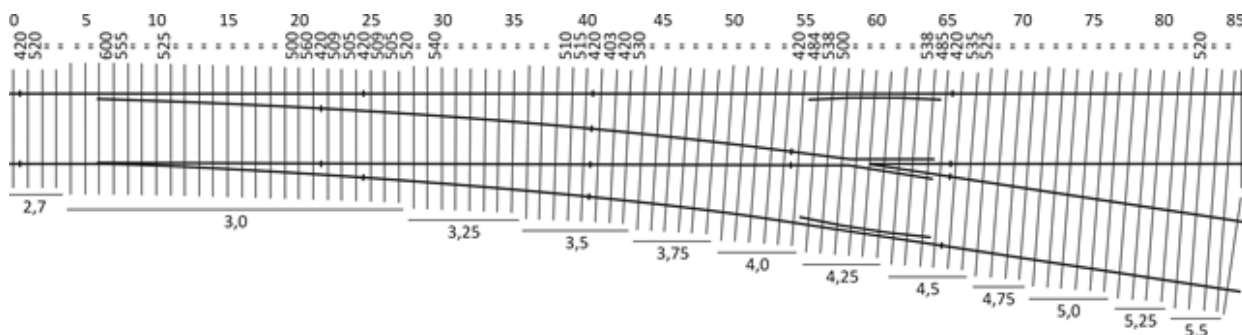


Рис. 3 – Схема укладання переводу типу Р65 марки 1/11 проєкту 1740 на залізобетонних брусах

Величини мас m_1 - m_9 наведено в таблиці 2. Маси металевих частин стрілочного переводу проєкту 1740 надано АТ «Дніпропетровський стрілочний завод». Маси 1 м рейки типу Р65 та елементів проміжного скріплення, необхідні для розрахунку, прийнято відповідно до національних стандартів [14–19]. Маси спеціальних підк-

ладок за коренем гострияка та біля хрестовини розраховано автором відповідно до розмірів, наданих АТ «Дніпропетровський стрілочний завод». Отримані функції $m_m(x)$ для контррейкової та хрестовинної ниток стрілочного переводу проєкту 1740 наведено на рисунку 4.

Табл. 2 – Величини мас, що застосовуються у формулах розрахунку маси одного метра металевих частин стрілочного переводу проєкту 1740

Умовна позначка	Значення	Умовна позначка	Значення	Умовна позначка	Значення
m_1	84 кг/м	m_4	645 кг	m_7	95 кг
m_2	2210 кг	m_5	317 кг	m_8	1460 кг
m_3	65 кг/м	m_6	1320 кг	m_9	205 кг

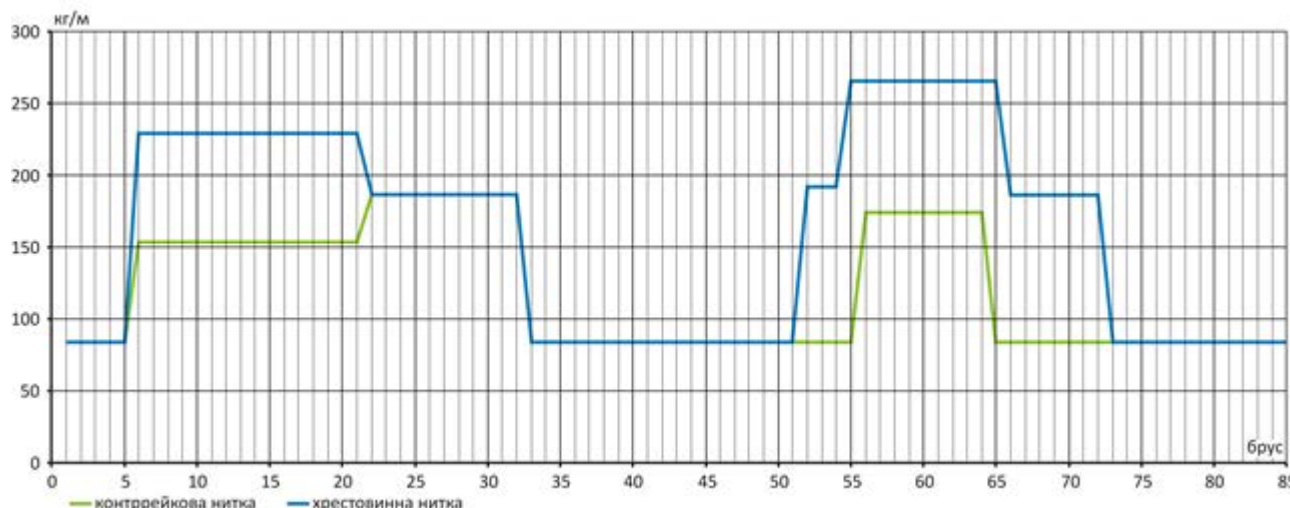


Рис. 4 – Функції $t_m(x)$ для контррейкової та хрестовинної ниток стрілочного переводу проєкту 1740

Жорсткості рейкових ниток стрілочного переводу проєкту 1740, необхідні для розрахунку модуля пружності суцільної підрейкової основи на i -му брусі, у достатньому для цього дослідження обсязі за нашою інформацією не визначалися. Тому для їх визначення застосуємо такий самий підхід, як і під час розрахунку діапазонів приведених жорсткостей переводу проєкту 1740 [1]: прийнемо, що жорсткість переводу проєкту 1740 відповідає діапазону, наведеному на рисунку 2 роботи [1]. Ці дані отримано кафедрою «Колія та колійне господарство» та Колієвипробувальною галузевою науково-дослідною лабораторією Дніпропетровського інституту інженерів залізничного транспорту в першій половині 70-х років під час натурних вимірювань вертикальної жорсткості дослідних звичайних одиночних стрілочних переводів на залізобетонних брусах марки 1/11 типу Р65 з підхилом металевих частин і типу Р50 без підхилу [10, 20].

Розраховані за формулою (11) діапазони значень модуля пружності на кожному брусі переводу проєкту 1740 наведено на рисунку

5. Максимальні значення отримані за умови застосування жорсткостей, характерних для дослідного переводу типу Р65 (ущільнений баласт, прокладки товщиною 6 мм), мінімальні – типу Р50 (неущільнений баласт, прокладки товщиною 6 мм і 14 мм) [1]. У разі незбігу розташування брусів переводу проєкту 1740 і дослідних переводів дані одержано шляхом лінійної інтерполяції.

Моменти інерції металевих частин переводу проєкту 1740 відносно горизонтальної осі відповідно до стандартів [14, 21, 22] наведено в таблиці 3.

Результати розрахунків

Отримані діапазони приведених мас наведено на рисунках 6 і 7.

Найменші зі всіх можливих значення приведених мас металевих частин і брусів отримано за умови використання максимальних величин модуля пружності, найбільші зі всіх можливих – за його мінімальних величин.

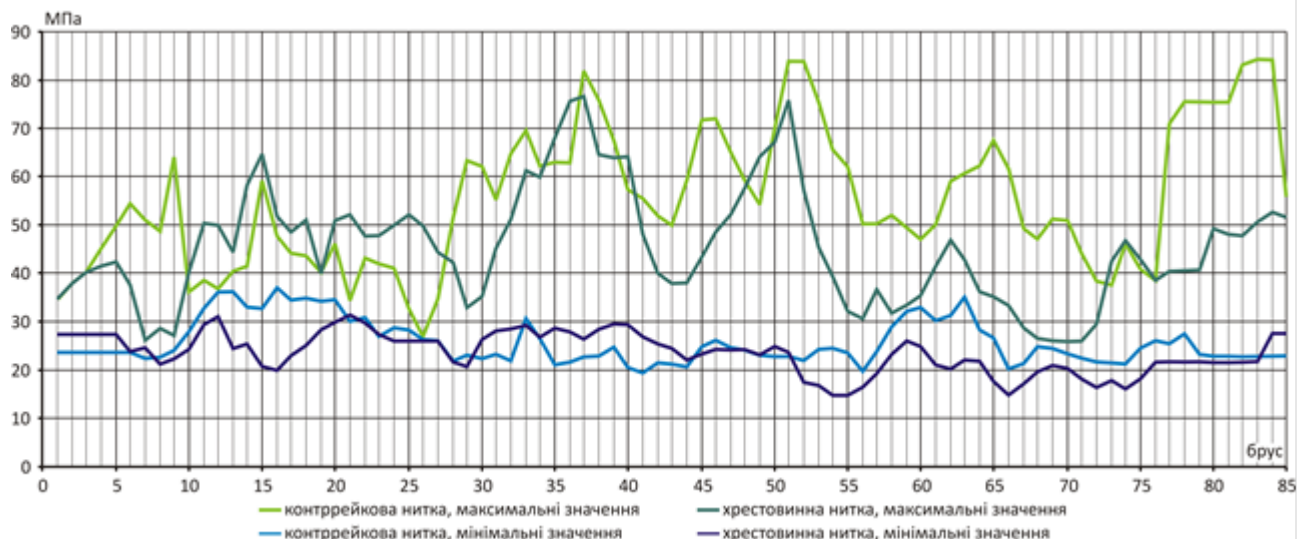


Рис. 5 – Діапазони значень модуля пружності суцільної підрейкової основи стрілочного переводу проекту 1740, що застосовувалися під час розрахунку приведених мас (прямий напрям)

Табл. 3 – Моменти інерції рейок

Рейка	Момент інерції відносно горизонтальної осі, м ⁴
Типу Р65	$3,54 \cdot 10^{-5}$
Гострякова типу ОР65	$5,45 \cdot 10^{-5}$
Контррейкова типу РК65	$2,25 \cdot 10^{-5}$

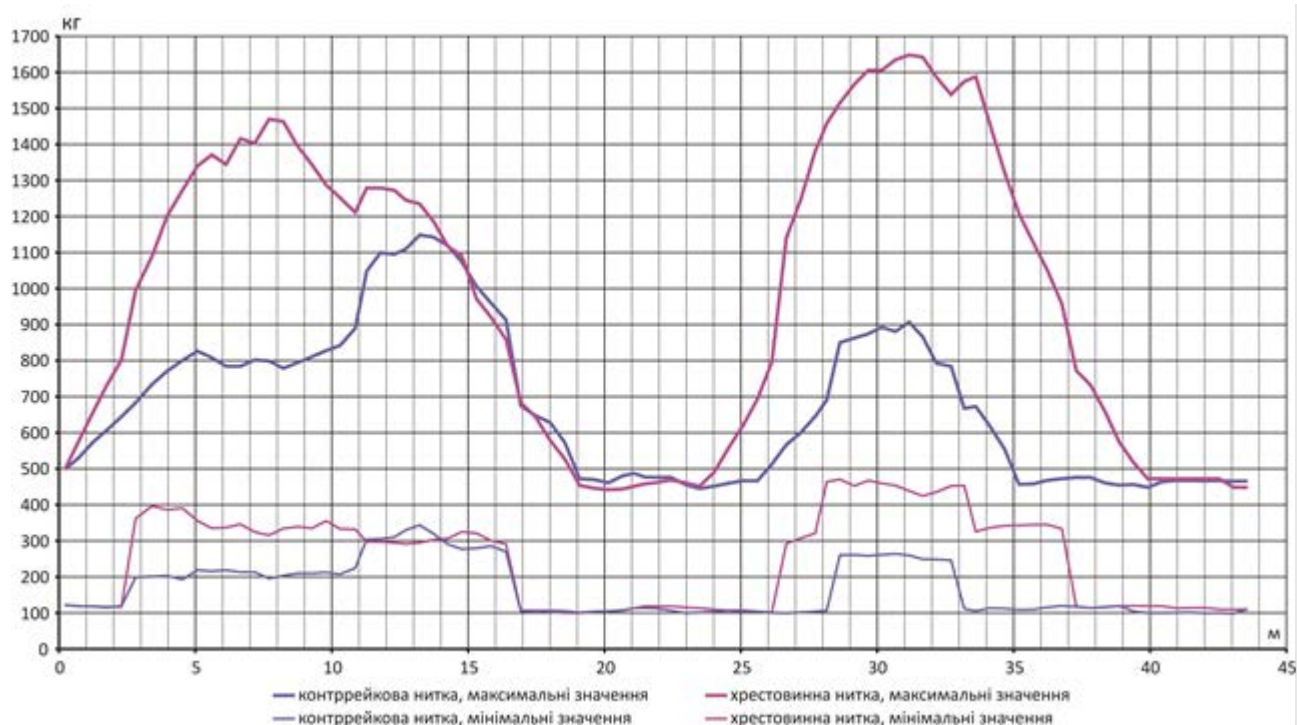


Рис. 6 – Діапазони приведених мас металевих частин стрілочного переводу типу Р65 проекту 1740 на залізобетонних брусах (прямий напрям)

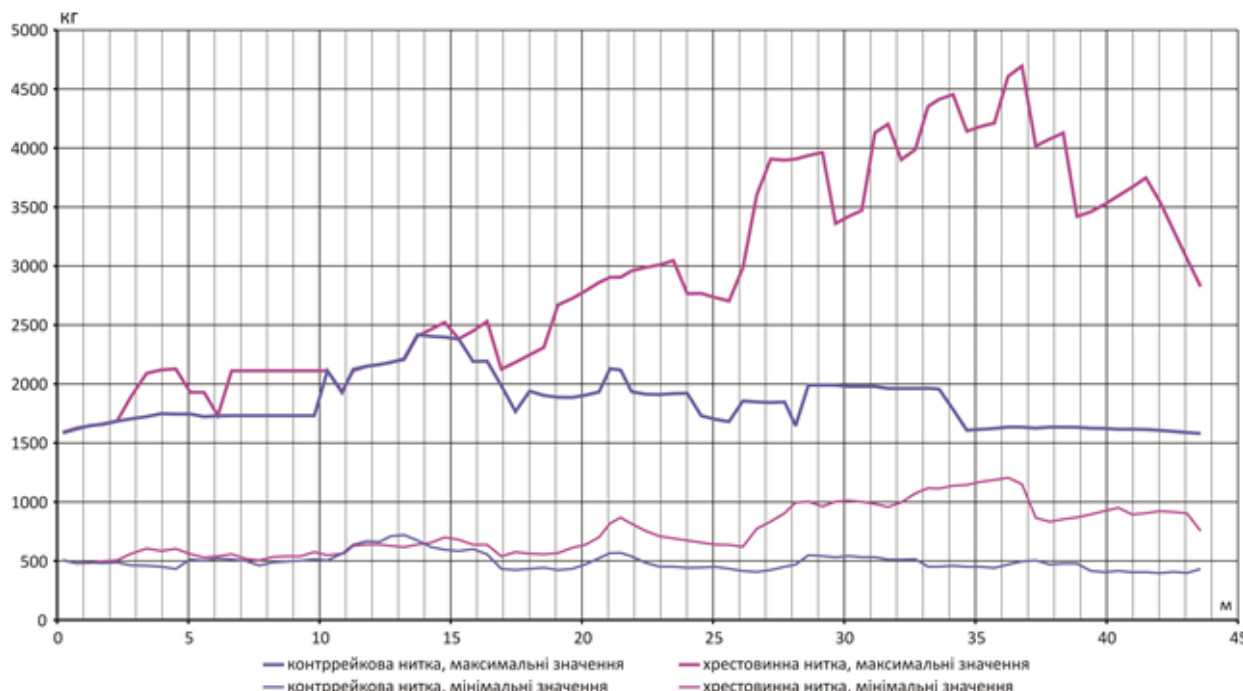


Рис. 7 – Діапазони приведених мас залізобетонних брусів стрілочного переходу типу Р65 проекту 1740 на залізобетонних брусах (прямий напрям)

Висновок

Використання наведених у цій роботі методики та діапазонів приведених мас стрілочного переходу на залізобетонних брусах (на прикладі переходу типу Р65 проекту 1740) дозволить більш обґрунтовано визначати вихідні дані для теоретичних досліджень взаємодії колії й рухомого складу в межах стрілочного переходу на залізобетонних брусах та сприятиме наближенню результатів розрахунків до даних натурних випробувань.

Література

1. Мойсеєнко К. В. Приведені вертикальні жорсткості колії в межах стрілочних переходів на залізобетонних брусах (прямий напрям), розраховані за даними натурних і лабораторних випробувань / К. В. Мойсеєнко // Залізничний транспорт України. – 2021. – № 2. – С. 38-48. DOI: 10.34029/2311-4061-2021-139-2-38-48
2. Орловский А. Н. Обоснование выбора расчетной схемы для исследования взаимодействия колеса и пути в зоне неровностей / А. Н. Орловский, В. Н. Клименко // Вопросы путевого хозяйства и проектирования железных дорог. Труды Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта. – 1965. – Вып. 57. – С. 42-49.
3. Фришман М. А. Исследование сил взаимодействия пути и подвижного состава в

зоне крестовины стрелочного перевода на железобетонном основании / М. А. Фришман, А. Н. Орловский, А. М. Микитенко // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта. – 1967. – Вып. 69. – С. 4-10.

4. Фришман М. А. Выбор расчетной схемы для определения вертикальных сил при движении экипажа по стрелочному переводу / М. А. Фришман, Р. С. Липовский, В. П. Гнатенко, Н. П. Кущенко // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта. – 1975. – Вып. 167/16. – С. 25-30.

5. Даниленко Э. И. Расчет сил взаимодействия пути и подвижного состава в пределах крестовины при помощи персональной ЭВМ / Э. И. Даниленко, К. В. Мойсеєнко // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: межвуз. сб. трудов. – Днепропетровск: б/и, 1997. – С. 92-104.

6. Шмидт К. М. Влияние массы пути на деформацию его при ударе колеса с подрессоренным грузом / К. М. Шмидт // Вопросы верхнего строения железнодорожного пути / Научно-исследовательский институт пути и путевого хозяйства НКПС. – Москва: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1941. – С. 87-109.

7. Даниленко Э. И. Практический метод расчета приведенной массы пути в зоне стрелочного перевода / Э. И. Даниленко // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава: межвуз. сб. трудов. – Днепропетровск: б/и, 1997. – С. 32-41.

8. Вериго М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган ; под ред. М. Ф. Вериго. – Москва: Транспорт, 1986. – 559 с.

9. Железобетонные шпалы для рельсового пути / А. Ф. Золотарский, Б. А. Евдокимов, Н. М. Исаев, Л. Г. Крысанов, В. В. Серебренников, В. Ф. Федулов; под ред. А. Ф. Золотарского. – Москва: Транспорт, 1980. – 270 с.

10. Фришман М. А. Вертикальная жесткость стрелочного перевода на железобетонных брусках / М. А. Фришман, А. Н. Орловский, Г. К. Жилин // Исследования взаимодействия пути и подвижного состава. Труды Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта. – 1974. – Вып. 148. – С. 3-9.

11. Бруси залізобетонні попередньо напружені для стрілочних переводів колії 1520 мм марок 1/9 і 1/11 з пластмасовими пустоутворювачами з П-подібними шайбами. Технічні умови: ТУ УЗ 23.6-40075815-087:2019. – [чинні від 2019-10-21]. – Дніпро: б/в, 2019. – 64 с. – (Галузевий норм. докум.).

12. Брусья железобетонные предварительного-напряженные для стрелочных переводов типа Р65 марок 1/9 и 1/11. Технические условия: ТУ У В.2.6-00034045-001-95. – Киев: б/и, 1995. – 47 с.

13. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України: ЦП-0269. – Затв. наказом Укрзалізниці від 01.03.2012 р. № 072-Ц. – Київ: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 456 с. – (Галузевий норм. докум.).

14. Рейки звичайні для залізниць широкої колії. Загальні технічні умови: ДСТУ 4344:2004. – [чинний від 2005-10-01]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2005. – 64 с. (Національний стандарт).

15. Болты клеммные для рельсовых скреплений железнодорожного пути. Технические условия: ДСТУ ГОСТ 16016:2017 (ГОСТ 16016-2014, IDT). – [чинний від 2017-07-01]. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 9 с. (Національний стандарт).

16. Гайки для клеммных и закладных болтов рельсовых скреплений железнодорожного пути. Технические условия: ДСТУ ГОСТ 16018:2017 (ГОСТ 16018-2014, IDT). –

[чинний від 2017-07-01]. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 7 с. (Національний стандарт).

17. Шайби пружинні двовиткові для залізничної колії. Технічні умови: ДСТУ ГОСТ 21797:2017 (ГОСТ 21797-2014, IDT). – [чинний від 2017-07-01]. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 11 с. (Національний стандарт).

18. Клемма раздельного рельсового скрепления железнодорожного пути. Технические условия: ГОСТ 22343-90. – [чинний від 2021-07-01]. – Москва: Издательство стандартов, 1990. – 11 с. (Національний стандарт).

19. Підкладки роздільного скріплення залізничних рейок типів Р50, Р65 і Р75. Технічні умови: ДСТУ 9056:2020. – [чинний від 2021-05-01]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2020. – 15 с. (Національний стандарт).

20. Исследование работы стрелочного перевода типа Р50 марки 1/11 на железобетонных брусках: отчет по НИР (заключит.) / Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта им. М. И. Калинина; рук. М. А. Фришман; исп.: А. Н. Орловский [и др.]. № госрегистрации 74044393. – Днепропетровск, 1975. – 233 с.

21. Рельсы контррельсовые РК65. Размеры: ГОСТ 9798-85. – Москва: Издательство стандартов, 1985. – 6 с.

22. Рейки вістрякові типів ОР50 і ОР65. Загальні технічні умови: ДСТУ 4814:2007. – [чинний від 2009-01-01]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2008. – 18 с. (Національний стандарт).

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Мойсеєнко Костянтин Володимирович, к. т. н., доцент, провідний інженер-технолог відділу механізації колійних робіт структурного підрозділу «Дніпровське науково-конструкторське технологічне бюро колійного господарства» філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту»

АТ «Укрзалізниця».

Пл. Вокзальна, 11ж, м. Дніпро, 49038, Україна.

Тел.: +38 056 793 23 41.

E-mail: t.mala@dp.uz.gov.ua.

УДК 629.1.072

DOI: 10/34029/2311-4061-2021-140-3-38-45

Д-р техн. наук Леонець В. А.

Канд. техн. наук Лукашевич А. О.

Інженер Повисий В. М.

Канд. фіз.-мат. наук Яценко Л. Ф.

ВПЛИВ ОВАЛЬНОСТІ КОЛІСНОГО ЦЕНТРА НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАННИЙ СТАН З'ЄДНАННЯ "БАНДАЖ-ЦЕНТР" КОЛЕСА ЕЛЕКТРОВОЗА

Ключеві слова: колесо локомотива, бандаж, колісний центр, гігациклове навантаження, напружено-деформований стан, фретинг-втома.

Вступ

Актуальним питанням для сучасного залізничного транспорту являється підвищення працездатності з'єднання "колісний центр-бандаж" коліс тягового та моторвагонного рухомого складу [1-5]. Сьогодні недостатньо досліджені механічні властивості конструкційних сталей колісних центрів, які працюють в області гігациклової втоми (число циклів навантаження становить $\geq 10^9$) [2]. Існує необхідність оптимізації механічних властивостей конструкційних сталей бандажів за критерієм максимальної несучої здатності з'єднання "колісний центр-бандаж" [3]. Серед технологічних факторів, які впливають на міцність посадки бандажа на колісний центр, вказують на відхилення геометричної форми колісних центрів та бандажів [4]. В ДП «ДНДЦ УЗ» протягом 2008-2011 років були досліджені випадки руйнувань бандажів локомотивних коліс в зоні крайки виточки під бандажне кільце [5]. Більшість досліджених бандажів було виготовлено у 1998-1999 роках з сталі марки 2, згідно з ГОСТ 398-96 [6], які відповідали за властивостями вимогам нормативного документу. В роботі [5] встановлено, що відбувалось багатоосередкове зародження тріщин на поверхні бандажа біля стопорного кільця колеса теплового за серії 2М62У (рис.1а). Виникнення та розповсюдження тріщин відбувалось при відсу-

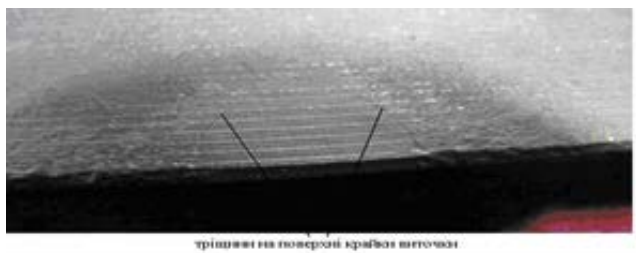
тності концентраторів напружень (рис.1б,1в). Чинна нормативна документація не передбачає оцінку такого втомного руйнування коліс, сформованих шляхом теплового методу напресування бандажів на колісні центри [7].



а)



б)



в)

Рис.1 - Загальний вигляд зруйнованого бандажа (а), багатоосередкове зародження втомних тріщин (б), тріщина на окисленій поверхні крайки виточки (в) в колесі [5]

Метою даної статті являється аналіз впливу відхилення геометричної форми колісного центра у вигляді еліпса на напружено-деформований стан (далі - НДС) поверхні бандажа колеса електровоза біля його стопорного кільця.

Основна частина досліджень

Методом скінчених елементів здійснено розрахунок НДС бандажа біля крайки виточки стопорного кільця колісного центру колеса електровоза серії ВЛ80^Т, сформованого тепловою напресовкою бандажа на центр, з розрахунковим відхиленням його геометрич-

ної форми у вигляді еліпса, з різницею діаметрів від 0 до 250 мкм.

На рисунку 2 наведено схему вимірювання величини відхилень геометричної форми колісного центра та бандажа колеса електро-воза серії ВЛ80^Т після їх механічної обробки, перед їх формуванням тепловим напресуванням.

Вимірювання відхилень геометричної форми колісного центра та бандажа, встановлених у патронах токарного та розточувального

верстатах, здійснювалось за показаннями індикатора годинникового типу ИЧ0-10, ГОСТ 577-68, з ціною поділок 20 мкм. Індикатор встановлювався на станинах токарного та розточувального верстатів після механічної обробки колісного центра, бандажа, які були ще закріпленими у їх патронах. Проворот колісного центру і бандажа здійснювався з кроком 30⁰ (табл.1).

