

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Дніпропетровський національний університет залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна

ПОД'ЄЛЬНІКОВ Ігор Валерійович

УДК 629.4.625.242, 625.143:621.92, 621.891

**ПОЛІПШЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ
ТА КОЛІЇ ЗА РАХУНОК ВДОСКОНАЛЕННЯ ВІЗКІВ
І ПРОФІЛІВ ПАРИ “КОЛЕСО-РЕЙКА”**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

**Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Дніпропетровськ – 2012

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Інституті технічної механіки Національної академії наук України і Національного космічного агентства України.

Науковий керівник: член-кореспондент НАН України,
доктор технічних наук, професор
Ушкалов Віктор Федорович,
завідувач відділу статистичної
динаміки механічних систем
Інституту технічної механіки
НАН України і НКА України

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кельріх Мусій Борисович,
завідувач кафедри вагонів та вагонного господарства
Державного економіко-технологічного
університету транспорту Міністерства
освіти і науки, молоді та спорту України

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Наumenko Надія Юхимівна,
завідувач відділу динаміки
багатовимірних механічних систем
Інституту технічної механіки
НАН України і НКА України.

Захист відбудеться “23” листопада 2012 р. о 14:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314 (зала засідань).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

Автореферат розісланий “18” жовтня 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д 08.820.02, д.т.н., професор

І. В. Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Взаємодія рухомого складу та колії є одним з основних факторів, які істотно впливають на безпеку руху поїздів, на величини допустимих швидкостей руху, на витрати, що пов'язані з утримуванням одиниць рухомого складу і залізничної колії, та ін. Крім того, знос коліс та рейок призводить до втрати значної частини енергетичних ресурсів, що витрачаються на тягу поїздів.

Одним із шляхів вирішення задачі поліпшення динамічної взаємодії вантажного рухомого складу і колії є змінення конструкції ходових частин з метою покращення динамічних якостей вантажних вагонів та перехід до профілів коліс і рейок, які забезпечують конформний контакт. В теперішній час переважна більшість вантажних вагонів залізниць України та інших країн СНД обладнано візками моделі 18-100. Ці візки мають суттєві недоліки. Головні з яких – незадовільні характеристики при вписуванні в криві, значний знос коліс та рейок, схильність до самозбудження коливань виляння під час руху на прямих ділянках колії.

Тому проблема поліпшення взаємодії рухомого складу та колії, зокрема шляхом вдосконалення ходових частин вантажних вагонів, а також профілів коліс і рейок, є однією з найбільш актуальних проблем залізничного транспорту України та країн СНД.

Зв'язок роботи з науковими планами, програмами, темами. Тематику дисертації включено в плани наукових досліджень ІТМ НАНУ і НКАУ, в яких здобувач був одним із виконавців за наступними темами:

- по фундаментальній науково-дослідній темі ІІІ–20–04 “Дослідження випадкових коливань і визначення динамічних якостей рухомих механічних систем і їх контактної взаємодії з рейковим деформівним підложжям” (номер держреєстрації 0104U004082, затверджена постановою Бюро Відділення механіки НАН України на 2004–2008 роки, протокол № 4 від 26.11.03);

- по прикладній науково-дослідній темі ІІІ–41–06 “Дослідження по поліпшенню динамічної взаємодії вантажних вагонів і колії, а також зменшення зносу коліс та рейок на вітчизняних залізницях за рахунок удосконалення форми диску і профілю обода колеса” (номер держреєстрації 0106U001395, затверджена постановою Бюро Відділення механіки НАН України на 2006–2008 роки, протокол № 4 від 13.07.05);

- по фундаментальній науково-дослідній темі ІІІ–61–09 “Дослідження випадкових коливань і динамічної взаємодії елементів рухомих складних механічних систем та їх контактної взаємодії з рейковим деформівним підложжям” (номер держреєстрації 0109U000343, затверджена постановою Бюро Відділення механіки НАН України на 2009–2013 роки, протокол № 4 від 03.07.08);

- по прикладній науково-дослідній темі ІІІ–62–09 “Удосконалення конструкції елементів запропонованої ІТМ НАНУ і НКАУ комплексної модернізації типових візків (моделі 18-100) вантажних вагонів з урахуванням їх експлуатації на українських залізницях” (номер держреєстрації 0109U000344,

затверджена постановою Бюро Відділення механіки НАН України на 2009–2011 роки, протокол № 4 від 03.07.08);

– по темі наукових досліджень V–18–06 “Проведення досліджень зносостійкості рейок в кривих ділянках колії та розробка раціонального профілю головок рейок для кривих за рахунок репрофілювання” (номер держреєстрації 0106U006235, договір 3/06-ЦТех-24/06-ЦЮ, 2007 р.).

