



АКАДЕМІЯ ТЕХНІЧНИХ НАУК УКРАЇНИ

IV Міжнародна науково-практична конференція

**ПРИКЛАДНІ НАУКОВО-
ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

1-3 квітня 2020

**У двох томах
Том 1**

АКАДЕМІЯ ТЕХНІЧНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗМІСТУ ОСВІТИ
ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. ВАСИЛЯ СТЕФАНИКА
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ
УНІВЕРСИТЕТ КОРОЛЯ ДАНИЛА
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
CONNECTIVE TECHNOLOGIES LTD (ВЕЛИКОБРИТАНІЯ)

ПРИКЛАДНІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

APPLIED SCIENTIFIC AND TECHNICAL RESEARCH

Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції
(1–3 квітня 2020 р., м. Івано-Франківськ)

У двох томах
Том 1

Партнер конференції:

ІВФ «Темпо»
<http://tempo-temp.com.ua/>



Івано-Франківськ
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»
2020

УДК 60
ББК 30
П75

ПРИКЛАДНІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ:

Голова оргкомітету:

Кузь М.В. – доктор технічних наук, президент Академії технічних наук України, професор кафедри інформаційних технологій Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ.

Члени оргкомітету:

Архипова Л.М. – доктор технічних наук, академік Академії технічних наук України, завідувач кафедри туризму Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, м. Івано-Франківськ;

Новак В. – директор фірми Connective Technologies LTD, Лондон, Великобританія;

Ващишак С.П. – кандидат технічних наук, член-кореспондент Академії технічних наук України, доцент кафедри інформаційних технологій Університету Короля Данила, м. Івано-Франківськ;

Ломотько Д.В. – доктор технічних наук, академік Академії технічних наук України, завідувач кафедри транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків;

Бакай Б.Я. – кандидат технічних наук, член-кореспондент Академії технічних наук України, доцент кафедри лісопромислового виробництва та лісових доріг Національного лісотехнічного університету України, м. Львів.

П75

**Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали IV міжнар. наук.-прак. конф., 1–3 квіт. 2020 р., м. Івано-Франківськ / Академія технічних наук України. Івано-Франківськ : ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», 2020. Т. 1. 236 с.
ISBN 978-966-640-483-4**

У збірнику надруковано матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції «Прикладні науково-технічні дослідження».

Для студентів, аспірантів, викладачів ЗВО та наукових організацій.

**УДК 60
ББК 30**

ISBN 978-966-640-483-4

© Авторський колектив, 2020
© ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», 2020

УДК 629.4.077:629.463

ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-СТАТИСТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕНОРМАТИВНОГО ФРИКЦІЙНОГО ЗНОСУ ГАЛЬМОВИХ КОЛОДОК ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

к.т.н. Равлюк В. Г., Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

Вступ. Автоматичні гальма є однією з основних складових частин сучасного рухомого складу, від рівня досконалості конструкції, ефективності й надійності роботи яких значною мірою залежить безпека руху поїздів, а також пропускна та перевізна спроможність залізниць. Аналіз безпеки руху у вагонному господарстві АТ «Укрзалізниця» за 2008-2019 рр. [1] свідчить про те, що механічні системи гальм візків вантажних вагонів показують низьку надійність в нинішніх умовах і в більшості одиниць експлуатаційного вагонного парку перебувають у незадовільному стані. Виконаний у роботі аналіз взаємодії гальмових колодок у двовісному візку та експлуатаційно-статистичні дослідження дозволяють визначити напрямки удосконалення процесу відведення колодок від коліс і недопущення їх шкідливого тертя по колесах під час руху у поїздах без гальмування.

Виклад матеріалу. Під час виконання науково-дослідного обстеження гальмових колодок у вантажних вагонах експлуатаційного парку в пунктах технічного обслуговування (ПТО) встановлено, що значна їх частина за попуцених гальм у рухомому поїзді нахилена. Унаслідок цього колодки своєю верхньою частиною притискуються до коліс, які обертаються під час руху поїзда, й утворюється верхня шкідлива стертість. За виконаними вимірюваннями довжини шкідливої стертості колодок, яка зменшує корисну площу і негативно впливає на процес гальмування, було встановлено, що вона може становити до 100 мм від загальної довжини колодки (рис. 1). Також необхідно зазначити, що на гальмових колодках формуються два майданчики зносу: верхній – у якому колодка зношується кососиметрично, під час руху вантажних вагонів без гальмування, доволі посилено залежно від швидкості руху поїзда; нижній – яким колодка виконує процес гальмування вагона.