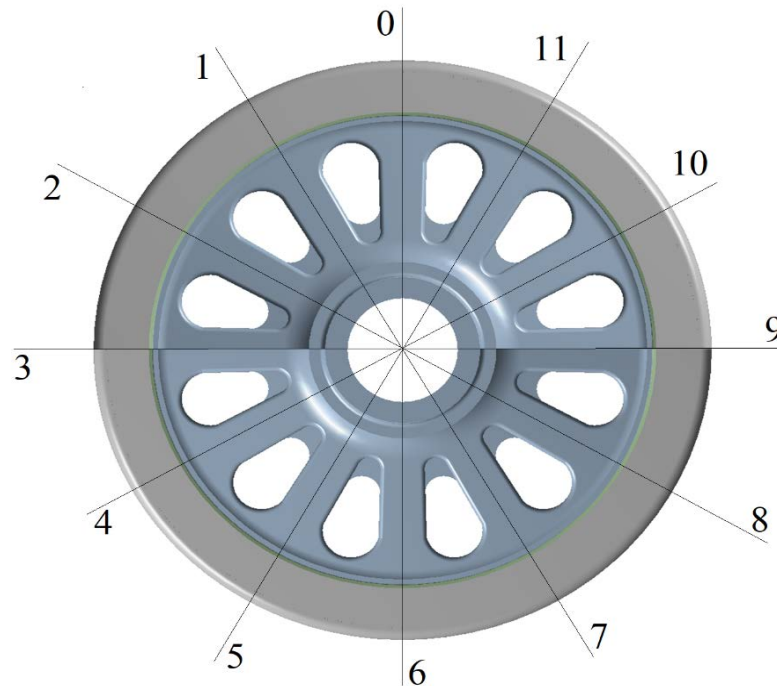


Рис. 2 - Схема вимірювання відхилень геометричних розмірів колісного центра та бандажа

Табл. 1 - Результати вимірювань відхилень геометричних розмірів колісного центра і його бандажа після механічної обробки

№ точки (кутовий градус)	Вимірювання відхилень геометричних розмірів центра, мкм	Вимірювання відхилень геометричних розмірів бандажа, мкм
0 (0 ⁰)	70	10
1 (30 ⁰)	130	0
2 (60 ⁰)	150	0
3 (90 ⁰)	150	20
4 (120 ⁰)	130	20
5 (150 ⁰)	75	20
6 (180 ⁰)	75	30
7 (210 ⁰)	10	20
8 (240 ⁰)	0	10
9 (270 ⁰)	10	0
10 (300 ⁰)	25	10
11 (330 ⁰)	70	5
12 (360 ⁰)	70	10

В таблиці 1 наведені середні арифметичні значення 4-х вимірювань відхилень геометричних розмірів колісного центра та бандажа у кожній точці, відповідно. В першому наближенні можливо вважати, що розточування бандажа відбувалось, практично, без відхилення геометричних розмірів. Тому розра-

хунок НДС з'єднання «колісний центр-бандаж» здійснено при урахуванні некруглості лише колісного центра. Розрахункову схему навантаження колеса електровоза серії ВЛ80^Т, наведену на рисунку 3, взято за експлуатаційними даними [8].

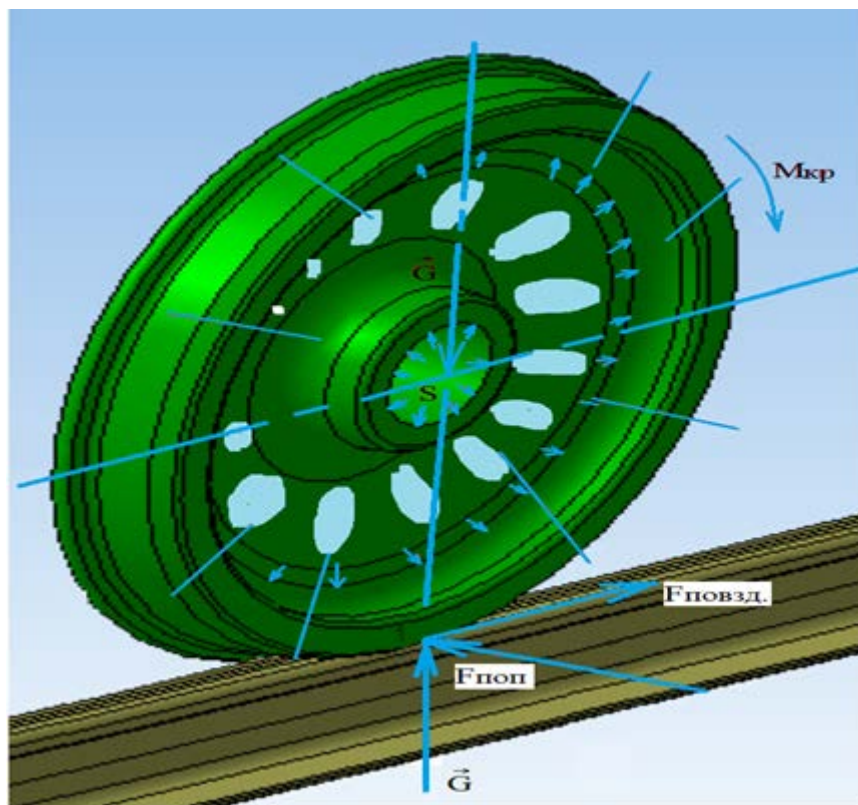


Рис. 3 – Розрахункова схема навантаження колеса електровоза серії ВЛ80^Т, де:
 $M_{кр} = 1,4 \cdot 10^5 \text{ Нм}$, $G = 150 \text{ Кн}$, $F_{повз.} = 45 \text{ Кн}$, $F_{поп.} = 80 \text{ Кн}$

В розрахунках прийнято, що діаметр бандажа в холодному стані, до його напресування на колісний центр, становив 1070 мм; діаметральний натяг - 1,5 мм; твердість сталі бандажа - 269 НВ; центра - 143 НВ; товщина бандажа - 45 мм. Шорсткість дотичних поверхонь колісного центра та бандажа $Ra \leq 5 \text{ мкм}$. Колісний центр виготовлено зі сталі 25Л (ГОСТ 977-77), бандаж - з сталі 2 (ГОСТ 398-96). Геометричні розміри колісного центра відповідають кресленіку ДЖТИ 711442.008 (ТНЮ229.069) «Центр колесний», бандажа - кресленіку ДЖТИ 712351.002 (8ТН.229.013) «Бандаж», стопорного кільця - кресленіку ДЖТИ 712471.001 (8ТН.217.191) «Кільце бандажне». Діаметральний натяг осі S на маточину колісного центра здійснено по посадці Н7/с6. Розрахунок НДС колеса здійснено методом скінче-

них елементів. Скінчено-елементна модель складалась з елементів тетраїдальної форми, з розмірами від 0,03 мм до 30 мм. Кількість елементів становила 35785000 од. [9]. Чисельне рішення задачі контактного деформування двох шорстких тіл біля крайки виточки під бандажне стопорне кільце (рис. 1а) здійснено з урахуванням зауважень попередніх досліджень [10].

В результаті виконаних розрахунків напружено-деформованого стану з'єднання «колісний центр-бандаж» колеса електровоза за четвертою теорією міцності [11] було отримано розподіл еквівалентних напружень $\sigma_{екв.}$ бандажа біля крайки виточки під бандажне кільце (рис. 4а) та радіальних переміщень Δ поверхні бандажа відносно дотичної поверхні колісного центра (рис. 4б). На рисунках 4а і 4б $\varphi = 0$ кутових градусів наведено

при горизонтальному розташуванні більшої осі еліпса.

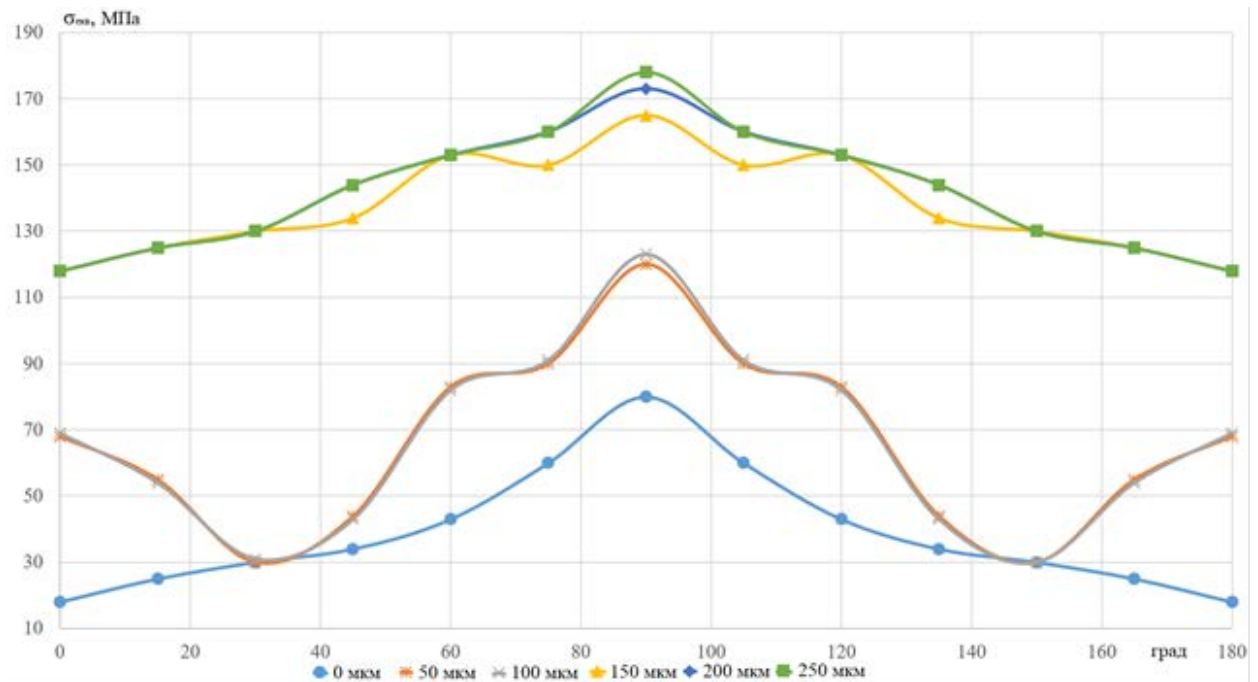


Рис. 4а - Залежність $\sigma_{\text{екв.}}$ (МПа) від кута повороту φ (град.) колеса при різних величинах овальності колісного центра Ω (мкм)

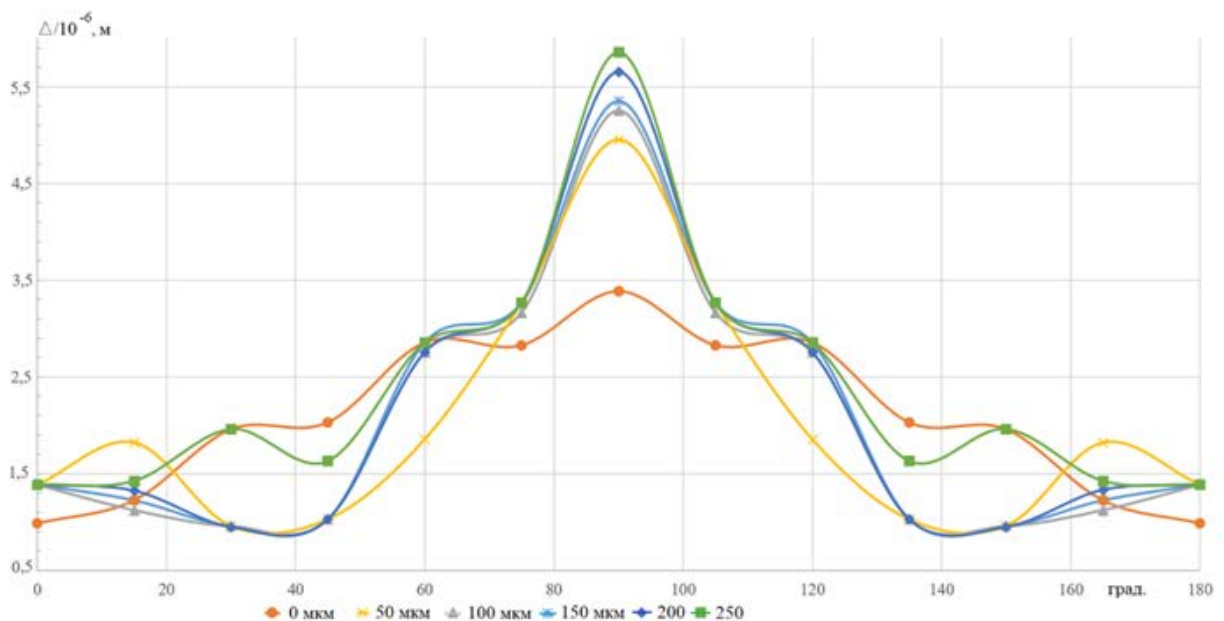


Рис. 4б - Залежність радіального переміщення Δ (мм) поверхні бандажа відносно дотичної поверхні колісного центра від кута повороту φ (град.) колеса

Величина овальності Ω визначена як різниця максимального та мінімального діаметрів колісного центра у вигляді еліпса. Збільшення овальності колісного центра обумовлює збільшення амплітуд еквівалентних напружень, розмах напружень $\Delta\sigma_{\text{екв.}} = \sigma_{\text{екв.макс}} - \sigma_{\text{екв.мін}}$, середніх їх значень $\sigma_{\text{екв.ср}} = (\sigma_{\text{екв.макс}} +$

$\sigma_{\text{екв.мін}})/2$. При цьому збільшуються амплітуди відносних максимальних радіальних переміщень $\Delta_{\text{макс}}$ і розмах їх величин $\Delta_{\text{макс}} - \Delta_{\text{мін}}$ (табл.2).

Табл. 2 - Залежність $\sigma_{\text{екв.мах}}$, $\sigma_{\text{екв.мін}}$, $\Delta\sigma_{\text{екв.}}$, $\sigma_{\text{екв.т}}$, $\Delta_{\text{мах}}$ — $\Delta_{\text{мін}}$ від Ω

Ω , мкм	$\sigma_{\text{екв. мах}}$, МПа	$\sigma_{\text{екв. мін}}$, МПа	$\Delta\sigma_{\text{екв.}}$, МПа	$\sigma_{\text{екв.т}}$, МПа	$\Delta_{\text{мах}}$, мкм	$\Delta_{\text{мін}}$, мкм	$\Delta_{\text{мах}} - \Delta_{\text{мін}}$, мкм
0	80	20	60	50	3,3	1,0	2,3
50	120	70	50	95	5,1	0,9*	4,2
100	122	30	92	76	5,1	0,9*	4,2
150	160	120	40	140	5,3	0,9	4,4
200	170	120	50	145	5,7	0,9	4,8
250	180	120	60	150	5,9	1,4	4,5

* $\Delta_{\text{мін}}$. при $\varphi=40, 140$ кутових град.

Очевидно, що суттєве збільшення $\sigma_{\text{екв.}}$ спостерігається при $\Omega \geq 150$ мкм (рис.4а). Узагальнення результатів чисельних досліджень великої кількості конструкцій колісних пар, здійснених в СРСР при розробці нової та після придбання зарубіжної залізничної техніки, дозволило встановити, зокрема, допустиме значення відхилень геометричних розмірів зовнішньої поверхні колісного

центра під посадки бандажа, яка становить 0,2 мм в поперечному перетині [12]. Наведені вище результати досліджень свідчать про те, що середні значення еквівалентних напружень суттєво збільшуються вже при некруглості поверхні 150 мкм, в межах допустимого відхилення геометричної форми колісного центра.

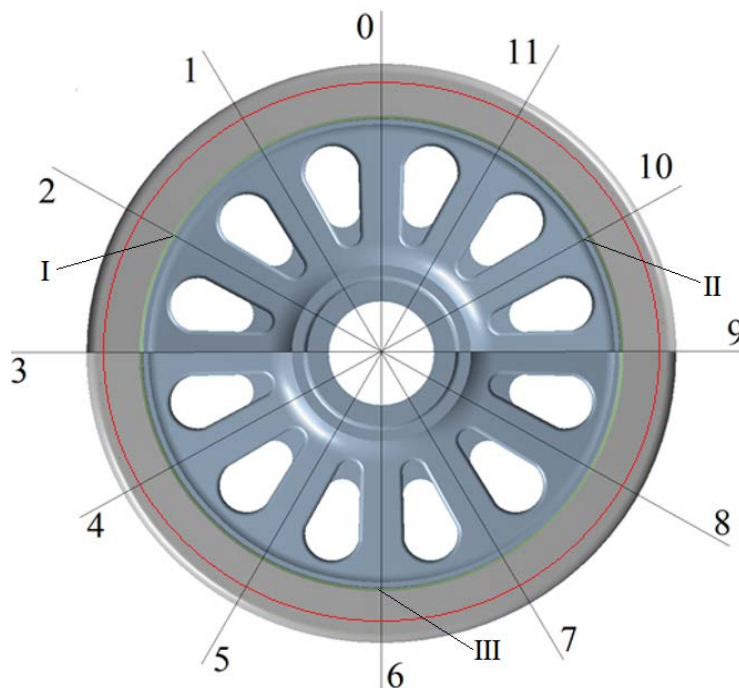


Рис. 5а - Розміщення характерних областей деформації бандажа, де: I, II- тертя поверхні бандажа по поверхні колісного центра; III- вдавнення бандажа в колісний центр

При навантаженні бандажа через центр в точці 6 (рис. 5а) відбувається деформація бандажа, що призводить до зменшення натягу в точці 1 від 1,5 мм до 0,3 мм. В точках 2 і 10 відбувається зміна амплітуд напружень σ_r від 3 МПа до 20 МПа (рис.5б). Одночасна циклічна зміна натягу та амплітуд радіаль-

них напружень у циліндричних з'єднаннях з натягом вала з втулкою може сприяти зародженню фретинг-втомних тріщин у їх матеріалах [13].

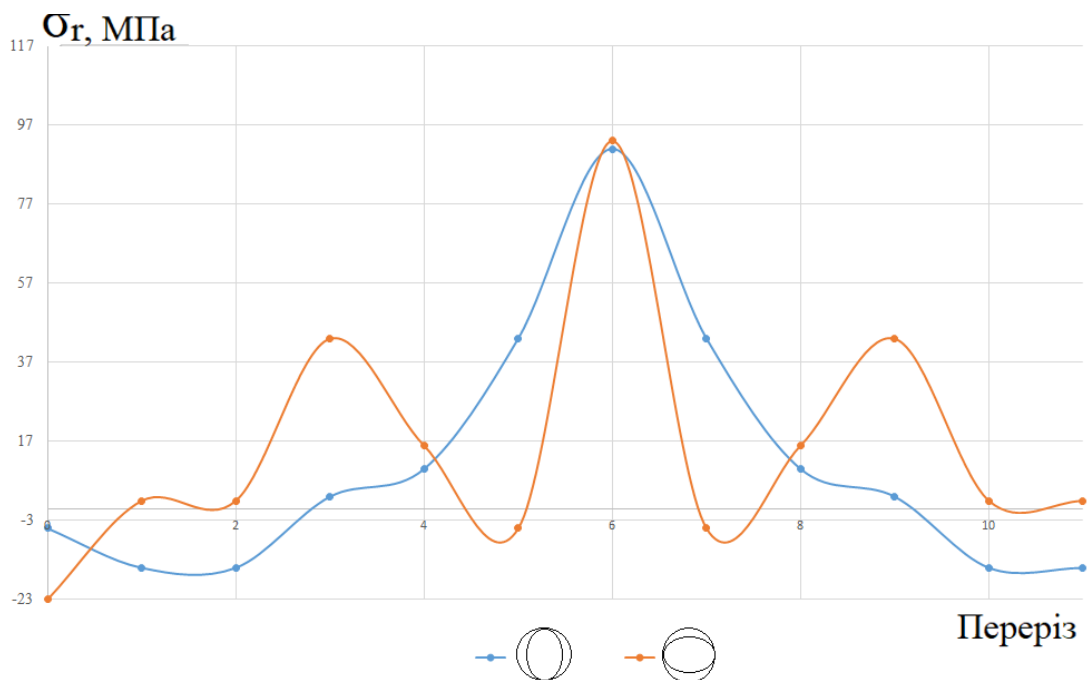


Рис. 56 - Розподіл радіальних напружень σ_r при різному розташуванні овальності колісного центра 150 мкм

Фретинг-втома виникає при циклічному навантаженні з максимальним розмахом напружень в зоні контакту дотичних поверхонь при відносному переміщенні деталей в межах пружних деформацій [13]. Наслідком процесу фретинг-втоми являється втомне руйнування пресових з'єднань, обумовлених різким зниженням границі витривалості через пошкодження при фретингу матеріалу деталі. Явище фретинг-втоми знаходиться в полі зору дослідників протягом тривалого часу, але задовільної теорії цього процесу до цього часу не існує [13]. Фретинг-втома з'єднань з натягом часто супроводжується фретинг-корозією.

Фактори, які визначають інтенсивність процесу фретинг-корозії, окрім максимального розмаху амплітуд циклічних напружень, наступні [14]:

- амплітуда відносних переміщень;
- величина тиску в зоні контакту;
- частота коливань при відносних переміщеннях;
- число циклів навантаження;
- природа матеріалів;
- навколишнє середовище.

Теоретичні та експериментальні дослідження [14] показують, що найбільш напруженими при дії фретинг-корозії являються зони крайнього поверхневого шару, розміщеного на деякій глибині, та зона максима-

льних дотичних напружень. При певних зовнішніх умовах навантаження ці дві зони змикаються.

При відносних переміщеннях $< 20\text{мкм}$ опір фретинг-втомі не залежить від частоти навантаження. Втомні властивості дотичних матеріалів обумовлена тим, що інтенсивність пошкодження контактних поверхонь залежить від властивостей утворюваних окислів. Якщо твердість окислів колісного центра (більш м'якої сталі) перевищуватиме твердість сталі бандажа спостерігається абразивне тертя дотичних поверхонь. Окисли з твердістю меншою твердості сталі бандажа виконують роль твердого мастила та захищають дотичні поверхні від руйнування.

Електрохімічні процеси взаємодії поверхонь тертя відіграють важливу роль в зародження в них фретинг-втомних тріщин [15]. Імовірно, що існування електрохімічних процесів руйнування з'єднання «колійний центр-бандаж» електровозів можливо обумовлюється також проходженням електричного струму крізь колесо. Тверді частинки окислів взаємодіючи з дотичними поверхнями, при існуванні електрохімічної корозії, можуть утворювати в них каверни [15].

В наведених вище результатах досліджень не враховано вплив на НДС колеса нагріву бандажа під час тривалого гальмування локомотива; дію динамічних сил, виникаючих

при проходженні колесом стика рейок, хрестовин стрілочних переводів; дії повзунів на колесах що виникають. Вимагає додаткових досліджень вплив на НДС з'єднання «колісний центр-бандаж» огранки та інших видів відхилення геометричної форми колісного центра, а також вплив відхилень геометричної форми бандажа на НДС колеса. Необхідно провести дослідження впливу наведених факторів на фретинг-втомну з'єднання «колісний центр-бандаж», у тому числі і при “м'ягкому” режимі навантаження, коли зусилля передається від валу на втулку [14] з урахуванням реальних умов експлуатації коліс електровозів.

В чинній нормативній документації розрахунок запасу втомної міцності залізничних коліс враховує величину середніх значень циклічних напружень. Тому наведений на рисунку 5б розподіл радіальних напружень необхідно враховувати в розрахунках запасу втомної міцності з'єднання «колісний центр-бандаж». Існує також необхідність визначення відхилення геометричної форми колісного центра, бандажа після механічної обробки, перед тепловим формуванням колеса методом доступним в умовах локомотивного депо чи на локомотиворемонтному заводі [16].

Висновки

1. Встановлено, що збільшення розмаху циклічних напружень $\sigma_{\text{екв.}}$, середніх напружень $\sigma_{\text{екв.т}}$, радіальних переміщень Δ відбувається при овальності центра, починаючи з 150 мм. В місцях, розташованих під кутом $\pm 60^\circ$, по відношенню до вертикально розташованої більшої осі еліпса колісного центра, виникає максимальний розмах напружень $\sigma_{\text{екв.}}$. В цих місцях можливе виникнення фретинг-втоми бандажа.

2. Для підвищення імовірності виявлення неруйнівними методами втомних тріщин докритичних розмірів на поверхні бандажа біля канавки для стопорного кільця доцільно доповнити діючі та проекти нових нормативних документів щодо технічних вимог до процесів формування коліс тягового та моторвагонного рухомого складу вимогою розміщення контрольних міток провороту бандажів в місцях максимального діаметрального натягу бандажа на центр, обумовленого відхиленнями геометричної форми колісного центра, які необхідно визначати перед тепловим формуванням колеса. Біля цих місць не-

обхідно в першу чергу здійснювати неруйнівний контроль виникнення фретинг-втомних тріщин.

3. Необхідно здійснити дослідження умов виникнення гігациклової фретинг-втоми в з'єднанні «колісний центр-бандаж», обумовлених відхиленнями геометричної форми дотичних поверхонь колісного центра та бандажа після їх механічної обробки на токарному та розточувальному верстатах.

4. Для забезпечення надійності роботи локомотивних коліс тягового рухомого складу, через тривалий термін експлуатації колісних центрів, визначальним параметром придатності їх конструкційних сталей є також гігациклова фретинг-втома з'єднання “колісний центр-бандаж” колеса.