Мета і задачі дослідження. *Об’єкт дослідження* – процес взаємодії вагона з колією. *Предмет дослідження* – поліпшення ходових якостей вагона, зменшення зносу і контактних напружень в парі “колесо-рейка”.

Мета роботи полягає в поліпшенні взаємодії вантажних вагонів з колією за рахунок застосування додаткових елементів в конструкції трьохелементних візків вагонів та вдосконалення профілів контактних поверхонь коліс та рейок. Для цього поставлено і вирішено наступні *задачі*:

– визначення та аналіз типових профілів зношених коліс і рейок на українських залізницях;

– складення математичної моделі для виконання досліджень взаємодії вантажних вагонів з колією;

– розроблення нового профілю обода коліс для вантажних вагонів з візками, які обладнано ковзунами постійного контакту, що сприятиме покращенню процесів взаємодії рухомого складу та колії;

– вдосконалення форми профілю головки рейок для зовнішніх ниток кривих малого і середнього радіусів з метою поліпшення умов вписування вагонів у криві;

– оцінка впливу на взаємодію вагонів та колії застосування додаткових конструктивних елементів у комплексно модернізованих візках і зміння товщини гребенів коліс.

Методи дослідження. При дослідженні ходових якостей вагона, зносу коліс та рейок використано методи математичного і комп’ютерного моделювання, статистичної динаміки, чисельного інтегрування. Оцінювання напружено-деформованого стану контактної пари “колесо-рейка” виконано за допомогою метода скінченних елементів. За допомогою експериментальних досліджень та методів математичної статистики визначено усереднені форми зношених коліс та рейок на українських залізницях, проведено оцінювання зносу коліс з розробленим профілем ободу в експлуатації.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

а) за результатами експериментальних досліджень визначено усереднені форми зношених в різному ступені головок рейок у зовнішніх нитках кривих малого і середнього радіусів, які можуть бути використані при моделюванні взаємодії вагона з колією;

б) вперше встановлено закономірності зносу головок рейок у зовнішніх нитках кривих малого і середнього радіусів;

в) визначено усереднені форми зношених в різному ступені ободів коліс з різними первинними профілями, які можна застосовувати при математичному моделюванні взаємодії системи “вагон-колія”;

г) вперше встановлено закономірності зносу ободів коліс з різними первинними профілями;

д) удосконалено математичну модель взаємодії системи “вагон-колія”, яка на відміну від існуючих, дозволяє враховувати профілі зношених в різному ступені робочих поверхонь коліс та рейок, можливість конформного контакту пари “колесо-рейка” і застосування діагональних зв’язків у комплексно модернізованих візках.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

а) вдосконалено профіль обода коліс для вантажних вагонів з візками, які обладнано ковзунами постійного контакту, що сприяє поліпшенню процесів взаємодії рухомого складу та колії;

б) виконано вдосконалення профілю головки рейок для зовнішніх ниток кривих малого та середнього радіусу, завдяки чому очікується суттєве покращення умов вписування вагонів у криві;

в) оцінено ефективність зменшення сил взаємодії вантажних вагонів та колії за рахунок застосування діагональних зв’язків у комплексно модернізованих візках та змінення товщини гребенів коліс.

Особистий внесок здобувача. Основні результати та положення, які становлять суть дисертації, отримані автором самостійно. У роботах, підготовлених у співавторстві, автору належить наступне:

– участь у розробці профілю головки рейки, чисельне моделювання взаємодії “колесо-рейка” і виконання аналізу напружено-деформованого стану [1, 10];

– проведення вимірів профілів коліс в експлуатації та визначення їхніх типових форм зносу, аналіз результатів [2];

– підготовка вихідних даних, чисельне моделювання руху вагона, аналіз результатів [4];

– отримання експериментальних даних, розробка нових профілів головок рейок, моделювання взаємодії коліс з рейками, участь в аналізі результатів [5];

– підготовка вихідних даних для розрахунку, моделювання руху вагона з комплексно модернізованими візками, обладнаними діагональними зв’язками між боковими рамами, участь в аналізі результатів [6, 9];