а



б



Рисунок 1 — Вимірювання довжини шкідливого зносу гальмової колодки в експлуатації, характерні випадки: а) початкового зносу до 50 мм у нових вагонах з пробігом до 7 тис. км; б) найгірші події, коли довжина шкідливої стертості досягає майже 100 мм

Основними причинами виникнення ненормативного зносу гальмових колодок вагонів є:

- нерівномірний розподіл питомого гальмового зусилля за довжиною колодки від зсуву реакції колеса на колодку щодо її осі симетрії в бік прилягаючого кінця колодки;
- притиснення верхівки колодки під час руху поїзда зусиллям від шкідливого крутного моменту, який виникає з тієї причини, що вісь, яка проходить через центр отвору розпірки триангеля, не збігається з віссю пари маятникових підвісок, які утримують гальмові колодки;
- не працюють належним чином пристрої для нормативного зносу гальмових колодок,

тобто вони не забезпечують потрібне відведення колодок від коліс, через це верх колодок третяся об колеса під час руху поїзда з попущеними гальмами.

Для дослідження можливих явищ виникнення ненормативного зносу гальмових колодок наведена теоретична розрахункова схема (рис. 2), яка дозволяє встановити причини утворення такого зносу. Точка прикладення рівнодіючої реакції колеса від середини робочої частини колодки зміщується в сторону залеглого кінця колодки. Це призводить до нерівномірного розподілення питомих тисків за всією робочою площею колодки, яка бере участь у процесі гальмування вагона [2, 3, 5].

Розглянувши схему дії гальмових сил на колеса двовісного візка вагона (рис. 2), можна встановити, що зовнішнє гальмове зусилля N_k — зусилля від триангеля, яке передається на башмак 1 з колодкою 2 під час гальмування, розкладається на дві складові: горизонтальне — $N_{гор}$ і зусилля вздовж осі підвісок 3, що викликає появу — P_{II} реакції на дію гальмового зусилля і є причиною виникнення деформацій розтягнення та стиснення підвісок 3, відповідно для правого та лівого коліс 4. У разі обертання колісних пар проти годинникової стрілки за наведеною схемою зусилля $N_{к.л.}$ для правого та лівого колеса передаються під різним кутом через особливість конструктивного виконання важільної передачі та наявності зазорів у шарнірах підвісок 3 з башмаками 1. При цьому кути $\beta_2 > \beta_1$, й $\beta_1 < \alpha < \beta_2$, де α — кут підвішування гальмових колодок, P_T — реактивне зусилля тертя за твірною колеса.