Література

1. Коссов В.С. Сравнительный анализ нормативной базы оценки прочности колесных пар подвижного состава / В.С. Коссов, В.И. Грек, Э.Н. Никольская, Г.М. Волохов // Вістник СХУ ім. В.Даля. - 2011. - № 4 (158). - Ч. 1. - С. 48-55.
2. Кузьмичев В.М. Анализ условий работы колесных центров для локомотивов / В.М. Кузьмичев, О.И. Перков // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. - Дніпропетровськ: ІЧМ НАН України, 2015. - Вип.30. - С. 226-232.
3. Рауба А.А. О влиянии механических свойств материалов на несущую способность в соединении «Колесный центр-бандаж» / А.А. Рауба, В.В. Дюндин // Известия Транссиба. -2018. - № 3(35). - С. 70-80.
4. Рауба А.А. Анализ причин проворота бандажей колесных пар тягового подвижного состава / А.А. Рауба, А.В. Обрывалин, Н.Г. Шевко // Инновационные технологии и новые технологии в образовании, промышленности и на транспорте. Материалы научн. конф. посвященной Дню Российской науки. - Омск: ОГУПС. - 2016. - С. 230-235.
5. Дьомін Р.Ю. Виявлення втомних тріщин у бандажах коліс тягового рухомого складу Р.Ю. Дьомін, В.С. Константіди, Л.Ф. Яценко та інші. // Залізничний транспорт України. - 2011. - № 4. - С. 48-50.
6. Бандажи из углеродистой стали для подвижного состава железных дорог широкой колеи и метрополитена. Технические условия: ГОСТ 398-96:1998. - [Дата введения

1998-01-01]. – Москва: Издательство стандартов, 1997. – 12 с. – (Межгосударственный стандарт).

7. Колесные пары локомотивов и моторвагонного подвижного состава. Расчеты и испытания на прочность: ГОСТ 31373-2008:2008. – [Дата введения 2009-09-01]. – М.: Издательство стандартов, 2008. – 30 с. – (Межгосударственный стандарт).

8. Никольская Э.Н. О напряженности колес локомотивов в эксплуатации / Э.Н. Никольская, В.А. Дмитриш, Т.И. Арсенькина и др. // Вестник ВНИИЖТ. – 1985. – № 8. – С. 35-39.

9. Батюшин І.Є. Дослідження впливу товщини бандажів колісних пар локомотивів на показники їх міцності та надійності / І.Є. Батюшин, Л.Ф. Яценко, О.М. Гончаров та інші. // Залізничний транспорт України. – 2018. – № 2. – С. 39-47.

10. Мурашов М.В. Выбор параметров вычислительных алгоритмов при решении задачи контактного деформирования шероховатых тел в ANSYS / М.В. Мурашов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана: сер. «Естественные науки». – 2016. – № 1. – С. 111-121.

11. Писаренко Г.С. Соппротивление материалов / Г.С. Писаренко, В. А. Агарев, А.Л. Квитка и др. – К.: Вища школа, 1974. – 670 с.

12. Інструкція з формування, ремонту та утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниць України колеї 1520 мм : ВНД 32.0.007.001-2001:2001. – Київ : ТОВ “НВП Поліграфсервіс”, 2001. – 171 с. – (Галузевий нормативний документ. Інструкція).

13. Петухов А.Н. Соппротивление усталости деталей ГТД / А.Н. Петухов. – М.: Машиностроение, 1993. – 240 с.

14. Петухов А.Н. Фреттинг-коррозия и фреттинг-усталость в малоподвижных соединениях ГТД и энергетических машин / А.Н. Петухов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2004. – № 7(15). – С. 129-134.

15. Прочность металлов и конструкций: серия монографий / Под общей редакцией В.Т. Трощенко. – Киев: Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины. – Т.2. – Усталость металлов. Влияние состояния поверхности контактного взаимодействия / В.Т. Трощенко, Г.В. Цибанев, Б.А. Грязнов, Ю.С. Налимов. – 2009. – 664 с.

16. Вертухов Б.Я. Высокоточный и доступный метод измерения отклонений от

круглости с использованием микро-ЭВМ / Б.Я. Вертухов // Вестник машиностроения. – 1982. – № 3. С. 58-59.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Леонець Віктор Адамович,
д.т.н., провідний науковий співробітник
Інституту проблем міцності
ім. Г.С. Писаренка НАН України.
Вул. Тімірязєвська, 2, м. Київ,
01014, Україна.
Тел.: +38 044 281 63 43.
E-mail: leonV@ipp.kiev.ua

Лукашевич Андрій Олександрович,
к.т.н., старший науковий співробітник
Інституту проблем міцності
ім. Г.С. Писаренка НАН України.
Вул. Тімірязєвська, 2, м. Київ,
01014, Україна.
Тел.: +38 044 281 63 43.
E-mail: kalistofeer@ukr.net

Повисший Володимир Миколайович,
начальник Науково-впроваджувального
центру (НВЦ) філії «Науково-дослідний та
конструкторсько-технологічний інститут
залізничного транспорту» (НДКТІ)
АТ «Укрзалізниця».
Вул. Федорова, 39, м. Київ,
03038, Україна.
Тел.: +38 044 309 68 92.
E-mail: omukp1520mm@gmail.com

Яценко Людмила Федорівна
к. фіз.-мат. наук, начальник Управління
металознавства та управління якістю НВЦ
філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця».
Вул. Федорова, 39, м. Київ,
03038, Україна.
Тел.: +38 044 309 63 50.
E-mail: yatcenko1520mm@gmail.com

UDC 621.921

DOI: 10/34029/2311-4061-2021-140-3-46-52

D.Sc. (Technology) Pysarenko G.

Cand. Sc. (Technology) Voynalovich O.

Cand. Sc. (Technology) Maylo A.

Postgraduate Pysarenko S.

ACCUMULATION OF MICROPLASTIC DEFORMATIONS OF LOW-CARBON STEEL SAMPLES UNDER HIGH-CYCLE LOADING AS A FACTOR OF OPERATIONAL DAMAGE TO LOAD-BEARING STRUCTURES OF RAILWAY TRANSPORT

Keywords: *gigacycle fatigue, damage, surface microrelief, coherent optical scanning.*

Introduction

Parts and structural elements of railway rolling stock (locomotives, freight and passenger cars) are subject to high-cycle (gigacycle) fatigue during long service life (when the number of loading cycles is more than 10^8 cycles) [1, 2]. Determination of the boundary state of structural materials of railway transport under the action of cyclic stresses in the area of the physical fatigue limit remains an urgent problem, which leads to fatigue failure [3].

A characteristic sign of developing fracture under alternating loading is the exhaustion of the plastic properties of the metal in the local zone of macrocrack nucleation on the surface of the metal structure [4]. The durability of structural elements can be estimated by studying changes in the surface layer relief under cyclic loading [5], and to determine the accumulation of fatigue damage on the surface of structural materials, it is necessary to develop modern means and methods for diagnosing damage arising at low levels of cyclic loads.

The revealed regularities of damage accumulation have characteristic signs of plastic properties of samples of structural material and can be used to predict the residual life of plasticity of structural elements.

The aim of the article is to study the patterns of damage accumulation as a result of gigacycle loading of samples of structural materials of

railway transport using the contactless method of optical surface scanning.

Review of publications on methods for assessing damage accumulation in metal structures during fatigue

The data on the influence of variable loads with an amplitude of cyclic stresses below the endurance limit on the basis of 10^5 cycles on the fatigue resistance of metals and alloys are rather contradictory [6]. fatigue failure at stresses below the fatigue limit, explaining this by the discrete nature of the fatigue failure localization mechanism, which operates within up to 90% of the resource carrying capacity of a structural element.

When exposed to low levels of cyclic loading, significant changes are observed mainly in individual elements against the background of an almost unchanged structure [7], which significantly increases the dispersion of physical and mechanical properties and affects the reliability of data obtained by the method of discrete analysis of the evolution of the material structure under variable loading.

To assess the resource of a metal structure, parameters are introduced into the calculation models that characterize the initial and subsequent stages of diffuse damage, which correlate with the parameters of the topogram of the surface of the controlled object. It is shown in [8] that the stage of local metal fracture under the action of unsteady periodic loading precedes the accumulation of microplastic deformations of the surface layer, as a criterion sign of damage during fatigue, which occurs at the stage of diffuse fracture.

An assessment of the development of deformation defects of a metal surface is obtained on the basis of an analysis of the characteristics of discrete deformations of the metal surface [9]. For this, the kinetic properties of the structural parameters of material degradation are analyzed and the macro-properties of the surface layer correlated with diffuse damage. Deformation defects of the metal surface are determined by rather complex methods of laser or atomic force microscopy [10].

At the initial stage of loading, deformation defects are less than tenths of a micrometer in size. When analyzing objects of such sizes by traditional methods of non-destructive testing,

methodological difficulties arise in assessing the current state of local deformations of the controlled surface. The use of optical methods for measuring the relief increases the reliability of the analysis of discrete processes of damage to the metal surface according to the data of the integral characteristics of deformation defects of the surface, which, when fatigue is localized, correlate with the parameters of damage [11].

Research methods and materials

To control the damage characteristics of the surface layer of structural material samples, in this work, we used an optical method for measuring microplastic deformations, based on an analysis of the parameters of the distribution function of coherent radiation reflected from the deformed surface of an object. The prototype of the method is a method for the non-contact measurement of the kinetic characteristics of deformation of the surface layer of metal structures, described in [12].

According to this method, a controlled local area of the surface of a metal structure is irradiated with a coherent light beam with a wavelength corresponding to the scale of localization of microplastic deformations of the surface, and a specklogram of the rays reflected from the formed surface microrelief is obtained. To assess the intensity of the change in the deformation relief due to cyclic loading, a parameter is used that is calculated as the ratio of the number of light pixels of a certain type to the total number of pixels in an image of a specific type. The calculated estimate of the deformation relief was obtained from the formula:

$$D = (\Sigma n_0 - \Sigma n) / \Sigma n_z,$$

where n_0 is the number of light pixels (pix.) of the speckle structure for the surface of the material in the initial state; n is the number of light pixels for the material surface after cyclic loading, n_z is the total number of pixels in the image sample. Parameter D characterizes the relative intensity of changes in the relief of deformations accumulated in the surface layer of the material under variable loading.

The sample size in each analysis zone with an area of $200 \times 200 \mu\text{m}$ is 2×10^6 pix. with an area of $500 \times 500 \mu\text{m}$ $1064 \cdot 10^6$ pix. respectively. The resolution of the method for a photodiode array with a size of 1920×1080 pix. and a wavelength of coherent radiation $\lambda = 0,450 \mu\text{m}$ is $0,2 \mu\text{m} / \text{pix}$.

Studies of the kinetics of accumulation of fatigue damage were carried out on samples of low-carbon steel St3, which is a material widely used in the structures of load-bearing elements of rolling stock of railway vehicles intended for long-term operation. analysis of the process of accumulation of plastic deformations on the surface of samples. The strength characteristics of the studied steel St3 are as follows: ultimate strength $U_{ST} = 380 \text{ MPa}$, conventional Yield point $= 200 \text{ MPa}$, fatigue limit $= 125 \text{ MPa}$; Young's modulus $E = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$) [13].

Investigated flat polished corset specimens with a thickness of 2 mm under soft loading on the basis of 10^{10} cycles. The samples were tested at symmetric bending at a frequency of 13 kHz on a stand with a resonant power exciter of the electrostrictive type.

The loading coefficient K_{dn} of the specimens for cyclic loading was determined as the ratio $K_{dn} = N_t / N_b$, where N_t is the current number of loading cycles at the stress of the high-cycle fatigue limit; N_b is the number of loading cycles based on tests 10^7 .

The analysis of the statistical parameters of the distribution of discrete surface deformations is carried out on the basis of the developed program for digital image processing and the program "PAST". In calculating the correlation characteristics of deformation by the parameters of the statistical distribution of the speckle structure, the ISO 25178 standard was used with the use of methods of mathematical statistics to determine the mean value from n measurements, the error of an individual measurement, the standard deviation and the root mean square error.

Student's coefficient: $t_\alpha(n)$ was determined for the accepted value of the confidence interval $P = 0,95$ and the number of measurements $n = 100$ ($t_\alpha(n) = 1.646$).

This is how the confidence intervals or measurement error are determined. The error of the method is estimated by the formulas of the standard error and standard deviation and is at the level of $e = \pm 0.05$.

The state of the discrete structure of the relief of the deformed surface contains information about the accumulated scattered damage, which corresponds to the characteristics of the stochastic distribution of the amplitude parameters of microplastic deformations of the metal surface. The image obtained by the method of optical-digital transformation of the topogram of the deformed surface of the polycrystal is shown in Fig. 1.

Research results and their discussion

The initial data for the analysis of the kinetics of the deformed surface of the samples in the work are considered in the form of a histogram of the image of a sample of speckles in the coordinates of the scales: I is the intensity of the brightness of the elements (pixels) of the photodiode array, n is the number of elements of a certain intensity (event frequency) in shades of gray. In Fig. 2 shows histograms of images at

different stages of cyclic loading (accumulation of fatigue damage) of St3 steel samples.

Amplitude spectra of the surface images of St3 steel samples in the range of gray scale gradations at different stages of fatigue in the range of relative durability under gigacycle loading are shown in Fig. 3. Some of these images correspond to the stages in Fig. 3.

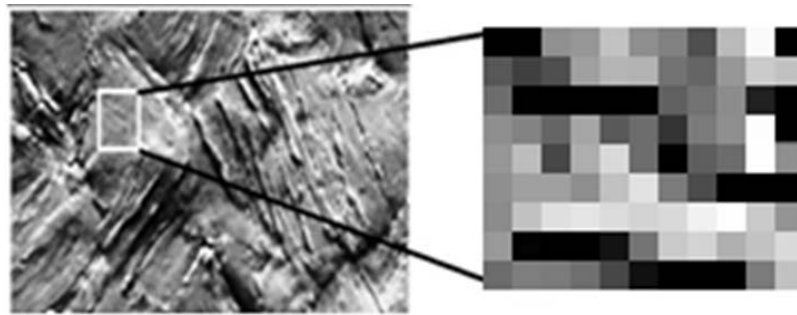


Fig. 1 - Scheme of optical-digital transformation of the topogram of the optical surface of the polycrystal (a) into a digital image of the specklogram (b)

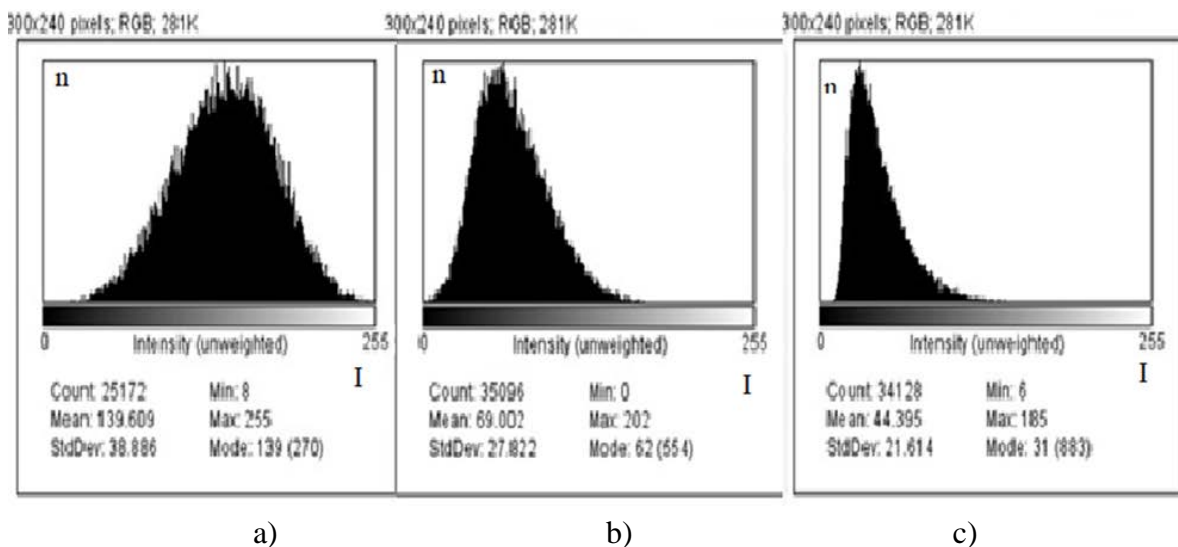


Fig. 2 - Histograms of images at different stages of accumulation of fatigue damage for specimens of steel grade St3: a - 10^6 ; b - 10^8 ; c - 10^{10}



Fig. 3 - Amplitude spectra of surface images of St3 steel samples in the range of gray scale gradations at different stages of fatigue in the range of relative durability under gigacycle loading: a - 10^6 ; b - 10^7 ; c - 10^8 ; d - 10^9 ; e - 10^{10} cyc

The digital images of the amplitude spectra shown in Fig. 3 were transformed into a sequence of correlation characteristics of local deformations in accordance with the base of cycles of the relative durability of the sample.

The regularities of the accumulation of surface deformation defects were obtained from the analysis of the sequence of histograms of the brightness of the speckle structure image. The graphs presented in Fig. 4 characterize the corre-

lation diagrams of discrete deformations of the surface of the St3 test sample.

To determine the limiting state of material damage at stresses below the endurance limit, autocorrelation characteristics of behavior normalized to the maximum value of the amplitude of local plasticity, shown in Fig. 5, were built.

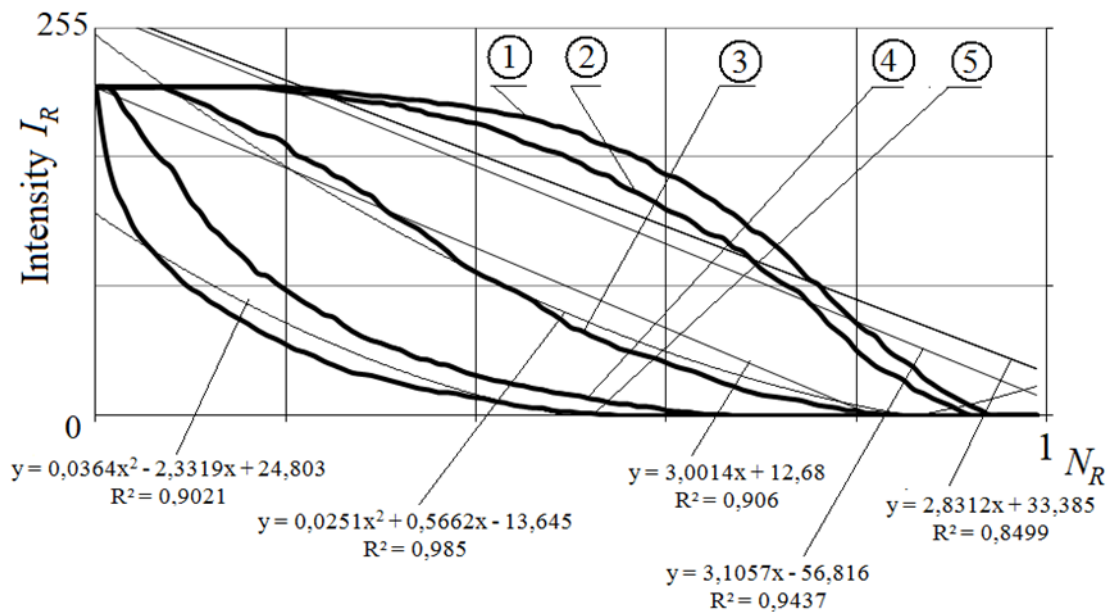


Fig. 4 - Correlation diagrams of deformation of St3 steel samples after deformation on the basis of 1010 cycles at cyclic stresses by tension-compression 30 % below the endurance limit. I_R - relative intensity of brightness, N_R - relative durability

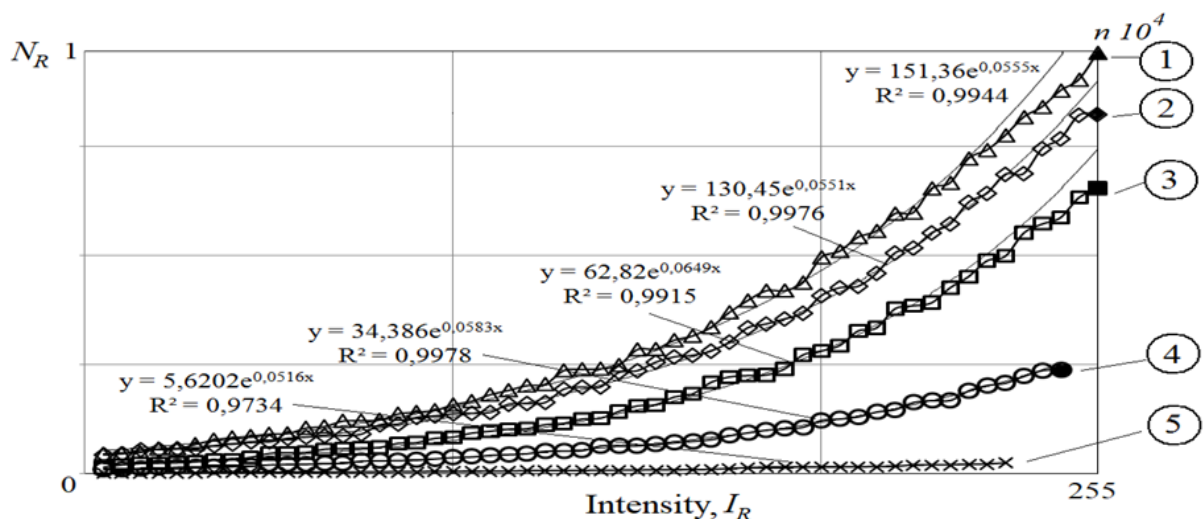


Fig. 5 - Autocorrelation diagrams of deformation of St3 steel samples after deformation on the basis of 1010 cycles at cyclic stresses by tension-compression 30 % below the endurance limit

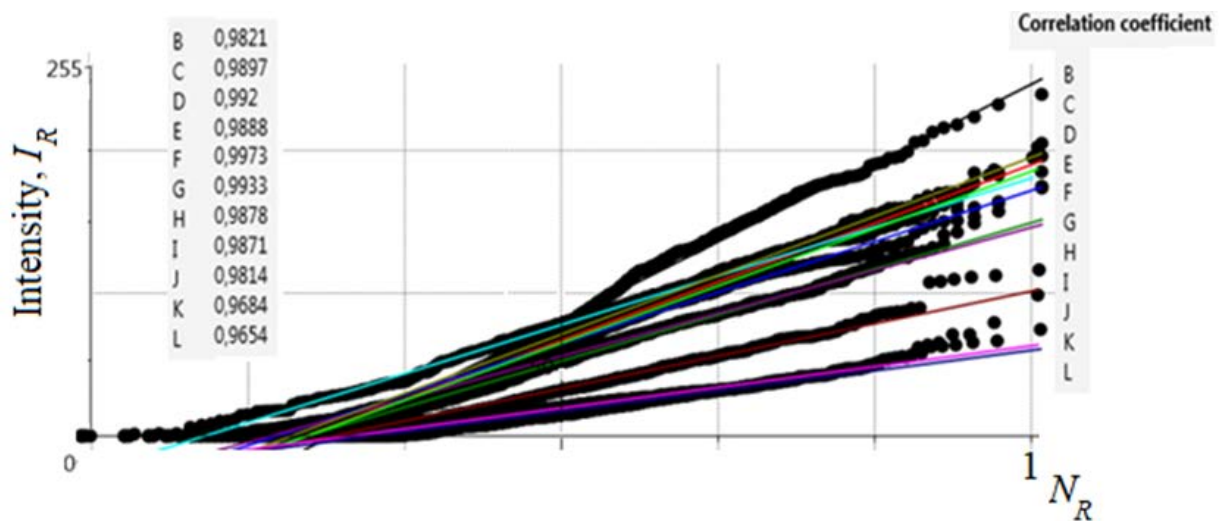


Fig. 6 - Linear regression plots of damage characteristics under gigacycle loading of St3 steel specimens

The kinetic properties of the accumulation of inelastic deformations, shown in Fig. 7 (y-axis P is the normalized accumulated damage), based on the results of the analysis of the limiting dia-

grams of the normalized values obtained in the range of loading cycles (see Fig. 5).

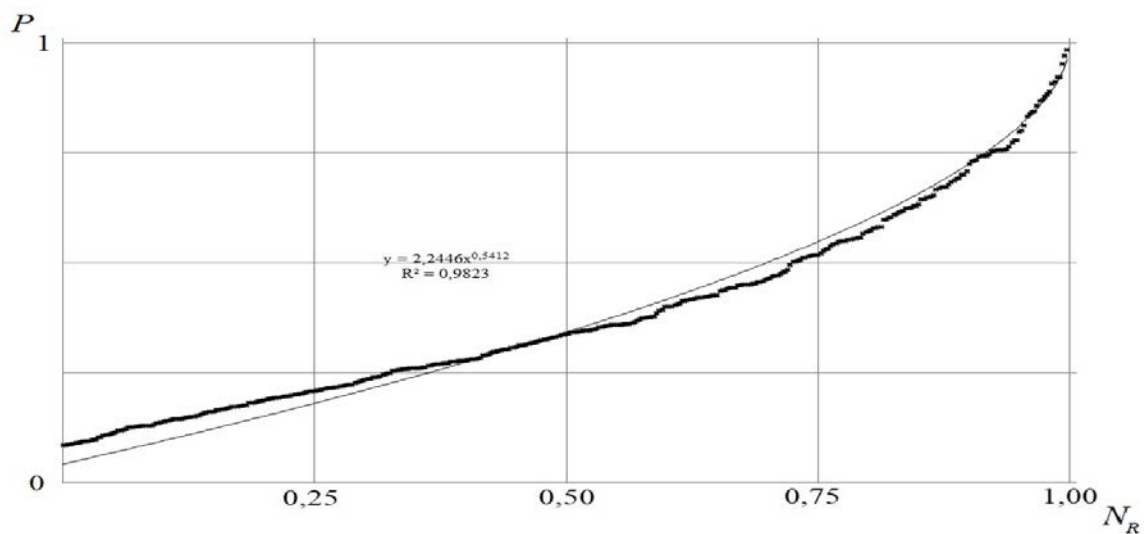


Fig. 7 - Cumulative probability of damage of St3 under loading based on 10^{10} cycles

The graph of the kinetic characteristics of damage, shown in Fig. 7, is built from the points of intersection of the line parallel to the coordinate axis of the intensity of the family of deformation correlation diagrams shown in Fig. 5 in the sequence of the growth of the scale of relative durability, where: $n_{0''}$ - number of dark pixels, n_{255} - number of bright pixels, n_{Σ} - total number of pixels.