– отримання експериментальних даних щодо стану елементів комплексної модернізації візків вантажних вагонів в експлуатації та при проходженні планових ремонтів, статистична обробка даних, участь в аналізі результатів [11, 13].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідались та обговорювались на:

– Міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології в управлінні складними системами”, Дніпропетровськ, 2008 р. [10, 11];

– XII Міжнародній конференції “Проблеми механіки залізничного транспорту – Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу і енергозбереження”, Дніпропетровськ, 2008 р. [12, 13];

– Міжнародній науковій конференції “Математичні проблеми технічної механіки”, Дніпропетровськ, 2011 р. [8];

– II Міжнародній партнерській конференції “Проблеми рухомого складу: шляхи вирішення через взаємодію державного і приватного секторів”, Ялта, 2011 р. [9];

– наукових семінарах відділу статистичної динаміки механічних систем Інституту технічної механіки НАН України і НКА України, Дніпропетровськ, 2007–2011 рр.;

– спільному науковому семінарі відділу статистичної динаміки механічних систем та відділу динаміки багатовимірних механічних систем Інституту технічної механіки НАН України і НКА України, Дніпропетровськ, 2011 р.;

– засіданні Вченої ради Інституту технічної механіки НАН України і НКА України, Дніпропетровськ, 2011 р.;

– засіданні міжкафедрального наукового семінару кафедр будівельної механіки, вагонів, теоретичної механіки, вищої математики, колії та колійного господарства, проектування, будівництва доріг та геодезії, технології матеріалів та Галузевої науково-дослідної лабораторії динаміки та міцності рухомого складу Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. А. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2012 р.

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 13 наукових праць [1-13], серед яких 7 статей – у наукових фахових виданнях України, та 6 додаткових публікацій – у збірках матеріалів міжнародних конференцій. Без співавторів опубліковано 4 наукові праці [3, 7, 8, 12].

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 159 сторінок, у тому числі 82 рисунка, 6 таблиць, 2 додатки. Основну частину дисертації викладено на 134 сторінках. Список використаних джерел включає 116 найменувань і займає 12 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність теми, формулюються мета і задачі дослідження, вказується на зв'язок дисертації з науково-дослідними роботами Інституту технічної механіки Національної академії наук України і Національного космічного агентства України, де її було виконано, відзначається новизна основних результатів, їх практичне значення та апробація.

У першому розділі наводиться огляд літератури за темою дисертації.

Фундаментальні основи дослідження динаміки рухомого складу були закладені науковими роботами видатних вчених: Ф. Картера, В. Б. Медея, С. М. Куценка, В. А. Лазаряна, М. Ф. Веріго, С. В. Вершинського та інших. Значний внесок у розвиток теорії коливань рухомого складу внесли роботи Г. Шеффеля, Г. П. Бурчака, А. М. Савоськіна, М. М. Соколова, Є. П. Блохіна, В. Ф. Ушкалова, М. Л. Коротенка, В. Д. Дановіча, М. О. Радченка та інших.

Рішенню проблем в області взаємодії коліс та рейок, а також підвищенню ресурсу рухомого складу та колії присвячені дослідження Дж. Калкера, М. А. Фрішмана, О. Я. Когана, С. М. Захарова, У. Дж. Харріса, Х. Турне, В. М. Богданова, Ю. С. Ромена, В. С. Лисюка, О. Л. Голубенка, В. В. Рибкіна,

В. О. Певзнера, Л. Г. Крисанова, М. Б. Кельріха, О. М. Савчука, Ю. П. Бороненка, Ю. В. Дьоміна та інших.

У наукових дослідженнях взаємодії рухомого складу та колії доцільно проводити детальний розгляд профілів пари “колесо-рейка” в зоні контакту. Це пов’язано з досить складною конфігурацією профілів контактних поверхонь колеса і рейки, внаслідок чого при їх взаємних зміщеннях характер взаємодії істотно змінюється.

Одним з найбільш ефективних шляхів поліпшення взаємодії вагонів та колії є застосування раціональних профілів коліс та рейок, що дозволяє знизити сили та напруження у зоні контакту пари “колесо-рейка”. Перспективними є профілі коліс та рейок, що забезпечують конформний контакт, при якому мають місце найбільша площа контакту і найменші контактні напруження в порівнянні з неконформними профілями. Ефективність застосування раціональних профілів коліс в значній мірі залежить від конструкції ходових частин вагона.

У другому розділі визначено форми зношених головок рейок Р65 та ободів коліс з різним первинним профілем. Ці форми були визначені шляхом усереднення численних вимірювань профілів коліс та рейок в експлуатації на різних етапах зносу. Для вимірювань було використано лазерні профілометри.