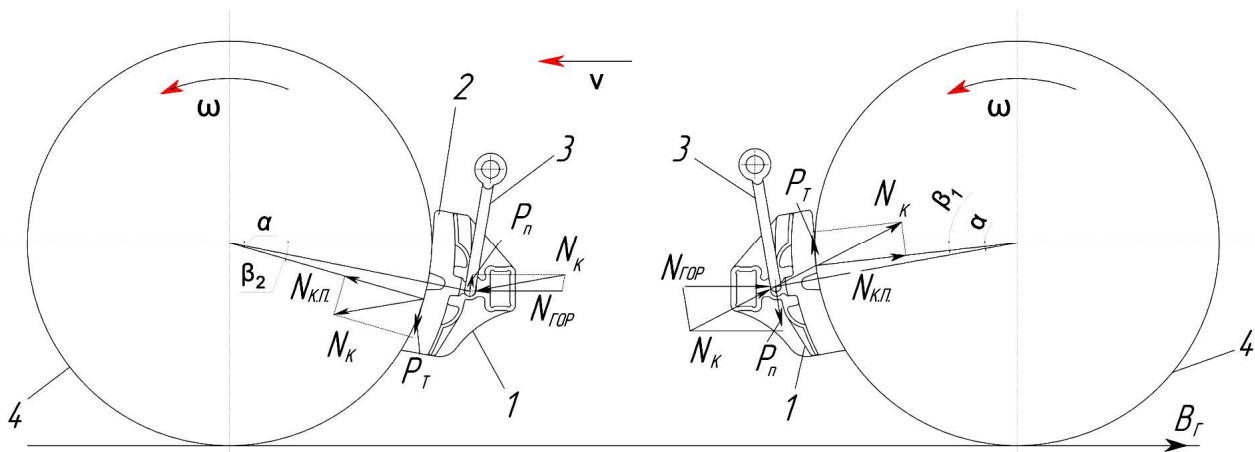


Рисунок 2 — Схема дії гальмових зусиль на колеса в разі однобічного їх гальмування

Під час гальмувань за наявності верхньої стертості на колодках їх робоча площа S_r зменшена на величину шкідливо стертої площини S_z . Через це питомі сили натиснення колодок збільшуються, що істотно підвищує тепловиділення в зоні інтенсивної тертьової взаємодії колодок із поверхнями кочення коліс. За такого гальмування коефіцієнт тертя й результуюча сила гальмування B_r , що реалізуються в контакті коліс з рейками зменшується пропорційно площі шкідливої стертості колодок і закономірно збільшується гальмовий шлях поїзда. У такому випадку, виходячи із схематичного зображення дії сил між колодками і колесами (рис. 2) класичну залежність гальмової сили поїзда можна навести у такому вигляді

$$B_r = \sum_{i=1}^n N_k \varphi_k \Delta, \quad (1)$$

де N_k — сила натиснення колодок на колеса; φ_k — коефіцієнт тертя; Δ — коефіцієнт зменшення корисної площі тертя колодок; n — кількість гальмових колодок у поїзді.

На основі зібраного статистичного матеріалу за характером зносу гальмових колодок у експлуатаційних умовах за проведення обстежень 6504 гальмових систем вантажних вагонів, розглядалося завдання у якому кількість вхідних параметрів $n = 2$, причому натискання гальмових колодок на колеса візка $Q = 68,67$ кН є сталою величиною [4]; X_1 - відстань до отвору розпірки від балки триангеля, L , мм; X_2 - кут нахилу триангеля, α° . Кількість вихідних

характеристик $m = 2$, Y_1 - знос вверху колодки; Y_2 - знос внизу колодки.

Математична модель механічної гальмової системи (зі складовими: $\bar{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ – вхідний вектор змінних параметрів; $\bar{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$ – вектор вихідних характеристик) буде відповідати спрощеній 2-о параметричній моделі планування експерименту. Сукупність процедур перетворень, що містять функціональні операції, які виконує технічна система, має вигляд:

$$T: \bar{X} \rightarrow \bar{Y}. \quad (2)$$

Подібні задачі пошуку оптимальних (раціональних) рішень формалізують відомими методами теорії планування експериментів.

Для знаходження раціональної моделі щодо модернізації важільної передачі, за допомогою теорії планування експерименту розроблено поліноміальну квадратичну модель (кубічна парабола), яка враховує реальні зміни найбільш важливих факторів x_i , $i = 1, 2$, що впливають на кінцевий результат.

Регресійна математична модель зносу гальмових колодок залежно від пробігу вагонів в обох випадках має вигляд наступної функціональної залежності:

$$y = b_0 + b_1 \frac{x}{1000} + b_2 \left(\frac{x}{1000} \right)^2 + b_3 \left(\frac{x}{1000} \right)^3, \quad (3)$$

де x – пробіг вагонів; b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти регресії, що необхідно визначити.

Для їх знаходження було задіяно метод найменших квадратів (МНК). Результати обчислень наведено в табл. 1, а відповідні графічні залежності зносу гальмових колодок зображено на рис. 3.

Використання проведених розрахунків у середовищі програмного забезпечення *MathCad* дозволило оцінити значимості всіх коефіцієнтів регресії за критерієм Стюдента за рівня значимості $\alpha = 0,005$ і кількості степенів свободи $N_0 = 10$. Найширший надійний інтервал склав від 2,0 мм до 1,5 мм, а оцінка середнього відхилення – 0,99 мм.