To check the mean values of independent series of measurements of different groups of samples, we used the methods of statistical test-

ing of hypotheses based on the Student's distribution. The use of the t-test is connected with checking the equality of the mean values in two samples. The results of the t-test carried out for the samples of measurement results of correlation diagrams are shown in Fig. 8. Deformations No. 1 and No. 5 shown in Fig. 5

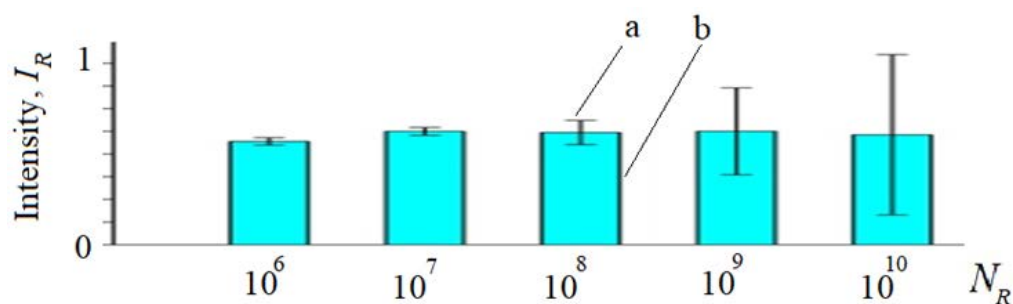


Fig. 8 - Block diagram of the values of the parameters of the distribution of the sample:
a - the amplitudes of the quadratic relief, b - the boundaries of the scattering
of the values of the standard deviation in the loading range

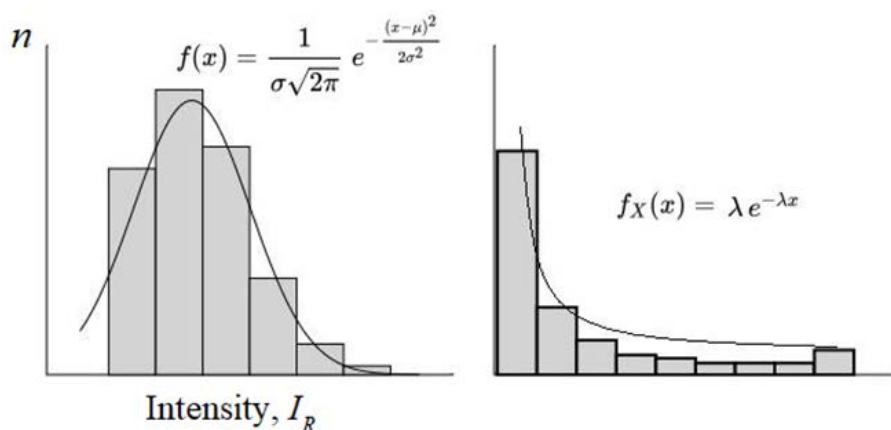


Fig. 9 - Histograms of the distribution function of the standard deviation of the samples of correlation diagrams: σ – standard deviation, μ – expected value, λ – distribution parameter

The dynamics of the angular position of the sequence of linear regression diagrams (Fig. 6) corresponds to the dynamics of the slope of the correlation diagrams of deformation of the samples (Fig. 4) with the correlation coefficients $R^2 = 0.96 \dots 0.99$. The limiting state of damage samples St 3 (Fig. 9a) corresponds to the distribution function of the standard deviation of the distribution of surface deformations. For reference specimens distribution function corresponds to the normal law (Fig. 9a), but for specimens loaded to 10^{10} of cycles – function (Fig. 9b) corresponds to the Pareto distribution.

Conclusions

- It was found that the regularities of the development of microplastic deformations of samples of steel grade St3 have a monotonic function of the correlation dependence of the intensity of the brightness of the speckle structure of the analyzed object in the gigacycle range of loading up to 10^{10} loading cycles.

- A computational and information system has been developed for the analysis of quantitative characteristics of damage to an elastoplastic

material by the method of laser scanning with a resolution of $0.2 \mu\text{m} / \text{pic}$.

- A method is proposed for determining the parameters of scattered fracture during gigacycle loading of specimens of low-carbon steel St3 based on the discrete distribution function of inelasticity.

- The correlation characteristics of the parameters of damage to steel grade St3 under loading in the gigacycle range at a stress of 120 MPa with a frequency of 13 kHz have been obtained.

References

1. Коссов В. С. Учет гигацикловой усталости сталей при оценке срока службы ответственных деталей железнодорожной техники / В. С. Коссов, В. Н. Огуенко, В. В. Огуенко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 19. – С. 165-169.
2. Махутов Н. А. К вопросу оценки ресурса и безопасности эксплуатации конструкций подвижного состава / Н.А. Махутов, В.С. Коссов, Э.С. Оганьян // Заводская лаборатор-

- рия. Диагностика материалов. – 2007. – Т. 73 – № 11. – С. 43-47.
3. Коршунов С. Д. Комплексные испытания, оценка несущей способности и остаточного ресурса специализированного пассажирского вагона / С.Д. Коршунов, О.А. Ворон // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. –2014. – № 1. –С. 8-12.
4. Bydzan, A., Panin, S. (2000). Fatigue failure as process of sequential development of plastic deformation and continuity disturbance in hierarchy of structural levels. Proceedings - KORUS 2000: 4th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology, Ulsan, Korea, 337–341.
5. Lecompte, D., Sol, H., Vantomme, J., Na-braken, J. (2006) / Analysis of speckle patterns for deformation measurements by digital image correlation. Proc. SPIE. 6341, Speckle06: Speckles, From Grains to Flowers (15 September 2006), [http:// doi:10.1117/12.695276](http://doi:10.1117/12.695276).
6. Наймарк О. Б. Кинетика накопления дефектов и дуальность кривой Веллера при гигацикловой усталости металлов / О.Б. Наймарк, О.А. Плехов, В.И. Бетехтин и др. // Журнал технической физики. – 2014. – Т. 84. – Вып. 3. – С. 89-94.
7. Mughrabi, H. (2009). Cyclic Slip Irreversibilities and the Evolution of Fatigue Damage. Metallurgical and Materials Transactions B, 40, 1257-1279.
8. Мезоскопические структурные уровни деформации в поверхностных слоях и характер усталостного разрушения поликристаллов при знакопеременном изгибе. Часть I. мезоскопическая субструктура / [В. Е. Панин, Т. Ф. Елсукова, А. В. Панин и др.]. // Физическая мезомеханика. – 2004. – № 2. – С. 5–17.
9. Писаренко Г. Г. Вплив експлуатаційних чинників на закономірності розподілу дискретних деформацій поверхневого шару металоконструкцій за багатоциклового навантаження зразків / Г. Г. Писаренко, О. В. Войналович, А. М. Майло // Mechanics and Advanced Technologies. - 2018. - № 3 (84). – С. 39-44.
10. Martin, Y., Williams, C. C. and Wickramasinghe, H. K. (1987). Atomic force microscope–force mapping and profiling on a sub 100-Å scale. J. Appl. Phys, 61, 4723, <http://dx.doi.org/10.1063/1.338807>.
11. Яковлева Т. Ю. Локальная пластическая деформация и усталость металлов / Т. Ю. Яковлева. – К.: Наукова думка, 2003. – 237 с.
12. Meireles, J. B., da Silva, L., Caetano, D. P., Huguenin, J. O. (2003). Effect of metallic

surface roughness on the speckle pattern formation at diffraction plane. Optics and Lasers in Engineering, 50 (12), 1731–1734.

13. Трощенко, В. Т. Соппротивление усталости металлов и сплавов: справ. в 2 т. / В. Т. Трощенко, Л. А. Сосновский. — Киев: Наукова думка, 1987. — Т. 1. — 510 с.; Т. 2. — 825 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Писаренко Георгій Георгійович

(Pysarenko Georgiy Georgiyovich),
д.т.н., професор, завідувач відділу
високочастотних методів дослідження
міцності та дефектності матеріалів Інституту
проблем міцності імені Г.С. Писаренка
Національної академії наук (НАН) України.
Вул. Тимірязєвська, 2,
м. Київ, 01014, Україна.
Тел.: +38 044 286 28 57.
E-mail: method@ipp.kiev.ua.

Войналович Олександр Володимирович

(Voynalovich Oleksandr Volodimirovich),
к.т.н., доцент кафедри охорони праці і
біотехнічних систем у тваринництві
Національного університету біоресурсів і
природокористування України.
Вул. Героїв оборони, 15,
м. Київ, 03041, Україна.
Тел.: +38 067 500 54 00.
E-mail: voynalovich@nubip.edu.ua.

Майло Андрій Миколайович

(Maylo Andriy Mykolayovich),
к.т.н., с.н.с. відділу високочастотних
методів дослідження міцності та
дефектності матеріалів Інституту
проблем міцності імені
Г.С. Писаренка НАН України.
Вул. Тимірязєвська, 2,
м. Київ, 01014, Україна.
Тел.: +38 044 286 28 57.
E-mail: maylo@ipp.kiev.ua.

Писаренко Степан Георгійович

(Pysarenko Stephan Georgievich),
аспірант Інституту проблем міцності
імені Г.С. Писаренка НАН України,
Вул. Тимірязєвська, 2,
м. Київ, 01014, Україна.
Тел.: +38 044 286 28 57.
E-mail: method@ipp.kiev.ua.

УДК 681.2.083

DOI: 10.34029/2311-4061-2021-140-3-53-66

Кандидаты техн. наук Зонов В. Д.,

Матяш В. А.

Инженеры Белоус Ю. А., Польшников Ю. В.,

Левцов В. Б.

МЕТОДОЛОГИЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАССЫ ТОПЛИВА АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫМ КОМПЛЕКСОМ ТЕПЛОВОЗУ

Ключевые слова: тепловоз, масса топлива, методология измерения, физико-химические характеристики, математическая модель, аппаратно-программный комплекс, метрология, калибровка

Вступление

В настоящее время экономическая ситуация в Украине не позволяет в достаточной степени обновлять тяговый подвижной состав (ТПС), характеризующийся критическим старением и сопутствующей низкой эффективностью внедряемых энергосберегающих технологий. Сложившаяся практика в сегменте технологий энергосбережения АО "Укрзализниця", свидетельствует о необходимости концептуального пересмотра существующих технологий и проработки новых, низкозатратных технологий, позволяющих повысить энергетическую эффективность ТПС, при одновременном снижении затрат на эксплуатационные расходы [1]. Помимо этого, в эксплуатационных расходах присутствует проблемный фактор программно-аппаратного обеспечения измерения, контроля и учёта расхода топлива, оценки технического состояния тепловозного дизеля, в реальном времени эксплуатации.

Проблема точности и эффективности измерения величин расхода топлива локомотивом на тягу поездов и маневровую работу обусловлена поиском современных методов, принципов и средств аппаратно-программного контроля расхода топлива тягового подвижного состава (ТПС), в реальном времени эксплуатации [3, 10]. Известно, что дизельное топливо, составляет более 70

% затрат от общих эксплуатационных расходов, приходящихся на весь эксплуатируемый парк тепловозов АО "Укрзализниця". Компенсировать затраты в условиях роста цен на дизельное топливо, с сохранением рентабельности эксплуатируемого парка тепловозов АО "Укрзализниця", возможно путём внедрения эффективных энергосберегающих технологий, предусматривающих использование современных аппаратно-программных комплексов и систем измерения, учёта и контроля расхода дизельного топлива тепловозом в реальном времени эксплуатации.

Анализ результатов ранее проведённых исследований и публикаций

Современная отечественная и зарубежная практика использования систем измерения, учёта и контроля расхода топлива магистральными и маневровыми тепловозами характеризуется разнообразием методов, способов и принципов измерений [3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

Выбор методов измерения обусловлен многообразием задач по определению количественных и качественных характеристик дизельного топлива, включая его физико-химические характеристики [14, 17, 18, 19, 20], решение которых, в современной эксплуатации ТПС позволит повысить точность и эффективность измерения расхода топлива дизелями тепловоза [2, 4, 5, 6], измерения, учёта и контроля массы топлива в топливных баках тепловозов, стационарных резервуарах топливных складов локомотивных депо [5, 6, 15, 21] и в передвижных топливозаправщиках [5, 6, 21].

Измерение и контроль расхода топлива, потребляемого магистральными и маневровыми тепловозами АО "Укрзализниця", не оборудованными измерительными системами «БИС-Р», СКПРТ «ДЕЛЬТА», осуществляется визуально в начале и конце рабочей смены, по разнице объёма топлива в топливном баке тепловоза, по показаниям топливомерного стекла либо топливной рейки, имеющей тарированную градуировочную разметку [4, 7, 8]. Определение массы израсходованного топлива осуществляется с учётом его коэффициента плотности определённого, при экипировке тепловоза [4] в химической лаборатории локомотивного депо. В течение

периода эксплуатации маневровых и магистральных тепловозов значения плотности топлива принимаются по данным на дату последней экипировки локомотива. В зависимости от местных условий эксплуатации тепловоза межэкипировочный период может составлять несколько суток. В течение этого периода значение плотности топлива, принятое для расчетов на дату последней экипировки, может изменяться из-за влияния на температуру топлива суточных колебаний температуры окружающей среды и его подогрева от работающего дизеля тепловоза, что в конечном итоге приводит к погрешности измерения расхода дизелем топлива, а также погрешности определения израсходованного из топливного бака объема топлива на тягу поездов и маневровую работу [4].

Измерение и контроль расхода топлива на выполненную работу маневровыми тепловозами, оборудованными системой «БИС-Р» с первичными датчиками - блоками преобразователей (БПР) расположенными в топливном баке тепловоза и в системе управления его силовой установкой, осуществляется БПР и блоком обработки информации (БОИ). Блок БОИ один раз в секунду опрашивает блоки БПР для получения информации об уровне топлива, температуре и реализуемой мощности дизеля. Информация об уровне топлива пересчитывается в объем в соответствии с калибровочной таблицей топливного бака, хранящейся в памяти БОИ. Один раз в две минуты усредненные значения объема, температуры и мощности записываются в долговременный электронный архив БОИ, хранящийся в течение 10 суток [7]. Расход топлива дизелем на выполненную работу определяется по величине объема израсходованного топлива из топливного бака тепловоза. Отчетность по израсходованному объему топлива из топливного бака тепловоза за смену (интегральный расход) приводится в литрах, а массовый расход (в килограммах) определяется путем умножения измеренного изменения объема топлива на коэффициент его плотности, зафиксированного машинистом тепловоза по дате и времени последней экипировки локомотива [4, 7, 8, 9].

Методика измерения и контроля плотности дизельного топлива [19] в стационарных резервуарах и передвижных топливозаправщиках предусматривает измерение коэффи-

циента плотности 1-2 раза в сутки [4]. При этом, величина возможных отклонений коэффициента плотности в течении отчетного суточного периода имеет тенденцию к накоплению, приводящую к превышению измеряемой величины нормированного значения плотности [4]. Количество заправленного топлива в топливные баки магистральных и маневровых тепловозов из стационарных резервуаров локомотивных депо, либо передвижных топливозаправщиков, фиксируется и регистрируется в журналах учета по показаниям счетчика топливораздаточной колонки в единицах объема (литры). Пересчет заправленного в топливные баки магистральных и маневровых тепловозов объема топлива в его массу осуществляется машинистом локомотива (влияние «человеческого фактора») путем перемножения величины измеренного объема топлива на коэффициент его плотности [20] - определяемый экспресс-анализом взятой пробы топлива в химической лаборатории локомотивного депо. Полученная пересчетом масса топлива (в килограммах) фиксируется машинистом тепловоза в бортовом журнале локомотива, с обязательным указанием величины использованного коэффициента плотности, с отметкой даты и времени.

При эксплуатации магистральных тепловозов, оборудованных системой СКПРТ «Дельта», расход топлива дизелем на выполненную работу определяется (аналогично системе «БИС-Р») также по величине объема топлива, израсходованного из топливного бака тепловоза. Отчетность о израсходованном объеме топлива из топливного бака тепловоза за смену (интегральный расход) приводится в литрах, а массовый расход (в килограммах) пересчитывается путем перемножения объема на коэффициент плотности топлива, зафиксированного машинистом тепловоза по дате и времени последней экипировки [4, 7, 8, 9]. Дополнительно необходимо отметить, что измеряемая в течение смены СКПРТ «Дельта» и «БИС-Р» величина объема топлива в топливном баке тепловоза, включает в себя и объем топлива, находящегося в топливопроводе, при этом суммарное изменение объема, принимается за объем топлива, израсходованный дизелем тепловоза за период измерения. В результате, при пересчете величины суммарного объема топ-

лива в килограммы его массы через коэффициент плотности, установленной на момент заправки топлива в топливный бак тепловоза, происходит значительное искажение интегрального расхода топлива на выполненную работу в течение смены. Полученный таким образом интегральный расход топлива, из топливного бака тепловоза (включающий объём и в топливопроводе), не является достоверным критерием расхода топлива дизелем тепловоза, а тем более оценочным показателем качества рабочего процесса и теплотехнического состояния дизеля тепловоза. Качество рабочего процесса и теплотехническое состояние тепловозного дизеля оценивается по показателям индикаторного и эффективного расхода топлива, измеренного непосредственно на дизеле [23]. Практически все измерительные системы используемые на тепловозах не определяют в реальном масштабе времени эксплуатации параметры физико-химических (энергетических) характеристик топлива – его плотности, температуры, вязкости и др., изменяющихся под влиянием температуры окружающей среды, что в конечном итоге приводит к значительному искажению точности и погрешности измеряемых объёмов топлива, израсходованного дизелем из топливного бака тепловоза при его эксплуатации [4].

Измерение, учёт и контроль расхода топлива автономным тяговым подвижным составом (ТПС) АО "Укрзалізниця" подразделяется на оперативный и коммерческий, а нормирование расхода топлива на тягу поездов и маневровую работу осуществляется в массовом эквиваленте-килограммах [22].

Первичный оперативный и коммерческий мониторинг интегральных расходных характеристик топлива тепловозами за смену выполняется группой учёта локомотивного депо, путём переформатирования данных маршрутов машиниста в электронный вид для последующей обработки в системе интегрированной обработки маршрутов машиниста (ИОММ). Принятая форма учета израсходованного топлива, являющегося основой для нормирования расхода топлива на тягу поездов и маневровую работу тепловоза, и минимум дважды подвергается влиянию "человеческого фактора", влияющего на учётный показатель расхода топлива [4].

Оперативный контроль [1, 5] и учёт расхода топлива тепловозами реализуется в

структуре Департамента локомотивного хозяйства АО "Укрзалізниця" [1], с целью: мониторинга эксплуатационного расхода топлива на тягу поездов и маневровую работу; мониторинга заправки топлива в топливный бак тепловоза; мониторинга несанкционированного отбора топлива из топливной системы тепловоза; мониторинга теплотехнического состояния дизеля тепловоза. Оперативный мониторинг эксплуатационного расхода топлива маневрового тепловоза серии ЧМЭ, оборудованного измерительной системой «БИС-Р», осуществляется её блоком обработки информации (БОИ) с которого на съёмный модуль памяти МП-1, переписывается заархивированная БОИ информация за десять суток работы локомотива [7, 8]. С модуля памяти вся текущая информация переносится инженером-теплотехником локомотивного депо на его ПК и далее, по сети Интернет передаётся в топливно-теплотехнический отдел службы локомотивного хозяйства соответствующей железной дороги. По требованию, далее информация передаётся в Департамент локомотивного хозяйства АО "Укрзалізниця". В департаменте локомотивного хозяйства топливно-теплотехническим управлением проводится сравнительный анализ фактических и нормируемых расходов топлива тепловозами эксплуатационного парка на тягу поездов и маневровую работу.

Коммерческий учёт и контроль расхода топлива тепловозами осуществляется в группах учёта локомотивных депо при совершении операции заправки дизельного топлива в топливный бак тепловоза из стационарного резервуара локомотивного депо либо из передвижного топливозаправщика. Информация по коммерческому учёту заправленного объёма топлива, с соответствующей плотностью, температурой и вязкостью, архивируется в первичной группе и передаётся на съёмный носитель инженеру-теплотехнику локомотивного депо, и далее по сети Интернет в топливно-теплотехнический отдел локомотивной службы дороги, а по требованию и в топливно-энергетический отдел Департамента локомотивного хозяйства АО "Укрзалізниця".

Анализ зарубежных и отечественных систем измерения расхода топлива «РПРТ», «НОРД», «БОРТ», «Дельта», «БИС-Р» [13, 12, 11, 8, 7] свидетельствует о том, что практически все эти измерительные системы не

измеряют в реальном масштабе времени физико-химические показатели топлива - его плотность, температуру и другие, которые изменяются в зависимости от воздействия колебаний температуры окружающей среды. Отсутствие параметрического контроля изменения температуры окружающей среды, влияющей на физико-химических характеристики топлива в момент измерения, приводит к искажению результатов измерений и недоверительному мониторингу всех периодических дистанционных измерений расхода топлива тепловозами на тягу поездов и маневровую работу. Измеряемый объём топлива в топливном баке тепловоза пересчитывается в его массу путём перемножения полученного объёма на коэффициент плотности топлива, по дате и времени на момент последней заправки с топливного склада локомотивного депо либо топливозаправщика.

Ультразвуковые датчики уровня топлива в топливном баке тепловоза фиксируют (с момента запуска дизеля тепловоза и в течение смены) суммарный объём топлива расходуемый дизелем тепловоза, с объёмом топлива в топливном баке, что приводит к нарастанию ошибки соответствующих измерений за смену. Величины объёмов топлива в топливном баке различных серий тепловозов находятся в пределах 30-50 литров. Измеряемая описанными методами суммарная величина объёмов израсходованного топлива из топливного бака тепловоза, с учётом топлива находящегося в топливном трубопроводе, не является достоверным критерием расхода топлива дизелем тепловоза. Практически все применяемые измерительные системы не обеспечивают в условиях эксплуатации измерение с необходимой точностью массового и удельного эффективного расхода топлива дизелем тепловоза, необходимых для оценки качества рабочего процесса дизеля тепловоза и его теплотехнического состояния.

Постановка задачи

Целью проведенного исследования являлась разработка методологии измерения в реальном масштабе времени аппаратно-программным измерительным комплексом, с встроенной системой измерения, учёта и контроля расхода топлива двигателем внутреннего сгорания (ДВС) транспортного средства и мониторинга теплотехнического состояния ДВС [25], физико-химических (энергетиче-

ских) характеристик топлива, позволяющих измерять и контролировать массу топлива, часовой и удельный эффективный его расход дизелем тепловоза, уровень топлива в топливном баке локомотива, с передачей результатов измерений, через трекер, по GPRS-каналам к адресатам АО "Укрзализниця" (в соответствии с проектом модернизации тепловозов предложенным ПКТБ РЛ в 2020 г. [24]).

Результаты проведенных исследований

Авторами разработана методология измерения специализированным аппаратно-программным измерительным комплексом (АПИК) в реальном масштабе времени физико-химических (энергетических) характеристик топлива, позволяющих, с высокой точностью и низкой погрешностью, измерять массу израсходованного дизелем тепловоза топлива, его часовой и удельный эффективный расход, измерять массу топлива в топливном баке локомотива, массу топлива не-санкционированно отбираемого из топливного бака либо топливной системы тепловоза. По результатам измерения удельного эффективного расхода топлива появляется возможность оценивать качество рабочего процесса и теплотехническое состояние дизеля тепловоза в реальном времени.

Методология измерения и расчёта массы топлива заключается в определении искомой массы дизельного топлива при непосредственном измерении и расчёте АПИК физико-химических (энергетических) характеристик дизельного топлива, величины которых передаются в таблицы соответствия калибровочной модели измерительного процесса информационно-вычислительных блоков, расположенных в нагнетательной и сливной измерительных камерах дифференциального расходомера топлива (DFM), и датчиков уровня, температуры и плотности (ДТУ) [25].

Предлагаемый АПИК содержит: дифференциальный расходомер топлива DFM, с интерфейсным кабелем; ультразвуковые датчики ДТУ контроля уровня, плотности и температуры топлива; датчики тока и напряжения; датчик позиции контроллера машиниста управления тепловозом. DFM, установленный в топливную магистраль дизеля тепловоза, измеряет массовый (часовой) расход топлива и удельный эффективный расход, с возможностью измерения среднеэкс-

пультационного расхода топлива ДВС. Результаты всех измерений АПИК архивируются и передаются через трекер по GPRS-каналам к адресатам АО "Укрзалізниця". Расходомер DFM позволяет измерять величины объёма и физико-химических характеристики топлива, протекающего через нагнетательную и сливную камеры DFM, с пересчётом (микропроцессором информационно-вычислительных блоков по таблице соответствия) объёма топлива, через измеренный коэффициент плотности, в массу топлива. Микропроцессорами вычисляется разница массы топлива между нагнетательной и сливной измерительными камерами DFM, установленными в соответствующих топливopоводах дизеля, которая израсходована дизелем на выполненную работу. Масса израсходованного топлива в режиме реального времени архивируется АПИК и передаётся на терминал мониторинга, в виде цифровых сообщений, адресатам АО "Укрзалізниця"

Функциональные возможности и программное обеспечение DFM позволяют проводить:

- измерение, расчёт и контроль фактического часового (массового) расхода топлива, удельного эффективного и (при доработке ПО) среднеексплуатационного расхода топлива дизеля тепловоза;
- по результатам измерения часового и удельного эффективного расхода топлива обеспечивать контроль теплотехнического состояния дизеля тепловоза;
- измерение, расчёт и контроль массы дизельного топлива заправляемого в топливный бак тепловоза;
- измерение, расчёт и контроль массы дизельного топлива при его несанкционированном отборе из топливной системы тепловоза;
- контроль времени работы двигателя тепловоза в эксплуатации — суммарное и по режимам работы;
- измерение, расчёт и контроль расход топлива тепловозом — суммарного и по режимам работы двигателя;
- напряжение в бортовой сети тепловоза;
- общее время работы на тепловозе расходомера топлива и время его работы от встроенной батареи;
- самодиагностику расходомера, позволяющую в реальном масштабе времени контролировать качество его работы на тепловозе;

зе и факты несанкционированного воздействия на расходомер;

- контроль передачи данных с расходомера по цифровым интерфейсам;
- контроль работоспособности встроенной батареи внутренней энергонезависимой памяти расходомера, обеспечивающей хранение всех результатов измерений и событий;
- автоматическую термокоррекцию измерений, исходя из температуры окружающей среды;
- программную настройку расходомера.