Було отримано типові форми малозношених (боковий знос 4 мм), середньозношених (боковий знос 8 мм) та сильнозношених (боковий знос 14 мм) головок зовнішніх рейок Р65 для кривих радіусів 300 м і 600 м. При аналізі профілів зношених головок рейок виявлено першу закономірність: форми зношених головок рейок в кривих радіусів 300 м і 600 м у своїй робочій частині не мають істотних відмінностей одна від одної.

У цьому розділі отримано типові форми малозношених (товщина гребеня 31 мм), середньозношених (товщина гребеня 29 мм) і сильнозношених (товщина гребеня 27 мм) ободів коліс з різним первинним профілем. Аналіз форм зношених ободів коліс дозволив встановити другу закономірність: профіль обода колеса в процесі експлуатації набуває природної форми зносу, яка однакова для всіх коліс незалежно від первинного окреслення їх робочих поверхонь. Іншими словами, зі збільшенням зносу профілі коліс різної первинної форми наближаються один до одного (але після суттєво різного пробігу). Так, при товщині гребеня 27 мм стандартний профіль та профіль ІТМ-73 в робочій частині гребеня і галтелі практично не відрізняються один від одного, але пробіг коліс з профілем ІТМ-73 до моменту досягнення такої товщини гребеня буде значно більшим (у 2-3 рази).

Третій розділ присвячено розробці математичної моделі вантажного вагона та колії. Побудовано розрахункову схему “вагон-колія”, яка складається з одинадцяти твердих тіл (кузова, двох надресорних балок, чотирьох бокових рам візків і чотирьох колісних пар), з’єднаних зв’язками. В якості розрахункових збурень для математичної моделі системи “вагон-колія” вибрано процеси, які отримано на основі записів вагона-коліївимірювача.

Диференційні рівняння руху вантажного вагона мають вигляд:

а) для кузова:

$$\begin{aligned}
a_x \ddot{x}_k &= -Q_{xk} - \sum_{i=1}^4 S_{xi}^D + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^2 S_{xij}^{ab}; \\
a_y \ddot{y}_k + a_{y\theta} \ddot{\theta}_k &= -Q_{yk} - \sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^2 S_{yjk}^s; \\
a_z \ddot{z}_k &= -Q_{zk} + mg - \sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^2 S_{zjk}^s; \\
a_\theta \ddot{\theta}_k + a_{y\theta} \ddot{y}_k &= -Q_{\theta k} + \sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^2 [h_c S_{yjk}^s + (-1)^{j+1} M_{kj}^{sb}] + M^0 - \sum_{k=1}^2 M_k^{res}; \\
a_\varphi \ddot{\varphi}_k &= -Q_{\varphi k} + l_c \sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^2 (-1)^{k+1} S_{zjk}^s; \\
a_\psi \ddot{\psi}_k &= -Q_{\psi k} + \sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^2 [l_c (-1)^k S_{yjk}^s + b_{sb} (-1)^j F_{kj}^L] - \sum_{k=1}^2 M_{\psi k},
\end{aligned} \tag{1}$$

де Q_q – узагальнені сили, які дорівнюють сумі узагальнених сил, що не мають потенціалу, і узагальнених сил, які враховують неінерційність введених систем відліку;

a_q – інерційні коефіцієнти;

m – маса кузова;

h_c – вертикальна відстань від центра тяжіння кузова до площини опирання кузова на візки;

$2l_c$ – база вагона;

S_{xij}^{ab} – повздовжня сила в ij -ому буксовому вузлі;

S_{xi}^D – повздовжня складова зусилля в i -ому діагональному зв'язку;

g – прискорення вільного падіння;

S_{zjk}^s та S_{yjk}^s – вертикальне та поперечне горизонтальне зусилля в kj -ому комплекті ресорного підвішування;

M_{kj}^{sb} – момент вертикальної сили, що виникає в kj -ому пружно-дисипативному ковзуні між кузовом і k -ою надресорною балкою;

M^0 та M_k^{res} – перекидальний та відновлювальний момент;

F_{kj}^L – повздовжня сила тертя, яка діє в kj -ому пружнодисипативному ковзуні;

$2b_{sb}$ – відстань у поперечному напрямку між вісями симетрії ковзунів;

$M_{\psi k}$ – момент сухого тертя у площині опирання k -го п'ятника на підп'ятник;