Таблиця 1 — Безрозмірні коефіцієнти регресії за МНК

Місце вимірювання колодки	b_0	b_1	b_2	b_3
Типова конструкція ($L = 224$ мм, $\alpha = 9^\circ$)				
зверху	$8,208585 \cdot 10^{-1}$	$5,383442 \cdot 10^{-1}$	$-2,192588 \cdot 10^{-3}$	$5,606141 \cdot 10^{-6}$
знизу	$-3,572003 \cdot 10^{-1}$	$4,571698 \cdot 10^{-1}$	$-2,747773 \cdot 10^{-3}$	$7,816891 \cdot 10^{-6}$
Модернізована конструкція ($L = 112$ мм, $\alpha = 8^\circ$)				
зверху	$-7,604903 \cdot 10^{-1}$	$5,309275 \cdot 10^{-1}$	$-3,681336 \cdot 10^{-3}$	$1,31264 \cdot 10^{-6}$
знизу	$-1,070960 \cdot 10^{-1}$	$3,819281 \cdot 10^{-1}$	$-1,992730 \cdot 10^{-3}$	$7,280919 \cdot 10^{-6}$

Отримані моделі перевірено на адекватність за критерієм Фішера (F-критерій) за рівня значимості $\alpha = 0,005$. Значення F-критерію склало від 1 477 до 5 852 для 3 і 10 степенів свободи. Імовірність отримати такі значення за відсутності зв'язку між пробігом вагонів і зносом колодки дуже мала ($F = 1,091e-14$). Крім того, значення F-критерію суттєво більше $F_{кр} = 8,08$ ($\alpha = 0,005$, $\kappa_1 = 3$, $\kappa_2 = 10$), тому побудовані моделі є адекватними з гарантією 99,5 %.

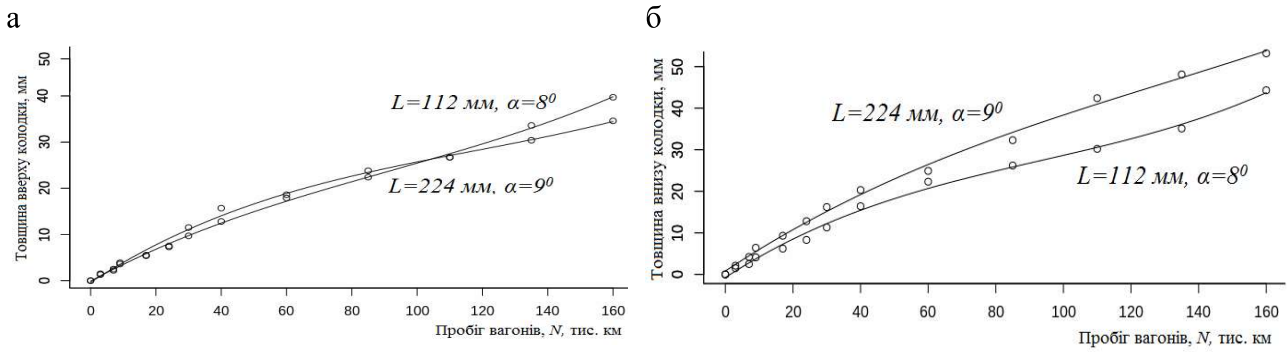


Рисунок 3 — Регресійні математичні залежності зносу гальмових колодок від пробігу вагонів типової й модернізованої конструкції (точками позначено дані експерименту): *а* — верх колодок; *б* — низ колодок

На рис. 4 у форматі 3D наведено об'єднані поверхні залежності зносу гальмових колодок від пробігу вагонів, які свідчать, що в наших випадках випуклі екстремуми досліджених функцій відсутні, а найкраще (раціональне) рішення відповідає конструкції розпірки триангеля ГВП з параметрами розміщення шуканого отвору в розпірці за $L = 112$ мм і $\alpha = 8^\circ$.