Принцип действия ультразвукового датчика ДТУ уровня, температуры и плотности топлива базируется на свойстве отражения ультразвукового сигнала от границы двух сред и зависимости скорости распространения ультразвукового сигнала в жидкости от её плотности. Датчик уровня ультразвуковой ДТУ предназначен для измерений уровня, температуры и плотности дизельного топлива марок летнее (Л), зимнее (З), арктическое (А) и передачи информации от него по интерфейсу типа RS-485 DTU. Он обеспечивает непрерывное корректное измерение, учёт и контроль массового расхода топлива, его уровня, температуры и плотности в топливном баке тепловоза, с защитой от вибрационного воздействия тепловоза. ДТУ измеряет массу топлива при его заправке в топливный бак тепловоза и измеряет массу топлива при несанкционированном отборе топлива из топливного бака или из топливной системы тепловоза. Встроенный в ДТУ датчик плотности обеспечивает высокую точность измерения плотности топлива в диапазоне его давлений 700-880 кг/м³ и рабочем диапазоне температур окружающей среды от -40 °С до +50 °С.

Установленный датчик тока и напряжения (ДТН) позволяет АПИК определять в реальном времени реализуемую мощность дизель-генератора и рассчитать удельный эффективный расход топлива, характеризующий качество рабочего процесса и теплотехническое состояние дизеля тепловоза в условиях эксплуатации. Датчик позиции контроллера машиниста (ДПКМ) позволяет определять и фиксировать установленную позицию контроллера машиниста и время работы тепловоза на данной позиции, позволяет по результатам измерений рассчитывать среднеексплуатационный расход топлива тепловозом.

Аппаратно-программный измерительный комплекс имеет встроенное программное обеспечение расчёта массы топлива, израсходованного дизелем тепловоза, расчёта массы, израсходованного топлива из топливного бака тепловоза, расчёта физико-химических характеристик топлива, осуществляемой контроллерами микропроцессоров DFM и ДТУ. Математическая модель расчёта массы топлива учитывает влияние температуры окружающей среды на изменение физико-химических характеристик топлива, его температуры и плотности в нагнетательной и сливной измерительных камерах DFM, уровня, температуры и плотности топлива в топливном баке тепловоза. Результаты определения массового расхода топлива, удельного эффективного и среднеэксплуатационного расходов топлива сравниваются с результатами выполненных расчётов и архивируются в энергонезависимой памяти информационно-вычислительного блока АПИК. Результаты выполненных измерений и расчётов, через трекер по GPRS-каналам передаются к адресатам АО "Укрзалізниця". В энергонезависимой памяти АПИК архивируется масса топлива, заправляемая в топливный бак тепловоза, и масса топлива несанкционированно отбираемого из топливной системы тепловоза.

Созданная математическая модель расчёта массы топлива, позволяет определять:

- "паспортный (заводской)" расход топлива дизелем тепловоза на всех диапазонах частот вращения его вала и реализуемой мощности, включая режимы холостого хода и малых нагрузок;
- "среднеэксплуатационный" расход топлива на всех позициях контроллера машиниста тепловоза;
- суммарный расход топлива на "переходных режимах" контроллера машиниста, состоящий из стабилизированного расхода на данной позиции и расхода, соответствующего режиму номинальной мощности дизеля;
- расход топлива при "несанкционированном режиме" отбора топлива из топливной системы тепловоза;
- расход топлива в "режиме разгерметизации" топливной системы силовой установки тепловоза и пенообразования в обратном топливopровode двигателя.

Время измерения массы топлива, контроль и учёт его расхода тепловозным дизелем на режимах работы: "Паспортный", "Среднеэксплуатационный", "Переходной", "Несанкционированный", "Разгерметизация" фиксируется АПИК, с сохранением получаемой информации в энергонезависимой памяти измерительного комплекса.

Перед установкой в топливную систему тепловоза дифференциальный расходомер DFM и ультразвуковые датчики ДТУ проходят метрологическую аттестацию и калибровку (тарировку) на дизельном топливе, с архивированием получаемых физико-химических характеристик топлива в таблице соответствия.

Измерительный преобразователь (расходомер) DFM калибруется на функцию для определения количества импульсов выходного сигнала соответствующего 1 кг топлива, протекающего через нагнетательную и сливную измерительные камеры DFM, с регистрацией и архивированием в таблице соответствия откалиброванного значения количества импульсов на 1 кг (л) топлива, и введением в настройку программного обеспечения DFM мониторинга расхода топлива дизелем тепловоза. Заархивированная информация через интерфейсный кабель DFM передаётся на терминал мониторинга АПИК. Датчик ДТУ калибруются производителем для определения минимального и максимального уровней топлива в топливном баке тепловоза.

Параметры измерения и расчёта, в программном обеспечении DFM имеют следующее назначение:

- определение величины импульса — массы (объёма) израсходованного двигателем топлива, при котором DFM вырабатывает один выходной нормированный импульс, при этом одному выходному нормированному импульсу расходомера соответствует израсходованная масса топлива, равная номинальному объёму измерительной камеры переможеному на плотность топлива, зафиксированного в измерительной камере, с учётом таблицы соответствия расходомера;
- введение поправочного коэффициента расхода — обеспечивающего корректировку расходомера, при выявлении постоянного завышения показаний, в случаях работы на переходных режимах и повышенной вибра-

ции дизеля тепловоза, при этом, например, если АПИК установлено, что расходомер завышает паспортные показания на 3 %, то расчётная программа задаёт значение поправочного коэффициента расхода равное минус 3 %, а если расходомер занижает показания на 2 %, то задаётся значение поправочного коэффициента расхода равное плюс 2 %;

- включение температурной компенсации – режим программы температурной корректировки измеряемой массы расхода топлива, в зависимости от температуры окружающей среды;

- расчёт массы топлива, приведенного к стандартной температуре, при которой измеряются и рассчитываются масса топлива, при этом погрешность измерения в измерительных камерах расходомера нормируется для номинального значения рабочей температуры топлива, равной 20 °С;

- определение температурного коэффициента объёмного расширения топлива, который включает коэффициент объёмного

расширения дизельного топлива (зимнее, летнее, арктическое) β , при изменении температуры окружающей среды на 1 °С.

Границы режимов работы расходомера задаются значениями скорости потока дизельного топлива в его измерительных камерах (с учётом вязкости топлива) для различных частот вращения и нагрузки двигателя тепловоза. Контроль режимов работы тепловоза позволяет сравнить величины паспортного удельного расхода топлива и фактически измеренного, для оценки теплотехнического состояния дизеля локомотива.

Изменение объёма топлива, при изменении температуры окружающей среды и температуры работающего дизеля, изменяет его плотность ρ . Значения коэффициента объёмного расширения β дизельного топлива в зависимости от его плотности ρ , при стандартной температуре 20 °С, приведены в таблице 1. Режимы работы расходомеров топлива DFM приведены в таблице 2.

Табл. 1 - Коэффициенты объёмного расширения и плотности дизельного топлива

ρ , кг/м ³	β , 1/°С
800,0 - 809,9	0,00094
810,0 - 819,9	0,00092
820,0 - 829,9	0,00089
830,0 - 839,9	0,00086
840,0 - 849,9	0,00084
850,0 - 859,9	0,00081
860,0 - 869,9	0,00079
870,0 - 879,9	0,00076
880,0 - 889,9	0,00074
890,0 - 899,9	0,00072
900,0 - 909,9	0,00070

Табл. 2 —Режимы работы расходомеров топлива DFM 500

Работа двигателя			Накрутка $Q > Q_{\max}$
Нормальный расход $Q_0 < Q \leq Q_{\max}$			
Холостой ход $Q_0 < Q < 2.5Q_{\min}$	Оптимальный $2.5Q_{\min} \leq Q < 0.75Q_{\max}$	Перегрузка $0.75Q_{\max} \leq Q \leq Q_{\max}$	
Q – мгновенный(фактический) расход; Q_0 . паспортный расход; Q_{\min} - нижний предел диапазона измерения Q_{\max} - верхний предел диапазона измерения			

Методология измерения, учёта и контроля массы топлива расходуемого дизелем тепловоза предусматривает принцип одновременного измерения в реальном масштабе времени часового расхода топлива, удельного эффективного расхода топлива дизелем и массы израсходованного топлива из топливного бака тепловоза. Измерение массы топлива заправляемого в топливный бак тепловоза и измерение массы топлива при несанкционированном отборе топлива из топливной системы тепловоза осуществляется АПИК по факту события. Определение энергетических характеристик топлива залитого в топливный бак тепловоза осуществляется ДТУ методом прямого измерения, а характеристик топлива в нагнетательной и сливной измерительных камерах DFM непосредственным измерением его температуры, с пересчётом микропроцессором информационно-вычислительного блока коэффициента объёмного расширения и плотности дизельного топлива в его массу, прошедшую через измерительную камеру расходомера.

Алгоритмы работы АПИК

Перед запуском дизеля тепловоза в топливном баке ультразвуковыми датчиками ДТУ измеряется плотность, температура, текущая высота уровня остатка топлива, объём и масса топлива. Текущая высота уровня остатка топлива, измеренная ультразвуковым датчиком топлива, пересчитывается контроллером микропроцессора DTU в абсолютную величину уровня, выраженную в миллиметрах, с сохранением результата расчёта в энергонезависимой памяти АПИК. Абсолютная величина текущего значения высоты уровня остатка топлива в топливном баке по показанию датчика плотности и датчика температуры топлива пересчитывается микропроцессором ДТУ в текущие значения массы остатка топлива, которые приводятся к стандартной температуре 20⁰С, и передаются по интерфейс связи в информационно-вычислительные блоки нагнетательной и сливной измерительных камер DFM с архивацией в энергонезависимой памяти АПИК.

В момент начала работы дизеля автономный дифференциальный расходомер топлива измеряет в нагнетательной и сливной измерительных камерах DFM скорости потоков топлива, температуру, плотность и массу топлива, протекающую через измерительные

камеры, на входе и выходе из дизеля. Микропроцессором высчитывается разница массы топлива между нагнетательной и сливной измерительными камерами, что соответствует массе топлива израсходованной дизелем на выполненную работу.

Для измерений массового расхода топлива дизелем тепловоза в АПИК применяется алгоритм, при котором микропроцессорная плата DFM формирует калиброванное время измерения, например 0,5 секунды, в течении которого подсчитываются генерируемые импульсы от измерительных камер расходомера DFM. Результатом таких измерений являются текущие значения относительной скорости потока топлива и массы топлива, проходящего через измерительные камеры DFM. Информационно-вычислительные блоки содержат электронные таблицы соответствия, полученные в результате индивидуальной метрологической аттестации DFM на стадии его изготовления и ввода в эксплуатацию. Каждое значение таблицы представляет собой значение одной мгновенной дозы топлива, соответствующей текущему значению его скорости, температуры и плотности.

Измеренные текущие значения скорости, температуры, плотности и массы топлива формируются информационно-вычислительными блоками DFM и ДТУ в физический адрес, состоящий из текущих значений массы израсходованного топлива, уровня, температуры и плотности, измеренных DFM в дизеле и ДТУ в топливном баке тепловоза. Информационно-вычислительные блоки нагнетательной и сливной измерительных камер DFM вычисляют часовой расход топлива, удельный эффективный и (при настройке программного обеспечения) среднеэксплуатационный расход топлива. Вычисления, например, десяти последних измерений привязываются к текущей дате и времени измерения, запоминаются и передаются через интерфейс на микропроцессор для архивирования и построения графиков расхода топлива на ПК контролирующей службы в реальном времени эксплуатации. Результаты мониторинга всех показателей расхода топлива тепловозами на тягу поездов и маневровую работу, включая контроль физико-химических (энергетических) параметров топлива, архивируется в энергонезависимой памяти АПИК. Вся заархивирован-

ная информация в реальном масштабе времени передаётся через трекер по GPRS-каналам по существующей иерархии в АО "Укрзалізниця".

Применённая математическая модель расчёта массы топлива позволяет определить в реальном времени искомую массу топлива исходя из параметров, характеризующих его физико-химические характеристики – уровень топлива, температуру, градиент температур, плотность, вязкость, в измеряемых порциях дизельного топлива и контролируемых по таблицам соответствия калибровки измерительных камер (см. табл.1). Вся совокупность физико-химических параметров дизельного топлива, с известными массами, измеряется и сравнивается с результатами метрологической аттестации датчиков в процессе их калибровки, а значения этих параметров архивируются в памяти АПИК.

Зависимость массы M измеряемого дизельного топлива и совокупности измеряемых параметров, влияющих на результаты измерений, таких, как уровень топлива,

плотность, температура, градиент температур дизельного топлива по глубине ёмкости топливного бака, вязкость и других, которые можно оперативно измерить с помощью DFM при работающем дизеле, и DUT в топливном баке тепловоза (включая его пополнение и несанкционированный отбор топлива из топливной системы тепловоза), может быть представлена в общем виде выражением:

$$M=F(q_1 q_k q_n), \quad (1)$$

где: q_1, q_k, q_n – совокупность измеряемых параметров.

Общий алгоритм проведения измерений и расчёта массы дизельного топлива израсходованного тепловозом, представленный на рисунке 1, основан на том, что любой измерительный процесс, кроме сбора и обработки информации, по определению, предусматривает операции калибровки измерительных камер DFM и топливного бака тепловоза ДТУ, по эталонам.

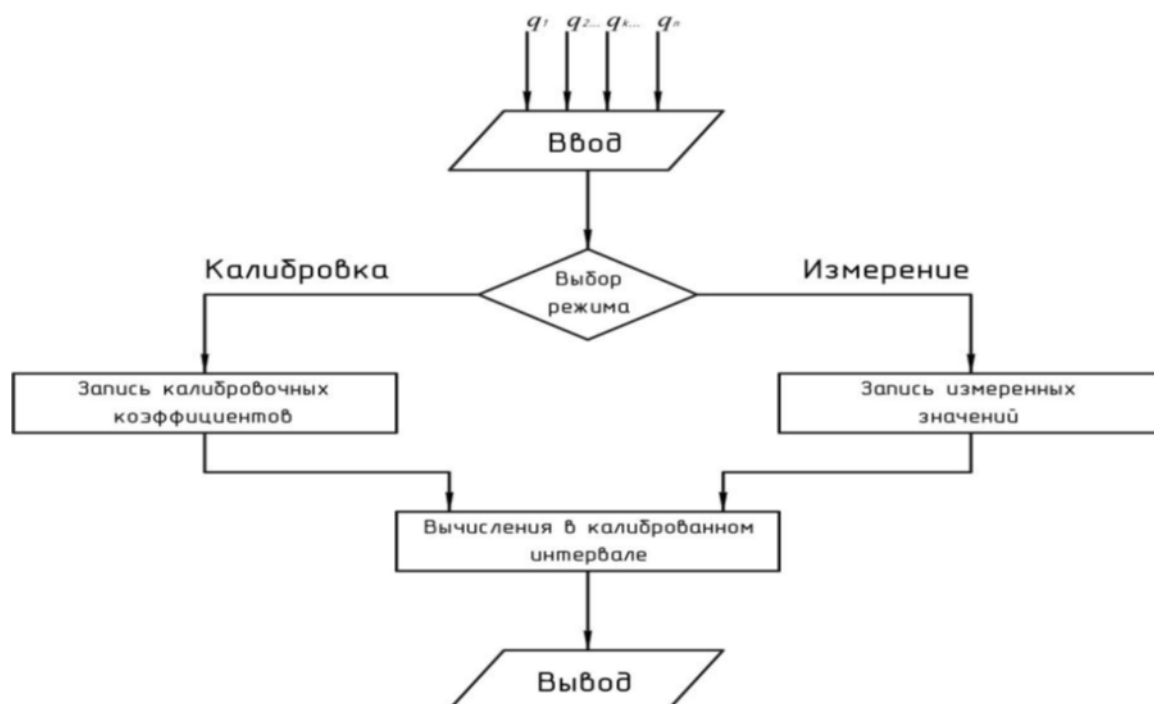


Рис. 1 - Алгоритм выполнения измерения измерительными устройствами DFM и DTU массы дизельного топлива, израсходованного тепловозом при его работе

Представленный алгоритм измерений предусматривает, что для нахождения функции преобразования M , при неизвестной функции F составляется калибровочная модель процесса измерения. Для этого в нагнетательную измерительную камеру (в трубопро-

воде подачи топлива в дизель) и в сливную измерительную камеру (в трубопроводе слива избыточного топлива из дизеля) дифференциального расходомера, либо в топливный бак тепловоза i раз поэтапно наливают количество дизельного топлива известной

массы M_i , измеряют соответствующую ей совокупность контролируемых физико-химических параметров $q_{k,i}$, где k – номер измеряемого параметра ($k=1...m$), i – номер калибровочного замера ($i=1...n$), значения которых запоминаются и архивируются в информационно вычислительных блоках DFM и DTU. Количество эталонных замеров n должно быть не меньше числа контролируемых параметров m , то есть $n \geq m$. При условии, что имеется n калибровочных наливов дизельного топлива с известными значениями массы $M_1, ... M_i, ... M_n$, $M_i = M_{i-1} + \Delta M$, где ΔM – фиксированное приращение массы на каждом этапе калибровки. При каждом наливе контролируются совокупность параметров, полученных при мониторинге нагнетательной измерительной камеры (перед дизе-

лем) и сливной измерительной камеры (после дизеля) DFM и топливного бака тепловоза ДТУ $q_{k,i}$. Отметим, что при каждом очередном наливе физико-химические параметры дизельного топлива будут меняться в процессе его налива в топливный бак тепловоза, так как он достаточно длительный, а при незначительных объёмах измерительных камер процесс измерения трудоёмкий и продолжительный, а значит будет меняться температура T , и, соответственно, плотность ρ и вязкость η дизельного топлива.

При построении калибровочной модели для произвольных значений измеряемых параметров, всегда можно подобрать такие нормирующие коэффициенты b_k , что будут выполняться условия равенств:

$$\begin{aligned} M_1 &= b_1 q_{1,1} + b_k q_{k,1} + b_m q_{m,1} = \sum_{k=1}^m b_k q_{k,1}; \\ M_i &= b_1 q_{1,i} + b_k q_{k,i} + b_m q_{m,i} = \sum_{k=1}^m b_k q_{k,i}; \\ M_m &= b_1 q_{1,m} + b_k q_{k,m} + b_m q_{m,m} = \sum_{k=1}^m b_k q_{k,m}; \\ M_n &= b_1 q_{1,n} + b_k q_{k,n} + b_m q_{m,n} = \sum_{k=1}^m b_k q_{k,n}. \end{aligned} \quad (2)$$

Приведённая система равенств (2) имеет n уравнений для m неизвестных b_k . Так как число эталонных замеров всегда можно сделать больше числа контролируемых параметров $n \geq m$, то из данной системы всегда можно выбрать достаточное количество уравнений, из которых можно найти коэффициенты b_k . Желательно, чтобы выбранные для совместного решения уравнения по возможности охватывали больший диапазон контролируемых параметров. Решение этой системы даёт совокупность коэффициентов b_k , которые определяют искомый показатель массы топлива. Система уравнений (2) имеет единственное решение, если главный определитель отличен от нуля. Решением каждого уравнения является соотношение:

$$b_k = \frac{\Delta b_k}{\Delta}, \quad (3)$$

$$\text{где: } \Delta = \begin{bmatrix} q_{1,1} & q_{k,1} & q_{n,1} \\ q_{1,i} & q_{k,i} & q_{n,i} \\ q_{1,n} & q_{k,n} & q_{n,n} \end{bmatrix}$$

$$\Delta b_k = \begin{bmatrix} q_{1,1} & M_1 & q_{n,1} \\ q_{1,i} & M_i & q_{n,i} \\ q_{1,n} & M_n & q_{n,n} \end{bmatrix}$$

Учитывая независимость получения измерительной информации от воздействия внешних факторов, и возможность варьирования сигналами датчиков DFM и ДТУ, всегда можно исключить равенство нулю главного определителя в заданном диапазоне измерения. Вычисленные таким образом коэффициенты b_k , согласно представленному на рисунке 1 алгоритму запоминаются информации в информационно вычислительном блоке DFM и ДТУ, используются в процедуре дальнейших измерений.

В процессе определения массы дизельного топлива измеряются параметры $q_{k,x}$, а неизвестная масса дизельного топлива определяется по следующей формуле, применение которой обусловлено системой уравнений (2).

$$M_x = b_1 q_{1,x} + b_k q_{k,x} + b_m q_{m,x} = \sum_{k=1}^m b_k q_{k,x} \quad (4)$$

Определение массы израсходованного топлива дизелем и массы топлива израсходованного из топливного бака тепловоза проводится исходя из выражения (5), которое является конкретной формой реализации обобщённой функции преобразования выражения (1).

$$M_x = b_1 H_x + b_2 \rho_x + b_3 T_x \quad (5)$$

Известно, что при любом количестве калибровочных отсчётов, равных числу используемых для мониторинга параметров измерительных камер или топливного бака, искомая масса будет находиться в интервале $M_{min} \div M_{max}$. При любых значениях $min < qk, i < max$ искомое значение находится в интервале $M_{min} < M_x < M_{max}$, что полностью подпадает под определение измерительного процесса, как фактора уменьшения неопределенности. Таким образом, предложенный алгоритм измерений массы топлива (израсходованного дизелем тепловоза, и в топливном баке тепловоза, включая заправку либо несанкционированный отбор из топливной системы), требует точного знания функции, связывающей искомую массу дизельного топлива с измеряемыми физико-химическими (энергетическими) параметрами дизельного топлива.

Алгоритм расчёта и измерения массы израсходованного топлива (включая процесс калибровки ДФМ и ДТУ) предполагает создание математической модели измерения и расчёта физико-химических параметров топлива. Чем больше число калибровочных эталонов измеряемых физико-химических параметров дизельного топлива, тем выше точность измерений [14].

Рассмотрим вариант измерения массы дизельного топлива в топливном баке тепловоза, при условии контроля трех изменяющихся параметров: уровня пополнения топлива, плотности и температуры дизельного топлива. Измерение физико-химических характеристик топлива в топливном баке тепловоза фиксируется ДТУ. При этом неизвестная масса дизельного топлива определяется по формуле (5):

$$M_x = b_1 H_x + b_2 \rho_x + b_3 T_x,$$

где: коэффициенты b_1, b_2, b_3 определяются согласно зависимости (3), с определителями:

$$\Delta = \begin{bmatrix} H_1 & \rho_1 & T_1 \\ H_2 & \rho_2 & T_2 \\ H_3 & \rho_3 & T_3 \end{bmatrix}$$

$$\Delta b_1 = \begin{bmatrix} M_1 & \rho_1 & T_1 \\ M_2 & \rho_2 & T_2 \\ M_3 & \rho_3 & T_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\Delta b_2 = \begin{bmatrix} H_1 & M_1 & T_1 \\ H_2 & M_2 & T_2 \\ H_3 & M_3 & T_3 \end{bmatrix}$$

$$\Delta b_3 = \begin{bmatrix} H_1 & \rho_1 & T_1 \\ H_2 & \rho_2 & T_2 \\ H_3 & \rho_3 & T_3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Важно, что при проведении измерений для каждого отсчета должны выбираться максимально близкие по значению точки из памяти электронной таблицы соответствия калибровочной модели. Только в таком случае возможно получить высокие по точности измеренные массы топлива. Погрешность результатов расчёта и фактических измерений, характеризующая сходимость, будет изменяться в зависимости от того, насколько далеко от измеряемого объекта находятся датчики ДФМ и ДТУ, с заархивированными параметрами калибровочной таблицы соответствия.

В рамках подтверждения сходимости результатов расчётных и экспериментальных измерений массы топлива, израсходованного дизелем тепловоза и массы топлива, израсходованного из топливного бака тепловоза, на реостатной станции Днепропетровского тепловозоремонтного завода проведены соответствующие исследования тепловозов, прошедших заводские ремонты. Результаты выполненных измерений для определения масс израсходованного топлива на выполненную работу тепловозом, с учётом влияния температуры окружающей среды на энергетические характеристики топлива, приведены в таблице 3.

Анализ результатов экспериментальных измерений массы топлива израсходованного дизелем тепловоза, свидетельствует о том, что измеренная в реальном масштабе времени масса топлива учитывает влияние температуры окружающей среды на изменение его физико-химических характеристик (температуры и плотности) в измерительных камерах дифференциального расходомера и полученные данные совпадают с результатами расчёта массы израсходованного топлива. При этом масса измеренного ультразвуковым датчиком топлива, израсходованного из топливного бака тепловоза, учитывает и массу

топлива находящегося в топливопроводах дизеля тепловоза. Результаты проведённых расчётных исследований и экспериментальных измерений с помощью АПИК, в реальном масштабе времени, массы топлива из-

расходованного дизелем тепловоза, уровня и массы топлива в топливном баке тепловоза имеют достаточно хорошую сходимость на всех режимах исследований.