б) для надресорних балок:

$$a_{\theta n\theta} \ddot{\theta}_{n\theta} = -Q_{\theta n\theta} + M_k^{res} + \sum_{j=1}^2 (-1)^j (M_{kj}^{sb} - b_{1t} S_{zjk}^s); \tag{2}$$

$$a_{\psi n\delta} \ddot{\psi}_{n\delta} = -Q_{\psi n\delta} + M_{\psi k} + \sum_{j=1}^2 [b_{sb} (-1)^{j+1} F_{kj}^L - M_{\psi kj}^s] + b_{2t} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 (-1)^j S_{xij}^{ab} - b_D \sum_{i=1}^2 S_{xi}^D,$$

де $M_{\psi kj}^s$ – кутовий момент між k -ою надресорною балкою та kj -ою боковою рамою;

$2b_{1t}$ – відстань у поперечному напрямку між центральними вертикальними вісями ресорних комплектів візка;

$2b_{2t}$ – відстань у поперечному напрямку між центральними вертикальними вісями буксових вузлів;

b_D – відстань у поперечному напрямку між точками закріплення діагональних зв'язків;

в) для бокових рам:

$$\begin{aligned} a_{y\delta} \ddot{y}_{\delta} &= -Q_{y\delta} + S_{ykj}^s - \sum_{i=1}^2 S_{yij}^{ab} + (-1)^j \sum_{i=1}^2 S_{yi}^D; \\ a_{\mathcal{K}\delta} \ddot{z}_{\delta} &= -Q_{\mathcal{K}\delta} + m_{\delta} g + S_{zkj}^s - \sum_{i=1}^2 S_{zij}^{ab}; \\ a_{\phi\delta} \ddot{\phi}_{\delta} &= -Q_{\phi\delta} + l_t \sum_{i=1}^2 (-1)^{i+1} S_{zij}^{ab}; \\ a_{\psi\delta} \ddot{\psi}_{\delta} &= -Q_{\psi\delta} + M_{\psi kj}^s + \sum_{i=1}^2 \left[l_t (-1)^i S_{yij}^{ab} - M_{\psi ij}^{ab} + (-1)^{i+j+1} \frac{a_D}{2} S_{yi}^D \right], \end{aligned} \quad (3)$$

де S_{yij}^{ab} , S_{zij}^{ab} та $M_{\psi ij}^{ab}$ – відповідно поперечне горизонтальне і вертикальне зусилля та кутовий момент в ij -ому буксовому вузлі;

S_{yi}^D – поперечна горизонтальна складова зусилля в i -ому діагональному зв'язку;

$2l_t$ – база візка;

a_D – повздовжня відстань між точками закріплення діагональних зв'язків на боковій рамі;

г) для колісних пар:

$$\begin{aligned} a_{\mathcal{K}kn} \ddot{x}_{kn} &= -Q_{\mathcal{K}kn} + \sum_{j=1}^2 (-S_{xij}^{ab} + T_{xij}^{(1)} + T_{xij}^{(2)}); \\ a_{ykn} \ddot{y}_{kn} &= -Q_{ykn} + \sum_{j=1}^2 (S_{yij}^{ab} - \Delta z'_{kij} S_{zij}^{in} + T_{\alpha ij}^{(1)} \sin \alpha_{ij}^{(1)} + T_{\alpha ij}^{(2)} \sin \alpha_{ij}^{(2)} + S_{yij}^{in}); \\ a_{\psi kn} \ddot{\psi}_{kn} &= -Q_{\psi kn} + \sum_{j=1}^2 [M_{\psi ij}^{ab} + b_{2t} (-1)^{j+1} S_{xij}^{ab} + d (-1)^{j+1} (T_{xij}^{(1)} + T_{xij}^{(2)})], \end{aligned} \quad (4)$$

де $T_{xij}^{(1)}$, $T_{xij}^{(2)}$ та $T_{\alpha ij}^{(1)}$, $T_{\alpha ij}^{(2)}$ – складові сил крипу в першій та другій точках контакту ij -го колеса (якщо контакт одноточковий, тоді $T_{xij}^{(2)} = T_{\alpha ij}^{(2)} = 0$);

S_{zij}^{in} , S_{yij}^{in} – вертикальна та поперечна горизонтальна складова сили взаємодії ij -го колеса та рейки;

$\Delta z'_{ij}$ – похідна вертикального зміщення колеса відносно рейки Δz по їх взаємному зміщенню у горизонтальному поперечному напрямку Δy ;