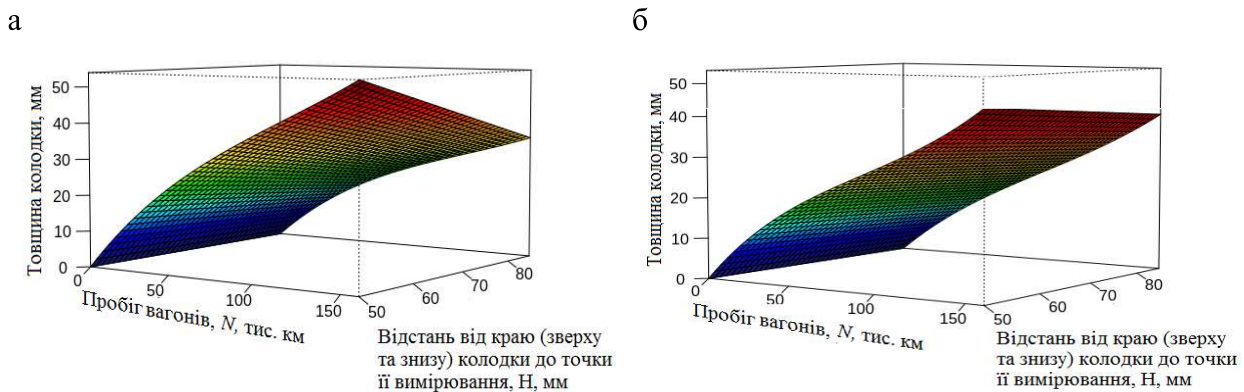


Рисунок 4 — Сумарні залежності зносу гальмових колодок від пробігу вагонів для геометрії розпірок: *а* — типової конструкції; *б* — модернізованої конструкції

Висновки.

1. Встановлено, що основними причинами виникнення ненормативного зносу гальмових колодок вантажних вагонів є: нерівномірний розподіл питомого гальмового зусилля за довжиною колодки від зсуву реакції колеса на колодку щодо її осі симетрії в бік прилеглого кінця колодки; притиснення верхівки колодки під час руху поїзда зусиллям від шкідливого крутного моменту, який виникає з тієї причини, що вісь, яка проходить через центр отвору розпірки триангеля, не збігається з віссю пари маятникових підвісок, які утримують гальмові колодки; не працюють належним чином пристрої для нормативного зносу гальмових колодок, тобто вони не забезпечують потрібне відведення колодок від коліс, через це верх колодок третється об колеса під час руху поїзда з попущеними гальмами.

2. Під час гальмувань за наявності верхньої стертості на колодках їх робоча площа зменшена, у зв'язку з цим питомі сили натиснення колодок збільшуються, а це істотно підвищує тепловиділення в зоні контрпар і збільшується гальмовий шлях поїзда.

3. На основі зібраного статистичного матеріалу за характером зносу гальмових колодок у дійсних експлуатаційних умовах за проведення науково-дослідних обстежень 6504 гальмових систем вантажних вагонів як інвентарного парку АТ «Укрзалізниця», так і приватних підприємств було виявлено: дуально зношених — 95,6 %; клиноподібно моністично зношених — 3,2 %; рівномірно зношених — 1,2 %.

4. За допомогою теорії планування експерименту розроблено поліноміальну квадратичну модель, яка враховує реальні зміни найбільш важливих факторів, які впливають на кінцевий результат щодо модернізації важільної передачі візка. Для зносу гальмових колодок у залежності від пробігу вантажних вагонів визначалися коефіцієнти регресії, а отримані моделі перевірено на адекватність за критерієм Фішера, значення якого склало від 1 477 до 5 852 для 3 і 10 степенів свободи, тому побудовані моделі є адекватними з гарантією 99,5 %.

Список посилань.

1. Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізницях України за 2017 рік. Головне управління вагонного господарства. Київ, 2017. 24 с.
2. Шпачук В. П., Пушня В. О., Рубаненко О. І., Гарбуз А. О. «Теоретична механіка. Динаміка»: консп. лек. / Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 222 с.
3. Равлюк В. Г. Дослідження особливостей дуального зносу колодок у гальмовій системі вантажних вагонів. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 2019. Вип. 2 (80). С. 111-126. doi: 10.15802 / stp2019 / 166114.
4. Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України : ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015 : затв. наказом Укрзалізниці від 28 жовтня 1997 р. №264-Ц. Київ: ТОВ «НВП «Поліграфсервіс», 2004. 146 с.
5. Розробка конструкторсько-технологічної документації на проведення модернізації гальмівних важільних передач візків вантажних вагонів : Звіт про НДР (заключ.) : Укр. держ. акад. залізнич. трансп. ; кер. Мартинов І. Е. ; викон.: Равлюк В. Г. [та ін.]. Харків, 2012. 53 с. – Бібліогр.: с. 44. - № ДР 0111U008972.

ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ.....	185
Войтків С.В. НАПРЯМКИ СТВОРЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ СПАЛЬНИХ КУПЕЙНИХ ВАГОНІВ ЗБІЛЬШЕНОЇ ВМІСТИМОСТІ ПІДВИЩЕНОЇ КОМФОРТАБЕЛЬНОСТІ.....	186
Зоценко Є.О., Павленко О.В. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ ЩОДО ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ НА СКЛАДІ ПІДПРИЄМСТВА.....	189
Запара Я.В. АКТУАЛІЗАЦІЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ БАЗИ У СФЕРІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ.....	191
Музикін М. І., Бібік С. І., Горобченко Д. ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ В УКРАЇНІ	192
Лашина К.О., Павленко О.В. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ ЛОГІСТИКИ ПОСТАВКИ АГРОПРОДУКЦІЇ ІЗ УКРАЇНИ В НІДЕРЛАНДИ.....	193
Запара В.М. ОНОВЛЕННЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ БАЗИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ ЯК ВИМОГА ЧАСУ.....	195
Нестеренко Г.І., Музикін М.І., Бібік С.І. МЕТОДИКА СКОРОЧЕННЯ ОБІГУ ВАГОНУ НА ЗАЛІЗНИЧНІЙ МЕРЕЖІ.....	196
Щербина А.В., Яровий М.О. ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛ ОПОРУ КОЧЕННЮ КОЛЕСА...	198
Нестеренко Г. І., Бібік С. І., Горобченко Д. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ НЕРАЦІОНАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗНЬ.....	199
Волкова Т.В., Коренна В.С. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ УПРАВЛІННЯ АВТОТРАНСПОРТНИМ ПІДПРИЄМСТВОМ У КОНКУРЕНТНОМУ РИНКОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ.....	201
Щербина А.В., Артюх О.М., Дударенко О.В., Сосик А.Ю., Криворучко М.С. ДОСЛІДЖЕННЯ РУЛЬОВОГО МЕХАНІЗМУ З ГЛОБОЇДНИМ ЧЕРВ'ЯКОМ І РОЛИКОМ.....	203
Нестеренко Г. І., Музикін М. І., Горобченко Д. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ З МЕТОЮ КОМПЛЕКСНОГО РОЗВИТКУ РІЗНИХ ВИДІВ ТРАНСПОРТУ.....	205
Шульдінер Ю.В., Гриценко Н.В. ДОСЛІДЖЕННЯ НЕДОЛІКІВ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ НА ДІЛЯНЦІ ЛЬВІВ - РАВА-РУСЬКА – ХРЕБЕННЕ – ВАРШАВА.....	206
Цих В.С. ОСОБЛИВОСТІ ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ В МІСТАХ УКРАЇНИ НА ПРИКЛАДІ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКА.....	208
Терещенко О.П., Поляков А.П. КОМПЛЕКС ДІЙ З ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬК АВТОМОБІЛЬНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ.....	210
Равлюк В. Г. ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-СТАТИСТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕНОРМАТИВНОГО ФРИКЦІЙНОГО ЗНОСУ ГАЛЬМОВИХ КОЛОДОК ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ.....	213
<i>Міждисциплінарні наукові дослідження</i>	
Афтаназів І.С., Строган О.І., Бойко О.О. ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ БУРОВОГО ОБЛАДНАННЯ.....	218
Руда М.В. ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОФЕСІЙНОГО САМОЗДІЙСНЕННЯ ФАХІВЦЯ ТИПУ «ЛЮДИНА-ПРИРОДА».....	221
Свідрак І.Г., Шевчук А.О., Баранецька О.Р. ПСИХОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКЛАДАННЯ ЛЕКЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ.....	222
Свідрак І.Г., Баранецька О.Р. КОМП'ЮТЕРНА АНІМАЦІЯ В ЛЕКЦІЙНОМУ КУРСІ «ІНЖЕНЕРНА ТА КОМП'ЮТЕРНА ГРАФІКА».....	224