Табл. 3 - Результаты теоретического расчёта и экспериментального измерения массы топлива израсходованного дизелем тепловоза и использованного из его топливного бака

Уровень топлива в топливном баке Н, м		Плотность топлива ρ , кг/м ³		Температура топлива в топл. баке Т, С ⁰		Измеренная DFM масса топлива, израсход. дизелем М, кг		Измеренная ДТУ масса топлива в топливном баке М, кг		Измеренная масса топлива в топливном баке (до дизеля) М, кг		Измеренный ДТУ объём топлива в топл. баке V, л	
Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.
Н, м		ρ , кг/м ³		Т, С ⁰		М, кг		М, кг		М, кг		V, л	
0,497	0,498	841	841	25.1	25.0	29,7	31	2045,5	2052,35	20,9	21,0	2435,0	2440,62
0,497	0,498	840	840	26.2	26.0	45,7	46	1978,8	1985,62	20,8	21,0	2355,0	2363,91
0,498	0,498	838	838	27.3	27.0	59,5	61	1897,6	1903,96	20,9	21,0	2265,0	2272,73
0,497	0,497	839	839	27.0	27.0	89,1	90	1786,2	1793,49	20,7	21,0	2130,0	2137,89

Выводы

1. Разработанная методология измерения аппаратно-программным измерительным комплексом физико-химических характеристик топлива, с учётом его температуры и плотности, позволяет измерять в реальном масштабе времени массу и удельный эффективный расход топлива дизелем тепловоза, а также массу топлива в его топливном баке во всех режимах эксплуатации.

2. Предложенная методология измерения обладает высокой точностью и низкой погрешностью измерения массы и удельного эффективного расхода топлива дизелем тепловоза, массы топлива в топливном баке тепловоза, массы топлива поступающего в бак при его заправке и при несанкционированных сливах топлива из топливной системы тепловоза.

3. Разработанная математическая модель расчёта аппаратно-программным измерительным комплексом массы топлива имеет достаточно хорошую сходимость с результатами экспериментальных измерений массы топлива, израсходованного дизелем и остаточной массы топлива в топливном баке тепловоза, в реальном времени его эксплуатации.

4. Разработанная методология измерения аппаратно-программным измерительным комплексом массы и удельного эффективного расхода топлива дизелем тепловоза, измерения массы топлива в топливном баке тепловоза, с учётом массы топлива в его топ-

ливопроводах, позволяет оценивать качество рабочего процесса дизеля и его теплотехническое состояние в режимах эксплуатации.

5. Предлагаемая система измерения, учёта и контроля расхода топлива двигателем внутреннего сгорания транспортного средства и мониторинга его технического состояния [25], встроенная в соответствующий аппаратно-программный измерительный комплекс, обеспечивает передачу заархивированных результатов измерения через трекер, по GPRS-каналам, на любой иерархический уровень АО "Укрзалізниця".

Литература

1. Аналіз використання паливно-енергетичних ресурсів на залізничному транспорті України за 2016 рік. – Київ: ПАТ «Укрзалізниця». – 2017. – 144 с.

2. Настанова по економному використанню дизельного палива при експлуатації тепловозів: ЦТ-0198 / затверд.наказом Укрзалізниці від 29.10.2010 № 161-ЦЗ.- Київ: Укрзалізниця, 2011.- 102 с. - (Галузевий нормативний документ).

3. Балабин В. Н. Существующие системы измерения расхода топлива / В.Н. Балабин, В.В. Домогацкий // М.: Локомотив. – 2003. – № 2. – С. 30–32. – № 3. – С. 34.

4. Трихліб О. Д. Удосконалення системи контролю витрат дизельного палива маневровими тепловозами в експлуатації: дис.

канд. техн. наук: 05.22.07 / Трихліб Олексій Дмитрович.-Харків, 2017. – 177 с.

5. Тимченко А. Ю. Единая автоматизированная система учета дизельного топлива / А. Ю. Тимченко // Локомотив. – 2011. – № 2. – С. 33–35.

6. Трихліб О. Д. Техніко-економічні аспекти автоматизованого обліку та контролю витрат дизельного палива / О. Д. Трихліб, В. В. Котов, У. В. Котова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В.Даля. – Луганськ, 2012. – № 3 (174). – С. 199–201.

7. Каплун А. Н. Система «БИС-Р» для измерения эксплуатационного расхода топлива на тепловозах / А. Н. Каплун // Двигателестроение. – 2005. – № 2. – С.123-126.

8. Каплун А. Н. Система контроля расхода топлива «БИС-Рм» / А. Н. Каплун, О. Д. Трихліб, К. С. Петров // Локомотив-информ. – 2014. – № 4. – С. 40–46.

9. Дробаха В. І. Результати практичного впровадження систем «БИС-Р» / В. І. Дробаха, О. Д. Трихліб, А. М. Каплун // Локомотив-информ. – 2007. – № 9. – С. 24–25.

10. Дробаха В. І. Вимірювальні засоби автоматизованої системи обліку й контролю дизельного палива / В. І. Дробаха, О. Д. Трихліб, М. О. Котов // Локомотив-информ. – 2012. – № 12 (78). – С. 59–61.

11. Азаров Р. В. Расширенный модельный ряд бортовых систем «Дельта» для комплексного дистанционного контроля подвижного состава в эксплуатации / Р. В. Азаров, А. А. Каграманян, С. В. Мямлин // Локомотив-информ. – 2006. – № 5. – С. 36–38.

12. Бочаров В.А Аппаратно-программный комплекс «Борт» / В. А. Бочаров, А. П. Головаш // РСП Эксперт. – 2011. – № 6. – С. 20–21.

13. Донской А. Л. Система РПРТ тепловозов. Функциональные возможности, комплектующие блоки и оборудование / А. Л. Донской [и др.] // Локомотив. – 2066. – № 7. – С. 22–24.

14. Борминский С. А. Методы измерений количественных и качественных характеристик жидких энергоносителей / С. А. Борминский, Б. В. Скворцов, А. В. Солнцева. – Самара: изд-во СНЦ РАН, 2012. – 222 с.

15. Способ измерения массы жидкости в резервуаре / Скворцов Б.В. и др.; заявка на

изобретение; заявл. 22.11. 11; опубл. 27.05. 13, Бюл. №15.

16. Патент № 2331048 С2 РФ, G01F 9/00, G01F 23/00, G01F 15/06, G07C /10. Способ и система измерения, учета и контроля расхода топлива двигателем внутреннего сгорания транспортного средства и мониторинга состояния двигателя; опубл. 10.08.2008, Бюл. № 22.

17. Метрологія. Маса нафти та нафтопродуктів. Загальні вимоги до методик виконання вимірювання (ГОСТ 8.587-2009, MOD): ДСТУ 7094:2009. – [Чинний від 01.04.2010]. – Київ: УкрНДНЦ, 2009. – 26 с. – (Нац. стандарт України).

18. Нафта і нафтопродукти. Методи відбирання проб: ДСТУ 4488:2005. – [Чинний від 01.10.2006]. – Київ: УкрНПНП «МАСПА», 2006. – 16 с. – (Нац. стандарт України).

19. Паливо дизельне Технічне умови: ДСТУ 3868 – 99. – [Чинний від 01.09.1999]. – Київ: Держстандарт України. – 1999. – 12 с. – (Нац. стандарт України).

20. Нафта і нафтопродукти Метод визначення густини, відносно густини та густини в градусах API ареометром (ГОСТ 31072-2002, IDT): ДСТУ ГОСТ 31072:2006. – [Чинний від 01.01.2007]. – Київ: УкрНДНЦ, 2006. – 19 с. – (Нац. стандарт України).

21. Інструкція про порядок приймання, транспортування, зберігання, відпуску та обліку нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України № 281 / 171 / 578 / 155 від 20. 05. 2008 р. – Київ: М-во палива та енергетики, М-во економіки, М-во транспорту та зв'язку, Держ. комітет з питань техн. регулювання та спожив. Політики, 2008. – 85 с. – (Галузевий нормативний документ).

22. Інструкція по технічному нормуванню витрат електричної енергії і палива локомотивами на тягу поїздів: 062-Ц. – Київ: Укрзалізниця: М-во транспорту України, 2003. – 76 с. – (Галузевий нормативний документ).

23. Симсон А. Э. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания: учебник для вузов / А. Э. Симсон, А. З. Хомич, А. А. Куриц [и др.]. – М.: Транспорт, 1987. – 536 с.

24. Модернізація з обладнанням приладами GPS/GPRS тепловозів серій ЧМЕЗ, 2М62К, М62М: ТЗ.706.00.00.000-СП ПКТБ РЛ. – Полтава: Укрзалізниця, 2019. – 31с. – (Галузевий нормативний документ).

25. Система вимірювання, обліку та контролю за витратами палива двигуна внутріш-

ПРАКТИЧНИЙ ДОСВІД

нього згорання (ДВЗ) транспортного засобу та моніторингу стану двигуна: МПК G01F 9/00, G01F 23/00 / Зонов В. Д, Матяш В. О, Польников Ю. В, Левцов В. Б.; заявка на патент № 202101357 от 17. 03. 2021, Україна.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Зонов Виктор Дмитриевич,
к.т.н, доцент, инженер-технолог структурного подразделения «Полтавское проектно-конструкторское-технологическое бюро по ремонту локомотивов» (СП «Полтавское ПКТБ РЛ») филиала «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт железнодорожного транспорта» (НИКТИ)
АО «Укрзалізниця».
Ул. Вернадского, 1, кв. 400, г. Харьков, 61010, Украина.
Тел.: +38 067 265 16 11.
E-mail: zonov3450@gmail.com.

Матяш Виктор Александрович,
к.т.н.
Ул. Пушкинский въезд, 6, кв. 1, г. Харьков, 61002, Украина.
Тел.: +38 067 530 90 45.

E-mail: pktbrl@meta.ua.

Белоус Юрий Анатольевич,
заместитель директора Департамента локомотивного хозяйства
Ул. Е. Гедройца, 5, г. Киев, 03150, Украина.
АО "Укрзалізниця".
Тел.: +38 044 465 02 88.

Польников Юрий Валентинович,
начальник бюро СП «Полтавское ПКТБ РЛ» филиала «НИКТИ» АО "Укрзалізниця".
Ул. Деповская 2^а, кв. 89-90, г. Харьков, 61009, Украина.
Тел.: +38 050 649 04 14.
E-mail: polnikov@ukr.net.

Левцов Вячеслав Борисович,
главный технолог
СП «Полтавское ПКТБ РЛ» филиала «НИКТИ» АО "Укрзалізниця".
Ул. Деповская 2^а, кв.89-90, г. Харьков, 61009, Украина.
Тел.: +38 066 774 72 84.
E-mail: mega_levcov@ukr.net.

«ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ УКРАЇНИ» ПЕРЕДПЛАТА НА ВИДАННЯ

Оформити передплату на науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України» на четвертий квартал 2021 року та на 2022 рік можливо у кожному поштовому відділенні України за Каталогом видань України «Преса поштою» або на офіційному сайті ДП «Преса» www.presa.ua.

Періодичність видання журналу – 4 рази на рік.

Передплатний індекс: для індивідуальних передплатників – 74126, для підприємств і організацій – 40294.

Передплату підприємства та фізичні особи можуть також оформити на договірних умовах у видавця журналу філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» за зверненням до директора по адресу:

03038, м. Київ, вул. Івана Федорова, 39.

Електронна пошта: ztu1520mm@gmail.com.

Тел.: +38 (044) 465-38-11; +38 (044) 309-68-93.

НОВИНИ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ РАДИ АТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ»

У другому та третьому кварталах 2021 року було проведено засідання чотирьох секцій Науково-технічної ради АТ «Укрзалізниця», а саме:

- **«Виробництво та управління тягою»;**
- **«Єдина технічна політика та екологічний менеджмент»;**
- **«Пасажирські перевезення і сервіс»;**
- **«Будівництво, утримання та розвиток інфраструктури».**

Серед рішень прийнятих секціями НТР АТ «Укрзалізниця», після розгляду відповідних документів, найбільш суттєвими були наступні:

- рекомендація до застосування на тяговому рухомому складі залізничного транспорту України вісьового мастила «З», виробництва ТОВ «СП ЮКОЙЛ» та ТОВ «ЕВРО ОЙЛ ПРОДАШН»;
- рекомендація до застосування змащувального матеріалу «Mariol NT» в системах лубрикації типу ГС-3 і СПП12-5 та інших (безконтактних, оливних), якими обладнані екіпажні частини тягового рухомого складу АТ «Укрзалізниця»;
- результати обговорення положень базових технічних вимог до залізничного приміського рухомого складу та рекомендація ПАТ «КВБЗ» щодо надання до АТ «Укрзалізниця» пропозицій з формування відповідних вимог до приміського рухомого складу, з наданням результатів аналізу переваг та недоліків впровадження різних конструктивних концепцій приміського рухомого складу в умовах інфраструктури українських залізниць;
- погодження до застосування на рухомому складі АТ «Укрзалізниця» олив ГТ-50, виробництва ТОВ «СП ЮКОЙЛ»;
- рішення, за наданими результатами експлуатаційних випробувань скріплень проміжних пружних рейкових типу Vossloh System W-30 із залізобетонними шпалами Ш-9.1 та W SL-1-900-R65 фірми «SCHWING AG» із залізобетонними попередньо напруженими шпалами типу SH та SH.1, щодо їх придатності для подальшого використання під час виконання ремонтно-колійних робіт і поточного утримання колії на ділянках залізничної колії АТ «Укрзалізниця», з вантажно-напруженістю більше 80 млн. т-км брутто/км на рік.

РЕФЕРАТИ

УДК 629.4.014.2

DOI: 10/34029/2311-4061-2021-140-3-04-15

Транспорт найближчого майбутнього і що таке EU GREEN DEAL / Приходько В.І., Ігнатів Г.С., Зюков А.А. // Залізничний транспорт України. – 2021. – № 3. – С. 04-15.

Проаналізовано стан проблеми досягнення кліматичної нейтральності - скорочення викидів вуглецю і інших парникових газів в найближчому майбутньому. У 2019 році на самміті ООН з клімату 66 країн світу узяли на себе зобов'язання досягти до 2050 року кліматичної нейтральності. Зниження викидів вуглецю на залізничному транспорті може бути отримане шляхом заміни спалюваного палива - соляр, в двигунах дизель-поїздів і тепловозів, на «чисте» водневе паливо. Визначені проблеми водневої інфраструктури, без створення якої неможлива робота нового транспорту в Україні. Розглянуті роботи провідних світових фірм із створення водневих паливних елементів, і транспорту найближчого майбутнього, визначені шляхи початку робіт в Україні з цієї тематики і можливості вітчизняної промисловості.

Ключові слова: рухомий склад, «вуглецевий податок», декарбонізація промислових процесів і секторів економіки, водневі паливні елементи, «брудний» транспорт.

УДК 656.223:502.5

DOI: 10/34029/2311-4061-2021-140-3-16-28

«Зелена» логістика, як основа покращення екологічних показників вантажних мультимодальних перевезень / Ломотько Д. В., Огар О. М., Козодой Д. С., Ломотько М. Д. // Залізничний транспорт України. – 2021. – № 3. – С. 16-28.

У статті розглянуто питання покращення екологічних показників під час виконання міжнародних та внутрішніх мультимодальних перевезень вантажів за участю залізниць. Доведено, що контейнерні та контейнерні технології мають переваги з точки зору зменшення негативного впливу на довкілля. Зокрема кращими є такі показники, як витрати на ліквідацію наслідків засмічення земельних ділянок, рівень непараметричного забруднення (зокрема, шуму) у порівнянні із доставкою вантажу тільки окремими видами транспорту. Розглянуто ресурсний цикл утворення та знищення сміття на основі ланцюга технологічно пов'язаних транспортних підприємств у вигляді динамічної математичної моделі. Оцінено рівень шумового забруднення довкілля і його негативний вплив від кожного виду транспорту окремо та у складі мультимодальної системи. Дано характеристику структури операційної діяльності логістичного підприємства та фактори, що впливають на його екологічну ефективність, для основних маршрутів мультимодальних поїздів.

Ключові слова: залізниця, автотранспорт, «зелена» логістика, мультимодальне перевезення, вплив на довкілля, забруднення повітря, шумове забруднення, засмічення довкілля.

УДК 625.151

DOI: 10.34029/2311-4061-2021-140-3-29-37

Діапазони приведених мас колії у вертикальній площині в межах стрілочного перевалу на залізобетонних брусах проєкту 1740 (прямий напрям) / Мойсєсенко К. В. // Залізничний транспорт України. – 2021. № 3. – С. 29-37.

Наведено методику й результати розрахунку діапазонів приведених мас колії в межах стрілочних перевалів на залізобетонних брусах (на прикладі перевалу проєкту 1740), змінних по їх довжині та різних для контррейкової та хрестовинної ниток.

Ключові слова: залізнична колія, стрілочний перевід на залізобетонних брусах, приведена маса.

УДК 629.1.072

DOI: 10/34029/2311-4061-2021-140-3-38-45

Вплив овальності колісного центра на напружено-деформований стан з'єднання «бандаж-центр» колеса електровоза / Леонєць В.А., Лукашевич А.О., Повисший В.М., Яценко Л.Ф. // Залізничний транспорт України. - 2021. - № 3. – С. 38-45.

Актуальним питанням являється підвищення роботоздатності локомотивних коліс, сформованих термічною напесовкою бандажів на колісний центр. Серед технологічних факторів, впливаючих на міцність посадки бандажа на колісний центр, важливі є відхилення геометричної форми колісних центрів та бандажів. Механічні властивості конструкційних сталей бандажів та центрів суттєво впливають на міцність їх з'єднання. В ДП «ДНДЦУ УЗ» протягом 2008-2011 років були досліджені випадки руйнування бандажів локомотивних коліс в зоні крайки виточки в них під бандажне кільце. Спостерігалось багатоосередкове зародження втомних тріщин на поверхні бандажа біля стопорного кільця при відсутності концентраторів напружень. В статті розглянута можливість виникнення таких тріщин через фретинг-втому дотичних поверхонь конструкційних сталей бандажа та колісного центра, обумовлену його овальністю. Вказується на необхідність проведення досліджень гігациклової фретинг-втоми з'єднань «колісний центр-бандаж» коліс, сформованих тепловою напесовкою.

Рекомендовано після обточки колісних центрів та бандажів, перед формуванням коліс тепловою напесовкою здійснювати вимірювання відхилень їх геометричних розмірів доступним у виробничих умовах методом та відмічати місця найбільшого відхилення геометричної форми колісного центра і бандажа, з метою підвищення імовірності виявлення неруйнівними методами втомних тріщин докритичних розмірів.

Ключові слова: колесо локомотива, бандаж, колісний центр, гігациклове навантаження, напружено-деформований стан, фретинг-втома.

УДК 621.921

DOI: 10/34029/2311-4061-2021-140-3-46-52

Накопичення мікропластичних деформацій зразків низьковуглецевої сталі за багатоциклового навантажування як фактор експлуатаційного пошкодження тримальних конструкцій залізничного транспорту / Писаренко Г. Г., Войналович О. В., Майло А. М., Писаренко С. Г. // Залізничний транспорт України. – 2021. - № 3. – С. 46-52.

Розглянуто методичні можливості аналізу умов формування граничного стану накопиченої локальної щільності деформаційних дефектів поверхневого шару сталей і сплавів під час багатоциклового навантажування з метою розроблення методу аналізу поточного стану пошкодження. Отримано розрахункові та експериментальні результати аналізу кінетики накопичення деформаційних дефектів на поверхні низьковуглецевої сталі за напружень нижче меж витривалості.

Ключові слова: гігациклова втома, пошкодженість, мікрорельєф поверхні, когерентно-оптичне сканування.

УДК 681.2.083

DOI: 10.34029/2311-4061-2021-140-3-53-66

Методологія виміру маси палива апаратно-програмним комплексом тепловозу / Зонов В.Д., Матяш

В.О., Білоус Ю.А., Польніков Ю.В., Левцов В.Б. // Залізничний транспорт України. - 2021. - № 3. - С. 53-66.

Розроблена методологія виміру маси палива на тепловозі апаратно-програмним комплексом з передачею інформації по GPRS-навігації в структури АТ "Укрзалізниця" в реальному часі експлуатації: маси палива витраченого дизелем тепловоза - за допомогою диференціального витратоміром палива (DFM); маси палива в паливному баку тепловоза - ультразвуковими датчиками рівня палива (DUT); маси палива при заправці в паливний бак із стаціонарного резервуару локомотивного депо і при заправці з пересувного паливозаправника; маси палива при несанкціонованому зливі з паливної системи тепловоза. Приведені основні регламентуючі стандарти України з паливовикористання.

Методологія виміру і розрахунку маси палива реалізована апаратно-програмним комплексом, що є: мікропроцесор-

ний комплекс зі вбудованою математичною моделлю і програмним забезпеченням з інтерфейсними зв'язками, до складу якого входять диференціальний витратомір (DFM), з інтерфейсним кабелем, для виміру витрат палива дизелем тепловоза; ультразвукові датчики рівня палива (DUT), що вимірюють рівень, об'єм, масу, температуру, щільність, в'язкість палива в паливному баку тепловоза, з врахуванням добових коливань температур довкілля; ультразвукові датчики рівня (DUT), що вимірюють несанкціонований відбір палива з паливної системи.

Ключові слова: тепловоз, маса палива, методологія виміру, фізико-хімічні характеристики, математична модель, апаратно-програмний комплекс, метрологія, калібрування.

РЕФЕРАТЫ

УДК 629.4.014.2

DOI: 10.34029/2311-4061-2021-140-3-04-15

Транспорт ближайшего будущего и что такое EU GREEN DEAL / Приходько В.И., Игнатов Г.С., Зюков А.А. // Железнодорожный транспорт Украины. - 2021. - № 3. - С. 04-15.

Приведен анализ состояния проблемы достижения климатической нейтральности – сокращение выбросов углерода и других парниковых газов в ближайшем будущем. В 2019 году на саммите ООН по климату 66 стран мира взяли на себя обязательство достичь к 2050 году климатической нейтральности. Снижение выбросов углерода на железнодорожном транспорте может быть получено путем замены сжигаемого топлива – соляр, в двигателях дизель-поездов и тепловозов, на «чистое» водородное топливо. Определены проблемы водородной инфраструктуры, без создания которой невозможна работа нового транспорта в Украине. Рассмотрены работы ведущих мировых фирм по созданию водородных топливных элементов, и транспорта ближайшего будущего, определены пути начала работ в Украине по данной тематике и возможности отечественной промышленности.

Ключевые слова: подвижной состав, «углеродный налог», декарбонизация промышленных процессов и секторов экономики, водородные топливные элементы, «грязный» транспорт.

УДК 656.223:502.5

DOI: 10/34029/2311-4061-2021-140-3-16-28

«Зеленая» логистика, как основа улучшения экологических показателей грузовых мультимодальных перевозок / Ломотько Д. В., Огарь А. Н., Козодой Д. С., Ломотько Н. Д. // Железнодорожный транспорт Украины. - 2021. - № 3. - С. 16-28.

В статье рассмотрены вопросы улучшения экологических показателей при выполнении международных и внутренних мультимодальных перевозок грузов с участием железной дороги. Доказано, что контейнерные и контейнерные технологии имеют преимущества с точки зрения уменьшения негативного влияния на окружающую среду. В частности предпочтительными являются такие показатели, как затраты на ликвидацию последствий засорения земельных участков, уровень непараметрического загрязнения (в частности, шума) по сравнению с доставкой груза только отдельными видами транспорта. Рассмотрены ресурсный цикл образования и уничтожения мусора на основе цепи технологически связанных транспортных предприятий в виде динамической математической модели. Оценен уровень шумового загрязнения окружающей среды и его негативное влияние от каждого вида транспорта отдельно та в составе мультимодальной системы. Дана характеристика структуры операционной деятельности логистического предприятия и факторы, которые влияют на его экологическую

эффективность, для основных маршрутов мультимодальных поездов.

Ключевые слова: железная дорога, автотранспорт, «зеленая» логистика, мультимодальные перевозки, влияние на окружающую среду, загрязнение воздуха, шумовое загрязнение, засорение окружающей среды.

УДК 625.151

DOI: 10.34029/2311-4061-2021-140-3-29-37

Диапазоны приведенных масс пути в вертикальной плоскости в пределах стрелочного перевода на железобетонных брусьях проекта 1740 (прямое направление) / Монсеенко К. В. // Железнодорожный транспорт Украины. - 2021. № 3. - С. 29-37.

Изложены методика и результаты расчета диапазонов приведенных масс пути в пределах стрелочных переводов на железобетонных брусьях (на примере перевода проекта 1740), переменных по их длине и различных для контррельсовой и крестовинной нитей.

Ключові слова: железнодорожный путь, стрелочный перевод на железобетонных брусьях, приведенная масса.

УДК 629.1.072

DOI: 10/34029/2311-4061-2021-140-3-38-45

Влияние овальности колёсного центра на напряжённо-деформированное состояние соединения «бандаж-колёса электровоза / Леонец В.А., Лукашевич А.О., Повысший В.М., Яценко Л.Ф. // Железнодорожный транспорт Украины. - 2021. - № 3. - С. 38-45.

Повышение работоспособности локомотивных колёс, сформированных горячей напрессовкой бандажей на колёсные центры является актуальным вопросом при эксплуатации локомотивов. Среди технологических факторов, влияющих на прочность посадки бандажа на колёсный центр, важным является опосредованное геометрической формы колёсных центров и бандажей. Механические свойства конструкционных сталей бандажей и центров существенно влияют на прочность их соединений. В ГП «ГНИИЦ УЗ» на протяжении 2008-2011 годов были исследованы случаи разрушения бандажей локомотивных колёс в зоне края выточки в них под бандажное кольцо. Наблюдалось многоочаговое зарождение усталостных трещин на поверхности бандажа около канавки стопорного кольца при отсутствии концентраторов напряжений. В статье рассмотрена возможность возникновения таких трещин, из-за фреттинг-усталости сопрягаемых поверхностей из конструкционных сталей бандажа и центра, обусловленных их овальностью. Указывается на необходимость проведения исследований гигацикловой фреттинг-усталости соединений «колёсный центр-бандаж» колёс электровозов, сформированных тепловой напрессовкой.