д) для коліс:

$$a_{zw}\ddot{z}_{w1} + a_{zw1zw2}\ddot{z}_{w2} = -Q_{zw1} + \frac{m_{kn}g}{2} + \frac{1}{2}\left(\frac{b_{2t}}{d} + 1\right)S_{zi1}^{ab} - \frac{1}{2}\left(\frac{b_{2t}}{d} - 1\right)S_{zi2}^{ab} + \\ + \frac{1}{2d} \sum_{j=1}^2 (r_{ij}^{(1)}T_{\alpha ij}^{(1)}\sin\alpha_{ij}^{(1)} + r_{ij}^{(2)}T_{\alpha ij}^{(2)}\sin\alpha_{ij}^{(2)}) + \left(1 + \Delta z'_{i1}\frac{r_a}{2d}\right)S_{zi1}^{in} + \Delta z'_{i2}\frac{r_a}{2d}S_{zi2}^{in}; \quad (5)$$

$$a_{zw}\ddot{z}_{w2} + a_{zw1zw2}\ddot{z}_{w1} = -Q_{zw2} + \frac{m_{kn}g}{2} + \frac{1}{2}\left(\frac{b_{2t}}{d} + 1\right)S_{zi2}^{ab} - \frac{1}{2}\left(\frac{b_{2t}}{d} - 1\right)S_{zi1}^{ab} - \\ - \frac{1}{2d} \sum_{j=1}^2 (r_{ij}^{(1)}T_{\alpha ij}^{(1)}\sin\alpha_{ij}^{(1)} + r_{ij}^{(2)}T_{\alpha ij}^{(2)}\sin\alpha_{ij}^{(2)}) + \left(1 - \Delta z'_{i2}\frac{r_a}{2d}\right)S_{zi2}^{in} - \Delta z'_{i1}\frac{r_a}{2d}S_{zi1}^{in},$$

де $r_{ij}^{(1)}$ та $r_{ij}^{(2)}$ – радіуси поточних кіл кочення ij -го колеса, які відповідають першій та другій точкам контакту;

r_a – радіус кола кочення колеса;

$2d$ – відстань між колами кочення колісної пари;

е) для рейок:

$$a_{yr}\ddot{y}_{rij} = -S_{yij}^{in*} + \Delta z'_{ij}S_{zij}^{in} - (T_{\alpha ij}^{(1)}\sin\alpha_{ij}^{(1)} + T_{\alpha ij}^{(2)}\sin\alpha_{ij}^{(2)}); \quad (6)$$

$$a_{zr}\ddot{z}_{rij} = -S_{zij}^{in*} + \frac{(-1)^j}{2d}(r_{ij}^{(1)}T_{\alpha ij}^{(1)}\sin\alpha_{ij}^{(1)} + r_{ij}^{(2)}T_{\alpha ij}^{(2)}\sin\alpha_{ij}^{(2)}),$$

де S_{yij}^{in*} , S_{zij}^{in*} – поперечна горизонтальна і вертикальна пружно-дисипативна складова сили взаємодії ij -го колеса та рейки.

Особливістю запропонованою моделі є можливість застосування різноманітних профілів робочих поверхонь коліс та рейок з різною мірою зносу. Вона дозволяє також враховувати конформний контакт пари “колесо-рейка”, додаткові зв’язки в елементах візків (у тому числі діагональні зв’язки між боковими рамами) та бокові ковзуни постійного контакту.

У четвертому розділі запропоновано вдосконалений профіль обода залізничного колеса ІТМ-73К для вантажних вагонів, обладнаних візками з ковзунами постійного контакту.

Вже більше 10 років в Україні проводиться комплексна модернізація візків вантажних вагонів, запропонована ІТМ НАНУ і НКАУ. Одним з найважливіших елементів цієї модернізації є застосування нелінійного зносостійкого профілю обода колеса ІТМ-73, що дозволило знизити знос гребенів коліс більш ніж у 2 рази. При цьому використання інших елементів комплексної модернізації дозволяє зберігати стабільність динамічних якостей вагона при різному ступені зносу коліс.

Проведені в експлуатації виміри гребенів коліс зі стандартним профілем (візки 18-100) та ІТМ-73 (візки 18-7020) вказують на суттєве зниження інтенсивності зносу гребеня зі зменшенням його товщини та з наближенням форми обода колеса до форми природного зносу.