Рекомендовано после обточки колёсных центров и бандажей, перед формированием локомотивных колёс тепло-

вой напрессовкой, осуществлять измерения отклонения их геометрических размеров доступным в производственных условиях методом, отмечая места наибольших отклонений геометрической формы центра и бандажа, с целью повышения вероятности выявления неразрушающим методом контроля усталостных трещин докритических размеров.

Ключевые слова: колесо локомотива, бандаж, колёсный центр, гигацикловое нагружение, напряженно-деформованное состояние, фреттинг-усталость.

УДК 621.921

DOI: 10/34029/2311-4061-2021-140-3-46-52

Накопление микропластической деформаций образцов низкоуглеродистой стали при многоцикловом нагружении как фактор эксплуатационного повреждения несущих конструкций железнодорожного транспорта / Писаренко Г. Г., Войналович А. В., Майло А. Н., Писаренко С. Г. // Железнодорожный транспорт Украины. – 2021. - № 3. – С. 46-52.

Рассмотрены методические возможности анализа условий формирования предельного состояния накопленной локальной плотности деформационных дефектов поверхностного слоя сталей и сплавов при многоцикловом нагружении с целью разработки метода анализа текущего состояния поврежденности. Получены расчетные и экспериментальные результаты анализа кинетики накопления деформационных дефектов на поверхности низкоуглеродистой стали при напряжениях ниже предела выносливости.

Ключевые слова: гигацикловая усталость, поврежденность, микрорельеф поверхности, когерентно-оптическое сканирование.

УДК 681.2.083

DOI: 10.34029/2311-4061-2021-140-3-53-66

Методология измерения массы топлива аппаратно-программным комплексом тепловоза / Зонов В.Д., Матяш

В.А., Білоус Ю.А., Польников Ю.В., Левцов В.Б. // Железнодорожный транспорт Украины. - 2021. - № 3. - С. 53-66.

Разработана методология измерения массы топлива на тепловозе аппаратно-программным комплексом с передачей информации через трекер по GPRS-каналам в структуры АО "Укрзалізниця", в реальном времени эксплуатации: массы топлива израсходованного дизелем тепловоза - с помощью дифференциального расходомера топлива (DFM); массы топлива в топливном баке тепловоза – ультразвуковыми датчиками уровня топлива (DUT); массы топлива при заправке в топливный бак из стационарного резервуара локомотивного депо и при заправке из передвижного топливозаправщика; массы топлива при несанкционированном сливе из топливной системы тепловоза. Приведены основные регламентирующие стандарты Украины по топливоиспользованию.

Методология измерения и расчёта массы топлива реализована аппаратно-программным комплексом, представляющим собой: микропроцессорный комплекс, с встроенной математической моделью и программным обеспечением с интерфейсными связями, в состав которого входят дифференциальный расходомер (DFM), с интерфейсным кабелем, для измерения расхода топлива дизелем тепловоза; ультразвуковые датчики уровня топлива (DUT), измеряющие уровень, объём, массу, температуру, плотность, вязкость топлива в топливном баке тепловоза, с учётом суточных колебаний температур окружающей среды; ультразвуковые датчики уровня (DUT), измеряющие несанкционированный отбор топлива из топливной системы.

Ключевые слова тепловоз, масса топлива, методология измерения, физико-химические характеристики, математическая модель, аппаратно-программный комплекс, метрология, калибровка.

ABSTRACTS

UDC 629.4.014.2

DOI: 10.34029/2311-4061-2021-140-3-04-15

Transport of the near future and what is EU GREEN DEAL / V. Prikhodko, G. Ignatov, A. Zyukov // Railway transport of Ukraine. – 2021. – № 3. – pp. 04-15.

The state of the problem of achieving climate neutrality - reducing emissions of carbon and other greenhouse gases in the near future is analyzed. At the 2019 UN Climate Summit, 66 countries pledged to achieve climate neutrality by 2050. Reducing carbon emissions in railway transport can be obtained by replacing the burned fuel - solar oil, in engines of diesel trains and locomotives, with «clean» hydrogen fuel. The problems of hydrogen infrastructure, without which it is impossible to operate new transport in Ukraine, are underlined. The work of the world's leading companies on the creation of hydrogen fuel cells and transport in the near future is considered, the ways of starting work in Ukraine on this topic and the possibilities of the domestic industry are determined.

Keywords: rolling stock, «carbon tax», decarbonization of industrial processes and sectors of the economy, hydrogen fuel cells, «dirty» transport.

References

1. Ukrudprom. (2020, December 01). Chto takoe EU Green Deal i pochemu Ukraina dolzhna vypolnyat etu strategiiu [What is the EU Green Deal and why Ukraine should implement this strategy]. Retrieved from: https://www.ukrudprom.com/digest/CHto_takoe_EU_Green_Deal_i_pochemu_Ukraina_dolzhna_vipolnyat_etu_.html [in Russian].
2. Vgudok. (2021, March 31). Vodorodnaya bomba dlya rzhd ot Ilona Maska do vzryvov azs perspektivy perevoda zhd tyagi na vodorodnoe toplivo [Hydrogen «bomb» for Russian

Railways. From Ilona Mask to gas station explosions: prospects for transferring railway propulsion to hydrogen fuel]. Retrieved from: <https://vgudok.com/lenta/vodorodnaya-bomba-dlya-rzhd-ot-ilona-maska-do-vzryvov-azs-perspektivy-perevoda-zhd-tyagi-na> [in Russian].

3. Vodorodnyi transport [Hydrogen transport]. (n.d.). Retrieved June 11, 2021 from the Wiki: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82 [in Russian].

4. Volkov S. (2021, April 01). V Kanade dizel zameniat vodorodom [In Canada, diesel will be replaced with hydrogen]. *Gudok*. Retrieved from: <https://gudok.ru/content/mechengineering/1558650/> [in Russian].

5. CFTS. (2021, April 06). Vodorod, baterei, rastitelnoe toplivo: Kak «zelenyi» trend meniaet lokomotivy i poezda [Hydrogen, batteries, vegetable fuels: How the «green» trend is changing locomotives and trains]. Retrieved from: https://cfts.org.ua/articles/vodorod_batarei_rastitelnoe_toplivo_kak_zelenyy_trend_menyat_lokomotivy_i_poezda_1793/123043 [in Russian].

6. Biznes TCenzor. (2020, March 30). Zachem v mire perekhodiat na vodorodnyi transport i gde on rabotaet [Why the world is switching to hydrogen transport and where does it work]. Retrieved from: https://biz.censor.net/resonance/3184189/zachem_v_mire_perehodyat_na_vodorodnyi_transport_i_gde_on_rabotaet [in Russian].

7. Minprom. (2021, April 12). Vo Frantcii v 2025 godu poiaviatsia 12 vodorodnykh poezdov Alstom [France will have

12 Alstom hydrogen trains in 2025]. Retrieved from: <https://www.minprom.ua/news/269395.html> [in Russian].

8. Volkov S. (2021, April 15). Sostav s dvoynoi tiagoi [Double traction train]. *Gudok*. Retrieved from: <https://gudok.ru/content/mechengineering/1560354/> [in Russian].

9. CFTS. (2020, December 02). Vodorodnyi poezd Alstom odobren dlia ekspluatatsii v Avstrii [The Alstom hydrogen train is approved for operation in Austria]. Retrieved from: https://cfts.org.ua/news/2020/12/02/vodorodnyy_poezd_alstom_odobren_dlya_ekspluatatsii_v_avstrii_62192 [in Russian].

10. Alstom priobretat kompaniiu Helion Hydrogen Power – postavshchika toplivnykh elementov bolshoi moshchnosti [Alstom acquires Helion Hydrogen Power, a high power fuel cell supplier]. (2021, April 2). *ZHeleznye dorogi mira*. Retrieved from:

<https://sites.google.com/a/zdmira.com/zdmira/news/alstompriobretatkompaniiuhelionhydrogenpowerpostavshchikatoplivnyhelementovbolsojmosnosti?override=true> [in Russian].

11. Yakovenko, T.P., Vlasenko, S.A. (2019). Application of alternative power sources on railway transport. *Scientific and technical and economic collaboration of countries of ATP in the century of XXI, 1*, 34-37. Khabarovsk: Far Eastern State Transport University [in Russian].

12. Wang, H., Nie, W., Su, L. (2019). Experimental investigation of thermodynamic instability of supercritical endothermic hydrocarbon fuel within a small-scale channel. *Advances in Mechanical Engineering*, 11 (3), 1-12. DOI: 10.1177/1687814019830283 [in English].

13. Trykova, V.P. (2020). Razvitie tekhnologii podvizhnogo sostava zheleznykh dorog i transportnoi infrastruktury [Development of technologies of mobile composition of railways and transport infrastructure]. *Transported today: problems and prospects: collection of materials of the International Scientific and Practical Conference* (Bryansk, on February, 26, 2020), 87-90. Bryansk: Bryansk branch of PGUPS [in Russian].

14. Nosyrev, D.Y., Balakin, A.U., Scherbytskaya, T.V. (2019). Effektivnost' primeneniya alternativnykh topliv v transportnykh dizelyakh [Efficiency of appendix of alternative fuels in of transport diesels]. *Science and education to the transport, 1*, 66-70 [in Russian].

15. Ehrhart, B., Klebanoff, L., Hecht, E., Headley, A., Ng, M., Markt, C. (2019, March). Hydrogen for Rail Applications: presentation SAND2019-3185 C. *H2@RailSM Workshop*. Talk presented at 2019 in Lansing, Michigan [in English].

16. Bogoslavskii, A. E. (2019). Vodorodnoe toplivo. Perspektivy primeneniya na podvizhnom sostave [the Hydrogen fuel. Prospects of application on rolling stock]. *Transport of Russian Federation*, 6 (85), 40-45 [in Russian].

17. Belov S. (2019, September 10). Sozдание poezda na vodorodnom toplive nevozmozno bez gosudarstvennoi podderzhki [Creation of a train on hydrogen fuel is impossible without state support]. *RZHD-Partner*. Retrieved from: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/opinions/sozдание-poezda-na-vodorodnom-toplive-nevozmozno-bez-gosudarstvennoy-podderzhki> [in Russian].

UDC 656.223:502.5

DOI: 10.34029/2311-4061-2021-140-3-16-28

The "green" logistics as a basis for improving environmental indicators of multimodal freight transport / D. Lomotko, A. Ogar, D. Kozodoy, M. Lomotko // Railway Transport of Ukraine. – 2021. – № 3. – pp. 16-28.

The article discusses the issues of improving environmental performance when performing international and domestic multimodal transportation of goods with the participation of the railway. It has been proven that container and piggyback technologies have advantages in terms of reducing the negative impact on the environment. In particular, such indicators as the cost of eliminating the consequences of contamination of land plots, the level of nonparametric pollution (in particular, noise) in comparison with the delivery of goods only by certain modes of

transport are preferable. The resource cycle of waste generation and destruction based on a chain of technologically connected transport enterprises in the form of a dynamic mathematical model is considered. The level of noise pollution of the environment and its negative impact from each type of transport separately and as part of a multimodal system are assessed. The characteristics of the structure of the operating activity of a logistics enterprise and the factors that affect its environmental efficiency for the main routes of multimodal trains are given.

Keywords: railway, road transport, "green" logistics, multimodal transportation, impact on the environment, air pollution, noise pollution, pollution of the environment.

Reference

1. Strategiya aktsionernogo obshchestva «Ukrainskaya zheleznyaya doroga» na 2019-2023 gody [Strategy of the joint-stock company "Ukrainian Railway" for 2019-2023]. From <https://bit.ly/3kiKGgL>. [in Ukrainian].

2. Natsional'naya transportnaya strategiya Ukrainy na period do 2030 goda [National transport strategy of Ukraine for the period up to 2030]. From <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80> [in Ukrainian].

3. Terminologiya kombinirovannykh perevozok. ECE ekonomicheskogo i sotsial'nogo soveta OON TRANS/WP.24/2000/1. Retrieved from <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/wp24/documents/wp24-00-1r.pdf> [in Russian].

4. *Sistemy ekologichnogo keruvannya. Vymohy ta nastanovy shchodo zastosovuvannya (ISO 14001:2015, IDT)* [Environmental management systems. Requirements and guidance for use (ISO 14001:2015, IDT)]. 2015. DSTU ISO 14001:2015 from 21 December 2015. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].

5. The statement of the State sanitary norms of admissible noise levels in rooms of inhabited and public houses and in the territory of inhabited building. Order from February 22 2019, № 463. Ministry of Health of Ukraine, [in Ukrainian].

6. Myamlin C., & Zelen'ko Y., & Neduzha J. (2015). *Parametrychna ekolohiya na zaliznychnomu transporti: pryntsyipy, otsinka, kontrol', bezpeka*. [Parametric ecology in railway transport: principles, assessment, control, safety.]. Dnepropetrovsk: Monograph [in Ukrainian].

7. Natsional'na dopovid' pro stan navkolyshn'oho pryrodnoho seredovyshcha v Ukraini u 2018 rotsi // Ministerstvo zakhystu dovyillya ta pryrodnykh resursiv Ukrainy [National report on the state of the environment in Ukraine in 2018 // Ministry of Environment Protection and Natural Resources of Ukraine]. from <https://mepr.gov.ua/> [in Ukrainian].

8. Palanivelu P., Dhawan M. Green Logistics. White Paper Tata Consulting Systems // TCS. – URL: https://www.academia.edu/28094615/Green_Logistics_Whitepaper [in English].

9. Law of Ukraine On the protection of the natural environment from June 25 1991, № 1264-XII, (2021, January 01) [in Ukrainian].

10. Lomot'ko D. V., Ohar O. M., Kozodoy D. S., & Lomot'ko M. D. (2021). *Perspektyvy «zelenoyi» lohistyky pry vykorystanni konteynernykh ta kontreylernykh perevezen' v Ukraini* [Prospects for "green" logistics using container and piggyback transportation in Ukraine]. Kharkov: Railway transport of Ukraine, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0285-98> [in Ukrainian].

11. Ministry of Natural Resources of Ukraine On approval of the Methodology for determining the amount of damage caused by pollution and contamination of land resources through violation of environmental legislation from October 27 1997 (2021, January 12) [in Ukrainian].

12. Volterra V. (1976). *Matematicheskaya teoriya bor'by za sushchestvovaniye* [Mathematical theory of the struggle for existence]. Moskov: Science [in Russian].

13. ISO/FDIS 14031:2021. Environmental management — Environmental performance evaluation — Guidelines. URL: <https://www.iso.org/standard/81453.html> [in English].

14. ISO 1996-2:2017. Acoustics. - Description, measurement and assessment of environmental noise. - Part 2: Determination of sound pressure levels <https://www.iso.org/ru/standard/59766.html> [in English].

15. Bilyavs'kyi H.O., & Butchenko L.I. (2006). Osnovy ekolohiyi: teoriya ta praktykum [Fundamentals of Ecology: Theory and Workshop] Kyiv: Libra [in Ukrainian].

16. Aircraft and road traffic noise and children's cognition & health: exposure-effect relationships. - Stansfeld S.A., Berglund B., Clark C., Lopez Barrio I., Fischer P., Ohrstrom E., Haines M.M., Head J., Hygge S., van Kamp I. & Berry B.//The Lancet, vol. 366. Issue 9487, 2005 [in English].

UDC 625.151

DOI: 10.34029/2311-4061-2021-140-3-29-37

The ranges of reduced track masses in the vertical plane within the switch on reinforced concrete beams of project 1740 (forward direction) / K. Moyseyenko // Railway Transport of Ukraine. – 2021. - № 3. – pp. 29-37.

The methodology and results of calculating the ranges of reduced track masses within the switches on reinforced concrete beams (using the example of swathe of project 1740), variable in their length and different for counter-rail and frog threads, are presented.

Keywords: railway track, switch on reinforced concrete beams, reduced mass.

References

1. Moyseyenko K. V. (2021). Pryvedeni vertykalni zhorstkosti kolii v mezhakh strilochnykh perevodiv na zalizobetonnykh brusakh (priamyi napriamok), rozrakhovani za danymy naturnykh i labo-ratornykh vyprobuvan [The reduced vertical rigidities of the track within the switches on reinforced concrete beams (direct direction), calculated according to field and laboratory tests. Railway Transport of Ukraine, 2, 38-48. DOI: 10.34029/2311-4061-2021-139-2-38-48 [in Ukrainian].

2. Orlovskii A. N., Klimenko V. N. (1965). Obosnovanie vybora raschetnoi skhemy dlya issledovaniya vzaimodeistviya koleasa i puti v zone nerovnostei [Justification of the choice of the design scheme for studying the interaction of the wheel and the track in the area of irregularities]. Voprosy putevogo khozyaistva i proektirovaniya zheleznykh dorog. Proceedings of the Dnepropetrovsk Institute of Railway Engineers, 57, 42-49. [in Russian].

3. Frishman M. A., Orlovskii A. N., Mikitenko A. M. (1967). Issledovanie sil vzaimodeistviya puti i podvizhnogo sostava v zone krestoviny strelochnogo perevoda na zhelezobetonnom osnovanii [Study of the forces of interaction between the track and the rolling stock in the area of the frog of the switch on a reinforced concrete foundation]. Issledovaniya vzaimodeistviya puti i podvizhnogo sostava. Proceedings of the Dnepropetrovsk Institute of Railway Engineers, 69, 4-10. [in Russian].

4. Frishman M. A., Lipovskii R. S., Gnatenko V. P., Kushchenko N. P. (1975). Vyor raschetnoi skhemy dlya opredeleniya vertykalnykh sil pri dvizhenii ekipazha po strelochnomu perevodu [The choice of the design scheme for determining the vertical forces when the crew moves along the switch]. Issledovaniya vzaimodeistviya puti i podvizhnogo sostava. Proceedings of the Dnepropetrovsk Institute of Railway Engineers, 167/16, 25-30. [in Russian].

5. Danilenko E. I., Moyseyenko K. V. (1997). Raschet sil vzaimodeistviya puti i podvizhnogo sostava v predelakh krestoviny pri pomoshchi personalnoi EVM [Calculation of the interaction forces of the track and rolling stock within the switch frog using a personal computer]. Issledovaniya vzaimodeistviya puti i podvizhnogo sostava. Interuniversity collection of works, pp. 92-104. Dnepropetrovsk. [in Russian].

6. Shmidt K. M. (1941). Vliyanie massy puti na deformatsiyu ego pri udare koleasa s podresso-remnym gruzom [Influence of the track mass on its deformation upon impact of a wheel with a sprung load]. Voprosy verkhnego stroeniya zheleznodorozhnogo puti, pp. 87-109. Moscow: Scientific

Research Institute of Track and Track Facilities NKPS. [in Russian].

7. Danilenko E. I. (1997). Prakticheskij metod rascheta privedennoj massy puti v zone strelochnogo perevoda [A practical method for calculating the reduced track mass in the area of the switch]. Issledovaniya vzaimodeistviya puti i podvizhnogo sostava Interuniversity collection of works, pp. 32-41. Dnepropetrovsk. [in Russian].

8. Verigo M. F., Kogan A. Ya. (1986). Vzaimodeistvie puti i podvizhnogo sostava [Interaction of track and rolling stock]. M. F. Verigo (Ed.) Moscow: Transport. [in Russian].

9. Zolotarskii A. F., Evdokimov B. A., Isaev N. M., Krysanov L. G., Serebrennikov V. V., Fedulov V. F. (1980). Zhelezobetonnye shpaly dlya relsovogo puti [Reinforced concrete sleepers for rail track]. A. F. Zolotarskii. (Ed.) Moscow: Transport. [in Russian].

10. Frishman M. A., Orlovskii A. N., Zhilin G. K. (1974). Vertykalnaya zhestkost strelochnogo perevoda na zhelezobetonnykh brusyakh [Vertical rigidity of a switch on reinforced concrete beams]. Issledovaniya vzaimodeistviya puti i podvizhnogo sostava. Proceedings of the Dnepropetrovsk Institute of Railway Engineers, 148, 3-9. [in Russian].

11. Brusy zalizobetonni poperedno napruzheni dlia strilochnykh perevodiv kolii 1520 mm marok 1/9 i 1/11 z plastmasovymy pustotoutvoriuvachamy z P-podibnymy shaibamy. Tekhnichni umovy. [Reinforced concrete prestressed beams for switches of a track of 1520 mm of the 1/9 and 1/11 brands with plastic hollow formers with P-shaped washers. Specifications]. (2019). TU UZ 23.6-40075815-087:2019 from 21 October 2019. Dnipro. [in Ukrainian].

12. Brusya zhelezobetonnye predvaritelno-napryazhennye dlya strilochnykh perevodov tipa R65 marok 1/9 i 1/11. Tekhnicheskie usloviya. [Reinforced concrete prestressed beams for P65 type switches of the 1/9 and 1/11 brands. Specifications]. (1995). TU U V.2.6-00034045-001-95. Kyiv. [in Russian].

13. Ukrzaliznytsia (2012). Instruktsiia z ulashtuvannia ta utrymannia kolii zaliznyts Ukrainy: TsP-0269. [Instruction on arrangement and maintenance of the railway track of Ukraine CP-0269]. Kyiv: TOV «NVP Polihrafservis». [in Ukrainian].

14. Reiky zvychaini dlia zaliznyts shyrokoj kolii. Zahalni tekhnichni umovy. [Normal rails for full-gauge railway]. (2005). DSTU 4344:2004 from 1 October 2005. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [in Ukrainian].

15. Bolty klemmnye dlya relsovykh skreplenij zheleznodorozhnogo puti. Tekhnicheskie usloviya. [Clamp bolts for rail track fastenings. Specifications]. (2015). DSTU GOST 16016:2017 (GOST 16016-2014, IDT) from 1 July 2017. Moscow : Standartinform. [in Russian].

16. Gajki dlya klemmnykh i zakladnykh boltov relsovykh skreplenij zheleznodorozhnogo puti. Tekhnicheskie usloviya. [Nuts for clamp and inserted bolts of rail track fastenings. Specifications]. (2015). DSTU GOST 16018:2017 (GOST 16018-2014, IDT) from 1 July 2017. Moscow : Standartinform. [in Russian].

17. Shaiby pruzhynni dvoytykovi dlia zaliznychnoi kolii. Tekhnichni umovy. [Two-turn spring washers for railway track. Specifications]. (2015). DSTU HOST 21797:2017 (HOST 21797-2014, IDT) from 1 July 2017. Moscow : Standartinform. [in Russian].

18. Klemma razdelnogo relsovogo skrepleniya zheleznodorozhnogo puti. Tekhnicheskie usloviya. [Clamp of indirect rail fastenings of railway. Specifications]. (1990). GOST 22343-90– from 1 July 2021. Moscow: Izdatelstvo standartov. [in Russian].

19. Pidkladky rozdilnoho skriplennia zaliznychnykh reioik typiv R50, R65 i R75. Tekhnichni umovy. [Plates for separate fastening for railway R50, R65 and R75 rails. Specifications]. (2020). DSTU 9056:2020 from 1 May 2021. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [in Ukrainian].

20. Frishman M. A., Orlovskii A. N. (1975). Issledovanie raboty strelochnogo perevoda tipa R50 marki 1/11 na

zhelezobetonnykh brusyakh) [Study of the operation of the P50 type switch, grade 1/11 on reinforced concrete beams: research report] (№ 74044393). Dnipro: Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. [in Russian].

21. Relsy kontrolnyye RK65. Razmery. [Rails for RK65 check rails. Dimensions]. (1985). GOST 9798-85. Moscow: Izdatelstvo standartov. [in Russian].

22. Reiky vistriakovi typiv OR50 i OR65. Zahalni tekhnichni umovy. [Point rails of OR50 and OR65 types. General specifications]. (2008). DSTU 4814:2007 from 1 January 2009. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [in Ukrainian].

UDC 629.1.072

DOI:10.34029/2311-4061-2021-140-3-38-45

Influence of ovality of the wheel center on the stress-deformed condition of the "bandage-center" connection of the electric locomotive wheel / V. Leonets, A. Lukashevych, V. Povyschiy, L. Yatsenko // Railway transport of Ukraine. - 2021. - № 3. - pp. 38-45.

An urgent task is to increase the efficiency of locomotive wheels formed by thermal pressing of the tire on the centers. Among the technological factors affecting the adhesion strength of the shroud rim to the center of the wheel, the deviation of the geometric shape of the center of the wheel and the rim is of great importance. The mechanical properties of structural steels of rims and centers significantly affect the strength of their joints. GP "GNIITs UZ" investigated during 2008-2011. Cases of destruction of locomotive wheel rims in the area of the edge of the annular groove. Multi-position initiation of fatigue cracks was observed on the surface of the band near the retaining ring in the absence of stress concentrators. The article discusses the possibility of such cracks due to the fretting fatigue of the mating surfaces of the structural steels of the tire and the center due to the ovality of the wheel center. It is pointed out that it is necessary to study gigacycle fretting fatigue of the "wheel center - tire" connection of a wheel formed by heat pressing.

To increase the probability of detecting subcritical fatigue cracks by a non-destructive method, it is recommended to measure the deviations of the geometric dimensions of the wheel center and rim in the places of their greatest deviation from the symmetry shape before forming the wheel by thermal pressing.

Keywords: locomotive wheel, bandage, wheel center, gigacycle loading, stress-strain state, fretting fatigue.

References

1. Kossov V.S., Grek V.I., Nikol'skaya E. N., Volokhov G.M. (2011) Sravnytelnyy analiz normativnoy bazy otsenki prochnosti kolesnich par podvizhnogo sostava [Comparative analysis of the regulatory framework for assessing the strength of wheelsets of rolling stock]. *Vistnyk SNU im. V.Dalya [Bulletin of the SNU named after V. Dahl]*, 2011, v.1, no.4, p.p. 48-55 [in Russian].

2. Kuzmichev V.M. Kuzmichev V.M., Perkov O.Y. (2015) Analiz usloviy raboty kolesnykh tselntrov dlya lokomotyvov [Analysis of the working conditions of wheel centers for locomotives]. *Fundamentalni i prikladni problemi tshornoy metallurgii [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy]*, 2015, no.30, p.p. 226-232 [in Russian].

3. Rauba A.A., Dyndin W.W. (2018) O wliynii mekhanicheskikh svoystv materialov na nesushuy sposobnost v soedinenii "Kolyosniy zentr-bandash" [On the influence of the mechanical properties of materials on the bearing capacity in the connection "Bone center-bandage"]. *Iswesestiya Transsiba [News of Transsib]*, 2018, no.3, p.p. 70-80 [in Russian].

4. Rauba A.A., Obryvalin A.V., Shevko N.H. (2016) Analiz prychyn provorota bandazhey kolisnykh par tyahovoho pidvizhnogo sostava [Analysis of the causes of rotation of wheelset tires for traction rolling stock]. *Innovatsiyni tekhnolohiyi s novi tekhnolohiyi v oblasti obrasovaniy, promischlenosti i transporta. Materialy nauchn. konf., posvyashchennoy Dny Rosiyskoyi nauky [Innovative technologies and new technologies in education, industry and transport. Materials of the scientific*

conference dedicated to the Day of Russian Science.]. Omsk: OGUPS, 2016, p.p. 230-235[in Russian].

5. Domin R.Y., Konstantidi V.S., Yatsenko L.F. (2011) Viyavleniya vtomnich trishchyn u bandazhach kolis tyahovoho ruhomoho skladu [Detection of fatigue cracks in the bandages of traction rolling stock]. *Zaliznychnyy transport Ukrayiny [Railway transport of Ukraine]*, 2011, no.4, p.p. 48-50 [in Ukrainian].

6. GOST 398-96. (1997) *Bandaschi is uglerodistoy stali dly podvischnogo sostava gelesnich dorog schirokoy kolei i metropoliten. Technitscheskie usloviya [GOST 398-96. Carbon steel bandages for broad gauge and subway rolling stock. Specifications]*. Moscow: Isdatelstvo standartov, 1997, 12 p. [in Russian].

7. GOST 31373-2008. (2008) *Kolesni pary lokomotyviv ta motorvohonnoho pidvisnogo sostava. Raschety i ispytanya na prochnost [GOST 31373-2008. Wheelsets of locomotives and multiple unit rolling stock. Strength calculations and tests]*. Moscow: Izdatelstvo standartov, 2009, 12 p. [in Russian].

8. Nykolskaya É.N., Dmytrysh V.A., Arsenkina T.Y. (1985) O nagruzhennosti kolesa lokomotyvov v ekspluatatsiyi [On the tension of the wheels of locomotives in operation]. *Vestnyk VNIIZHT [VNIIZHT Bulletin]*, 1985, no.8, p.p. 35-39 [in Russian].

9. Batyushyn I.Y., Yatsenko L.F., Honcharov O.M. (2018) Doslidzhennya vplyvu tovshchyny bandazhiv kolisnykh par lokomotyviv na pokaznyky yich mitsnosti ta nadiynosti [Research of influence of thickness of bandages of wheel pairs of locomotives on indicators of their durability and reliability]. *Zaliznychnyy transport Ukrayiny [Railway transport of Ukraine]*, 2018, no.2, p.p. 39- 47 [in Ukrainian].

10. Muraschov M.V. (2016) Vybory parametrov vychyslytelnykh alhorytmov pry resheniyi zadachi kontaktnogo deformirovaniya sherokhovatykh tel v ANSYS [The choice of the parameters of computational algorithms when solving the problem of contact deformation of rough bodies in ANSYS]. *Vestnyk MHTU ym. N.É. Bauman. Ser. «Estestvennye nauky» [Bulletin of the Moscow State Technical University. N.E. Bauman. Ser. "Natural Sciences"]*, 2016, no.1, p.p. 111-121 [in Russian].

11. Pysarenko H.S., Aharev V.A., Kvytko A.L. (1974) *Soptyvlenye materyalov [Strength of materials]*. Kiev: High school, 1974, 670 p. [in Russian].

12. VND 32.0.007.001-2001 [Normative document of the railway of Ukraine. Instruction]. (2001) *Instruktsiya z formuvannya, remontu ta utrymannya kolisnykh par tyahovoho ruhomoho skladu zaliznyts' Ukrayiny koleyi 1520 mm [Instructions for the formation, repair and maintenance of wheel pairs of traction rolling stock of gauge 1520 mm of the railways of Ukraine]*. Kyiv: TOV "SPE Polygraphservice", 2001, 171 p. [in Ukrainian].

13. Petukhov A.N. (1993) *Soprotivlenye ustalosty detaley GTD [Fatigue resistance of GTE parts]*. Moscow: Mechanical engineering, 1993, 240 p. [in Russian].

14. Petukhov A.N. (2004) Frettyng-koroziya i frettyng-hustalost v malopodvizhnykh soedineniyakh HTD i energeticheskikh maschin [Fretting-corrosion and fretting-fatigue in sedentary joints of gas turbine engines and power machines]. *Aviatsiyno-kosmichna tekhnika i tekhnolohiya [Aerospace engineering and technology]*, 2004, no.7, p.p. 129-134. [in Russian].

15. Troschtzenko V.T., Zibanyov G.V., Nalimov Y.S.(2009) *Protnost metalov i konstruktiv: Seriya monografiy [Strength of metals and structures: The strength of metals. Influence of the state of the surface of contact interaction]*. Kiev: G. S. Pisarenko Institute for Problems of Strength, v.2, 2009. 664 p. [in Russian].

16. Vertukhov B.Y. (1982) Visokotochnyy i dostupnyy metod ismereniy otkloneniy ot kruglosti s ispolsovaniem mikro-EVM [A highly accurate and affordable method for measuring roundness deviations using a micro-computer]. *Vestnyk mashynostroeniya [Bulletin of mechanical engineering]*, 1982, no.3, p.p. 58-59 [in Russian].

UDC 621.921

DOI: 10/34029/2311-4061-2021-140-3-46-52

Accumulation of microplastic deformations of low-carbon steel samples under high-cycle loading as a factor of operational damage to load-bearing structures of railway transport / G. Pysarenko, O. Voynalovich, A. Maylo, S. Pysarenko // Railway Transport of Ukraine. – 2021. - № 3. – pp. 46-52.

Calculated and experimental data on the influence of cyclic stresses below the endurance limit on the characteristics of damage to low-carbon steel St 3 used in the production of elements of load-bearing structures of rolling stock of railway equipment intended for long-term operation have been obtained. The methodological possibilities of analyzing the conditions for the formation of the limiting state of the accumulated local density of deformation defects of the surface layer of steels and alloys under periodic loading are considered in order to develop a method for analyzing the current state of damage to an elastoplastic material under unsteady loading of welded joints of structural elements. Methodological approaches have been developed for the development of methods for analyzing the conditions for the formation of the limiting state of the current state of deformation damages on the example of the surface of laboratory specimens made of low-carbon steel under gigacycle loading.

Keywords: gigacycle fatigue, damage, surface microrelief, coherent optical scanning.

References

1. Kossov V., Oguenko V., Oguenko V. (2007). Uchet gigatsiklovoy ustalosti staley pri otsenke stroka luzhbyi otvetstvennykh detaley zheleznodorozhnoy tekhniki [Taking into account gigacycle fatigue of steels when assessing the service life of critical parts of railway equipment]. *Visnik Dnipropetrovskogo natsionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu imeni akad. emilka V. Lazaryana*, 19. 165-169. [in Russian].
2. Mahutov N., Kossov V., Oganyan E. (2007). K voprosu otsenki resursa i bezopasnosti ekspluatatsii konstruktivnykh podvizhnogo sostava [On the issue of assessing the resource and operational safety of rolling stock structures]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov.* 73(11). 43-47 [in Russian].
3. Korshunov S., Voron O. (2014). Kompleksnyye ispytaniya, otsenka nesuschey sposobnosti i ostatochnogo resursa spetsializirovannogo passazhirskogo vagona [Complex tests, assessment of the carrying capacity and residual life of a specialized passenger car.]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobscheniya*, 1. 8-12. [in Russian].
4. Bydzan, A., Panin, S. (2000). Fatigue failure as process of sequential development of plastic deformation and continuity disturbance in hierarchy of structural levels. *Proceedings - KO-RUS 2000: 4th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology, Ulsan, Korea (27 June-1 July 2000)*, 3, 337-341 [in English].
5. Lecompte, D., Sol, H., Vantomme, J., and Habraken, J. (2006) Analysis of speckle patterns for deformation measurements by digital image correlation. *Proc. SPIE. 6341, Speckle06: Speckles, From Grains to Flowers (15 September 2006)*, 6341, <https://doi.org/10.1117/12.695276> [in English].
6. Naymark O., Plehov O., Betehtin V. i dr. (2014). Kinetika nakopleniya defektov i dualnost krivoy Vellera pri gigatsiklovoy ustalosti metallov [Defect accumulation kinetics and duality of the Weller curve for gigacycle fatigue of metals]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*, 84 (3). 89-94. [in Russian].
7. Mughrabi, H. (2009). Cyclic Slip Irreversibilities and the Evolution of Fatigue Damage. *Metallurgical and materials transactions B*, 40, 1257-1279 [in English].
8. Panin, V., Yelsukova, T., Panin A., Kuzina, O., and Kuznecov, P. (2004). Mezoskopicheskiye strukturnyye urovni deformatsii v poverkhnostnykh sloyakh i kharakter ustalostnogo razrusheniya polikristallov pri znakoperemennom izgibe. Chast' I. mezoskopicheskaya substruktura [Mesoscopic structural levels of deformation in surface layers and the character of fatigue fracture of polycrystals under alternating bending. Part I.

Mesoscopic substructure]. *Fizicheskaya mezomekhanika [Physical Mesomechanics]*, 7(2), 5-17 [in Russian].

9. Pysarenko, G., Voynalovich, A., and Maylo, A. (2018). Vplyv ekspluatatsiynykh chynnykh na zakonodirnosti rozpodilu dyskretnykh deformatsiy poverkhnovoho sharu metalokonstruktsiy za bahatotsyklovoho navantazhuvannya zrazkiv [The influence to the patterns of the surface layer discrete deformations distribution for metal structure's operational factors under high-cycle loading of samples]. *Mechanics and Advanced Technologies*, 84(3), 39-44 [in Ukrainian].

10. Martin, Y., Williams, C. and Wickramasinghe, H. (1987). Atomic force microscope-force mapping and profiling on a sub 100-Å scale. *J. Appl. Phys.* 61, 4723, <http://dx.doi.org/10.1063/1.338807> [in English].

11. Yakovleva, T. (2003). *Lokal'naya plasticheskaya deformatsiya i ustalost' metallov [Local plastic deformation and fatigue of metals]*. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].

12. Meireles, J., da Silva, L., Caetano, D., and Huguenin, J. (2003). Effect of metallic surface roughness on the speckle pattern formation at diffraction plane. *Optics and Lasers in Engineering*, 50(12), 1731-1734 [in English].

13. Troshchenko, V., Sosnovskiy, L. (1987). *Soprotivleniye ustalosti metallov i splavov: sprav. v 2 t. [Fatigue resistance of metals and alloys: a handbook in 2 volumes]*. Kyiv: Naukova dumka, v. 1, 510 p., v. 2, 825 p. [in Russian].

UDC 681.2.083

DOI: 10.34029/2311-4061-2021-140-3-53-66

Methodology of measuring of mass of fuel by the hardwarily programmatic complex of diesel engine / V. Zonov, V. Matyash, Y. Belous, Y. Polnikov, V. Levtsov // Railway transport of Ukraine. - 2021. - № 3. - pp. 53-66.

Methodology of measuring of mass of fuel is worked out hardwarily - by a programmatic complex with an information transfer on GPRS- of navigation, in structures AT "Ukrzaliznutci", in real time exploitations of diesel engine : the masses of the fuel used up by the diesel of diesel engine by the differential flowmeter of fuel (DFM); the masses of fuel in the fuel tank of diesel engine by the ultrasonic sensors of level of fuel (ДТУ); the masses of fuel at priming in a fuel tank from the stationary reservoir of locomotive depot and at priming from movable toplivozapravcyika; the masses of fuel at the unauthorized weathering from the fuel system of diesel engine. Basic regulating standards over are brought.

Methodology of measuring and calculation of mass of fuel is realized hardwarily - by a programmatic complex being : microprocessor-based complex, with a built-in mathematical model and software with interface connections, in the complement of that enter, is a differential flowmeter (DFM) with an interface cable for measuring of fuel the diesel of diesel engine; ultrasonic sensors of level are fuels (ДТУ), measuring a level, volume, mass, temperature, closeness, viscosity of fuel in the fuel tank of diesel engine, including daily allowance fluctuations in an ambient temperature; ultrasonic sensors of level (ДТУ), measuring the unauthorized selection of fuel from the fuel system.

Keywords: locomotive, mass of fuel, mathematical model, physico-chemical characteristics measuring methodology, hardwarily-program complex, measuring exactness, metrology calibration.

References

1. Analiz vikoristannya palivno-energetichnykh resursiv na zaliznichnomu transporti Ukraini za 2016 rik [Analysis of the use of fuel and energy resources on the railway transport of Ukraine in 2016]. Kyiv: PAT «Ukrzaliznitsya», 2017, 144 p. [in Ukraine].
2. Nastanova po ekonomnomu vykorystanniu dyzelnoho palyva pry ekspluatatsii teplovoziv : TSZ-0198 [The guidance on the economical use of diesel fuel during the operation of the locomotives: CT-0198]/ zatverd. nakazom Ukrzaliznytsi vid 29.10.2010 № 161-CT. Kyiv : Ukrzaliznytsia, 2011, 102 p.(Haluzevyj normatyvnyj dokument). [in Ukraine].

3. Balabin V. N., Domogatskiy V. V. *Suschestvuyushchie sistemy izmereniya rashoda topliva [Existing fuel consumption measurement systems]* Moskva: Lokomotiv, 2003, no2, pp.30–32, no 3, pp.34. [in Russian].
4. Trykhlіb O. D. Udoskonalennia systemy kontroliu vytrat dyzel'noho palyva manevrovymy teplovozamy v eksploatatsii [*Improving the system of control of diesel fuel consumption by shunting locomotives in operation*]: dis. kand. tekhn. nauk : 05.22.07 / Trykhlіb Oleksij Dmytrovych.-Kharkiv, 2017, 177 p. [in Ukraine].
5. Timchenko, A. Y. Edinaya avtomatizirovannaya sistema ucheta dizelnogo topliva [*Unified automated diesel fuel metering system*] Moskva:Lokomotiv, 2011, no 2. pp. 33-35 [in Russian].
6. Trihlib O. D., Kotov V. V., Kotova U. V. *Tekhniko-ekonomichni aspekti avtomatizovanogo obliku ta kontrolyu vitrat dizelnogo paliva [Technical and economic aspects of automated accounting and control of diesel fuel consumption]* Visnik Shidnoukrayinskogo natsionalnogo universitetu imeni V.Dalya [*Bulletin of the V. Dahl East Ukrainian National University*]. Lugansk, 2012, no 3. pp. 199–201 [in Ukraine].
7. Kaplun A. N. Sistema "BIS-R" dlya izmereniya ekspluatatsionnogo rashoda topliva na teplovozah [*BIS-R system for measuring fuel consumption on locomotives*] *Dvigatellestroenie* [Dvigatellestroenie] 2005, no 2, pp.123-126 [in Ukraine].
8. Kaplun, A. N., Trihlib O. D., K. S. Petrov Sistema kontrolya rashoda topliva «BIS-Rm» [*Fuel consumption control system "BIS-Rm"*] Lokomotiv-inform [*Lokomotiv-inform*], 2014, no 4, pp. 40–46 [in Ukraine].
9. Drobaha V. I., Trihlib O. D., A. M. Kaplun A. M. Rezultati praktichnogo vprovadzhennya sistem "BIS-R" [*Results of practical implementation of BIS-R systems*] Lokomotiv- inform [*Lokomotiv-inform*], 2007, no 9, pp 24–25 [in Ukraine].
10. Drobaha V. I., Trihlib O. D., Kotov M. O. *Vimiryuvalni zasobi avtomatizovanoyi sistemi obliku y kontrolyu dizelnogo paliva [Measuring means of the automated system of the account and control of diesel fuel]* Lokomotiv-inform [*Lokomotiv-inform*], 2012, no 12, (78), pp. 59–61 [in Ukraine].
11. Azarov R. V., Kagramanyan A.A., S. V. Myamlin S. V. *Rasshirennyiy modelnyiy ryad bortovyih sistem «Delta» dlya kompleksnogo distantsionnogo kontrolya podvizhnogo sostava v eksploatatsii [Advanced model range of side systems "Delta" for integrated remote control of rolling stock in operation]* Lokomotiv-inform [*Lokomotiv-inform*], 2006, no 5, pp.36–38 [in Ukraine].
12. Bocharov V., Golovash A. *Apparatno-programmnyy kompleks «Bort» [Hardware and software complex "Board"] RSP Ekspert [RSP Expert]*, 2011, no 6, pp. 20–21 [in Russian].
13. Donskoy A. L. *Sistema RPRT teplovozov. Funktsionalnye vozmozhnosti, komplektuyushchie bloki i oborudovanie [System of RPRT diesel locomotives. Functionality, components blocks and equipment]* Moskva: Lokomotiv, 2066, no 7, pp 22–24 [in Russian].
14. Borminskiy S.A., Skvortsov B.V., Solntseva A.V. *Metody izmereniy kolichestvennyih i kachestvennyih harakteristik zhidkih energonositeley [Methods for measuring the quantitative and qualitative characteristics of liquid energy]*. Samara: izd-vo SNTs RAN, 2012, 222 p. [in Russian].
15. *Sposob izmereniya massyi zhidkosti v rezervuare [Method of measuring the mass of fluid in the tank]* Skvortsov B.V. i dr.: zayavka na izobretenie, no 2011147442/28; zayavl.22.11.11; opubl. 27.05.13. Byul. no 15 [in Russian].
16. Patent № 2331048 S2 RF. G01F 9/00. G01F 23/00. G01F 15/06. G07C /10 *Sposob i sistema izmereniya, ucheta i kontrolya rashoda topliva dvigatelem vnutrennego sgoraniya transportnogo sredstva i monitoringa sostoyaniya dvigatelya [Method and system for measuring, accounting and monitoring fuel consumption by an internal combustion engine of a vehicle and monitoring the state of the engine]* opubl. 10.08.2008 Byul. no 22. [in Russian].
17. DSTU 7094:2009 *Metrologiya. Masa nafti ta naftoproduktiv. Zagalni vimogi do metodik vikonannya vimiryuvannya [Metrology. Mass of oil and petroleum products. General requirements for measurement methods]* (GOST 8.587-2009, MOD) Nakaz vid 19.10.2009 384 Pro nadannya chinnosti v Ukrayini mizhderzhavnim standartam, zminam do mizhderzhavnih standartiv ta skasuvannya normativnih dokumentiv. [in Ukraine].
18. DSTU 4488:2005 *Nafta i naftoprodukti. Metodi vidbirannya prob [Oil and petroleum products. Methods of sampling]*. [in Ukraine].
19. DSTU 3868 – 99 *Palivo dizelne. Tehnichne umovi [Impurely diesel technical condition]* Kyiv: Derzhstandart Ukrayini. – 1999. – 22 s. [in Ukraine].
20. DSTU GOST 31072:2006 *Nafta i naftoprodukti Metod viznachennya gustini, vidnosno gustini ta gustini v gradusah API areometrom [Oil and petroleum products Method of determination of density, relative to density and density in the degrees of Ari Areometer]* (GOST 31072-2002, IDT). [in Ukraine].
21. Instruktsiya pro poryadok priymannya, transportuvannya, zberigannya, vidpusku ta obliku nafti I naftoproduktiv na pidpritmstvah i organizatsiyah Ukrayini [*Instruction on the procedure for acceptance, transportation, storage, release and accounting of oil and petroleum products at enterprises and organizations of Ukraine*] № 281 / 171 / 578 / 155 vid 20. 05. 2008 r. [in Ukraine].
22. Instruktsiya po tehničnomu normuvannya vitrat elektrichnoyi energyyi i paliva lokomotivami na tyagu poyizdів [*Instructions for the technical normalization of electricity expenses and fuel by locomotives on the thrust of trains*] № 062-Ts.-Kyiv: Ukrzaliznitsya: M-vo transportu Ukrayini, 2003. s. (Galuzeviy normativniy dokument. Instruktsiya. [in Ukraine].
23. *Teplovoznnye dvigateli vnutrennego sgoraniya: Uchebnik dlya vuzov [Diesel motors of internal combustion]* A.E.Simson, A.Z. Homich, A.A. Kurits i dr.- 2-e izd., pererab. i dop. M.: Transport, 1987. 536s. [in Russian].
24. *Modernizatsiya z obladnannyam priladami GPS/GPRS teplovoziv seriy ChME3, 2M62K, M62M [Modernization with equipment GPS / GPRS diesel locomotives Series Cham3, 2M62K, M62M]* TZ.706.00.00.000-SP PKTB RL –Poltava: Ukrzaliznitsya: 2019. 31s. (Galuzeviy normativniy dokument. Instruktsiya [in Ukraine].
25. *Sistema vimiryuvannya, obliku ta kontrolyu za vitratami paliva dvigunami vnutrishnogo zgorannya (DVZ) transportnogo zasobu ta monitoringu stanu dviguna [Measurement system, accounting and control over fuel consumption of internal combustion engine (DIC) vehicle and engine monitoring]* Zayavka na korisnu model № 202101357 ot 17. 03. 2021 Ukrayina, MPK G01F 9/00, G01F 23/00 / Zonov V.D, Matyash V.O, Polnikov Y.V, Levtsov V.B [in Ukraine].

В И М О Г И
ДО МАТЕРІАЛІВ ЩО НАДАЮТЬСЯ ДЛЯ ПУБЛІКАЦІЇ У НАУКОВО-ПРАКТИЧНОМУ ЖУРНАЛІ
«ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ УКРАЇНИ» (ЗТУ)

Перелік обов'язкових елементів статті:

Вступ. Постановка проблеми у загальному вигляді і вказівкою про її зв'язок з науковими чи практичними завданнями, літературний огляд існуючих методів, підходів, рішень щодо встановленої проблеми.

Мета / цілі, завдання.

Підзаголовки (розділи) статті. Виклад основного матеріалу дослідження.

Висновки і перспективи подальших досліджень у цьому напрямку.

Література до статті (мовою оригіналу та в транслітерації).

Всі структурні елементи необхідно виділяти **напівжирним шрифтом**.

Матеріал потрібно викладати стисло, послідовно, стилістично грамотно, з посиланням на літературні джерела. Одиниці вимірів слід подавати лише в системі SI.

Відповідальність за матеріали, наведені у статті, їх достовірність несе автор. Редакція залишає за собою право вимагати надання авторами додаткових експертиз за матеріалами статті і приймати рішення щодо доцільності її публікації за результатами рецензування.

Матеріали для публікації в журналі ЗТУ надаються у електронному вигляді, вкладеними файлами, за адресою ztu1520mm@gmail.com. У окремому файлі або листі слід додати авторські довідки-звернення авторів (автора) до головного редактора журналу щодо опублікування статті і запевнення в тому, що її матеріали раніше не публікувалися і не були направлені для публікації у інші видання. Матеріали для публікації можуть бути надані також кур'єром або поштою на будь-яких носіях (CD, DVD, Blu-ray, flash-накопичувачі) за адресою: Україна, 03038, Київ, вул. І.Федорова, 39, філія «НДКТИ» ПАТ «Укрзалізниця», редакція журналу ЗТУ.

Оформлення тексту статті:

1. Текст статті (1-й файл) повинен бути підготовлений у форматі текстового редактора MS Word українською, російською або англійською мовами. На початку статті необхідно вказати: деталізований індекс УДК, прізвища та ініціали авторів, їх вчені ступені, а також повну і скорочену назву установи їх праці, назву статті і під нею ключові слова. Формули у тексті статті мають бути набрані у редакторі формул Word, а не шляхом їх переносу (копіювання) з редакторів MathCad, MathLab, LabView та інших. Розміщенні в тексті діаграми, таблиці, графіки теж слід оформлювати тільки засобами MS Word або MS Excell будь-яких генерацій. Ілюстрації у вигляді малюнків і фотографій необхідно подавати в окремому 2-му файлі, у растрових форматах – jpeg, tif, gif тощо – з роздільною здатністю не менше 300 крапок на дюйм. Малюнки повинні бути розміщені у тексті статті, або на місці малюнку має бути посилання на ім'я окремого файлу з малюнком. У тексті статті перед наведеними зображеннями та таблицями повинні бути обов'язкові посилання на них. Загальний обсяг тексту статті складає 5-10 сторінок А4. Матеріал друкується через 1 інтервал без переносів шрифтом 12 Times New Roman, поля ліворуч, вгорі, внизу, праворуч – 2 см., абзац – 1,25 см.

2. Реферати до статті (3-й файл) викладаються українською (мінімум 200 слів або 1000 знаків), російською (мінімум 200 слів або 1000 знаків) і поширений, з переліком літератури, (мінімум 250 слів або 1250 знаків) англійською мовами.

3. Відомості про авторів (4-й файл) повинні включати: П.І.Б (повністю українською, російською та англійською мовами, назву установи постійної роботи, посада, вчений ступінь або кваліфікацію за освітою чи станом (інженер, магістр, науковий співробітник, аспірант), контактний телефон, e-mail, поштову адресу для листування та висилання авторського екземпляру ЗТУ.

4. Список літератури до публікації повинен містити 10-20 найменувань і оформлюватися за вимогами ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Список літератури англійською мовою повинен бути складений за стандартом APA (<http://www.apastyle.org/>), який перекладається та транслітерується латиницею для кирилических джерел; його нумерація повинна співпадати з першим списком літератури. Самоцитуваних повинно бути не більше 30%.

5. Кольорові фотографії облич авторів (за бажанням).

Статті готуються до друку і випускаються у тому порядку, в якому редакція їх отримує від рецензентів і авторів після остаточної правки матеріалу.

Відомості про те, в якому номері буде опублікована стаття автори можуть отримати за запитом на поштову адресу редакції або на її e-mail: ztu1520mm@gmail.com