За основу нового профілю колеса ІТМ-73К обрано форму, яка при взаємодії колеса з головою рейки забезпечує контакт, близький до конформного. Первинну товщину гребеня вибрано 29 мм. При цій товщині спостерігається суттєве зниження інтенсивності зносу гребеня.

За результатами розрахунків оцінено динамічні якості піввагона. Залежності максимальних значень рамних сил в долях осевого навантаження (H_p/P_o) порожнього піввагона з різними профілями коліс від швидкості руху V приведено на рис. 1.

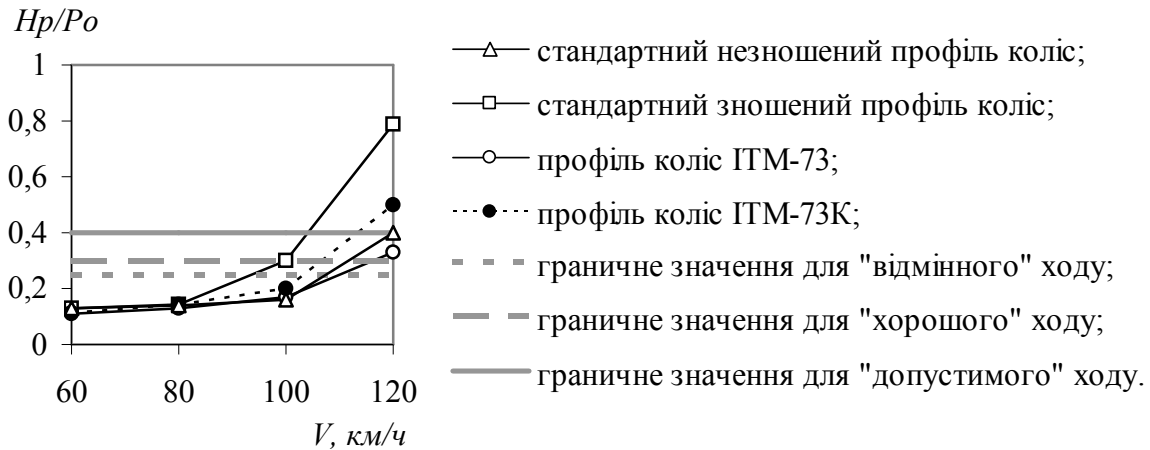


Рис. 1. Залежність рамних сил (в долях осевого навантаження) від швидкості руху порожнього піввагона, обладнаного колесами з різними профілями ободів

Встановлено, що застосування в комплексно модернізованих візках коліс з розробленим профілем обода ІТМ-73К не призводить до значного погіршення динамічних якостей вагона (в порівнянні з профілем ІТМ-73) і дозволяє експлуатувати вагони при швидкостях до 110 км/год.

Аналізувалися також значення показника зносу A коліс різного профілю в зоні галтелі та гребеня в залежності від ступеня зношеності головки зовнішньої рейки при русі навантаженого піввагона в кривій радіуса 300 м (рис. 2).

Величина показника зносу $A^{(1)}$, визначалась як віднесена до пройденого шляху робота сил крипу, тобто це питома робота дотичних сил взаємодії колеса з рейкою:

$$B = S^{-1} \int_0^S \left(\left| T_x(l) \cdot e_x(l) \right| + \left| T_{\theta}(l) \cdot e_{\theta}(l) \right| \right) dl, \quad (7)$$

де T_x, T_{θ} — складові сили крипу в точці контакту, кН;

e_x, e_{θ} — складові крипу в точці контакту, м;

S — пройдений вагоном шлях, м.

Встановлено, що колеса з профілем обода ІТМ-73К не мають інтенсивного зносу в зоні галтель-гребень, особливо при зношеній головці рейки.

¹⁾ Ushkalov V. F. Wheelset and Rail Wear on Ukrainian Railways / V. F. Ushkalov // Proceedings of the 2nd Mini Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail Wheel Systems. — Budapest, Hungary, 29 – 31 July, 1996. — P. 250 – 258.

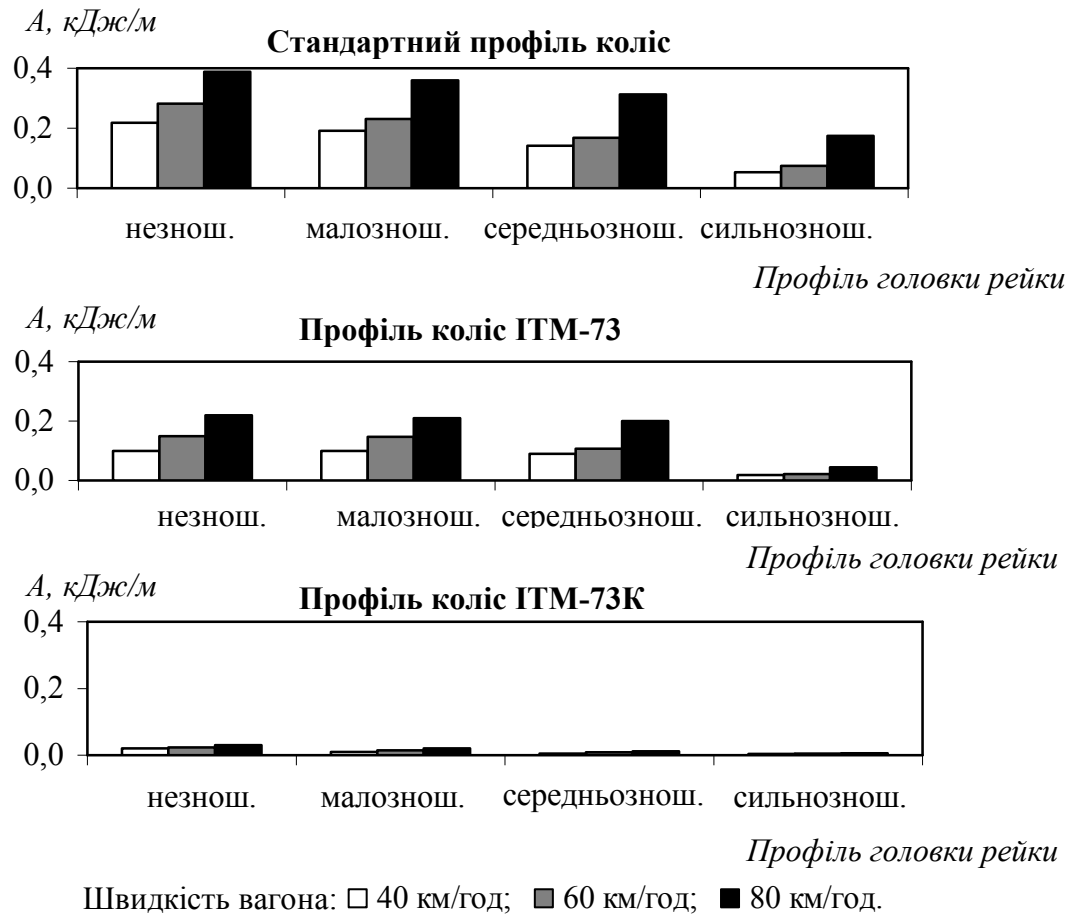


Рис. 2. Залежність роботи сил тертя в зоні галтель-гребень коліс з різним профілем від зносу головки рейки

Додаткову інформацію про контактну взаємодію коліс та рейок можна отримати з аналізу епюр напружень відповідних контактних пар. Контактні напруження (рис. 3) обчислювалися за критерієм Мізеса (критерієм енергії формозмінювання). Еквівалентна напруга $\sigma_{\text{екв}}$ розраховується за формулою:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}, \quad (8)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні напруження.

З рис. 3 видно, що при взаємодії колеса, яке має профіль обода ITM-73K, і зношеної рейки Р65 розподілення контактних напружень в парі “колесо-рейка” більш рівномірне, ніж при використанні профілю ITM-73.

Таким чином, застосування нового профілю ITM-73K у вантажних вагонах, обладнаних візками з ковзунами постійного контакту, дозволить суттєво зменшити знос коліс в зоні гребеня та галтелі, забезпечити більш рівномірне розподілення контактних напружень у парі “колесо-рейка” і тим самим поліпшити взаємодію вагонів та колії. При цьому дозволяється рух вантажних вагонів зі швидкостями до 110 км/год.

Оцінка результатів експлуатаційних випробувань вагонів підтверджує значне зниження інтенсивності зносу коліс з вдосконаленим профілем обода ITM-73K. Розрахунковий економічний ефект від зменшення зносу коліс при

використанні нового профілю обода ІТМ-73К замість профілю ІТМ-73 в комплексно модернізованих візках за весь термін служби одного вагона складе 37,6 тис. грн., а при проведенні комплексної модернізації серійних візків із застосуванням профілю обода ІТМ-73К ефект дорівнюватиме 67,7 тис. грн.

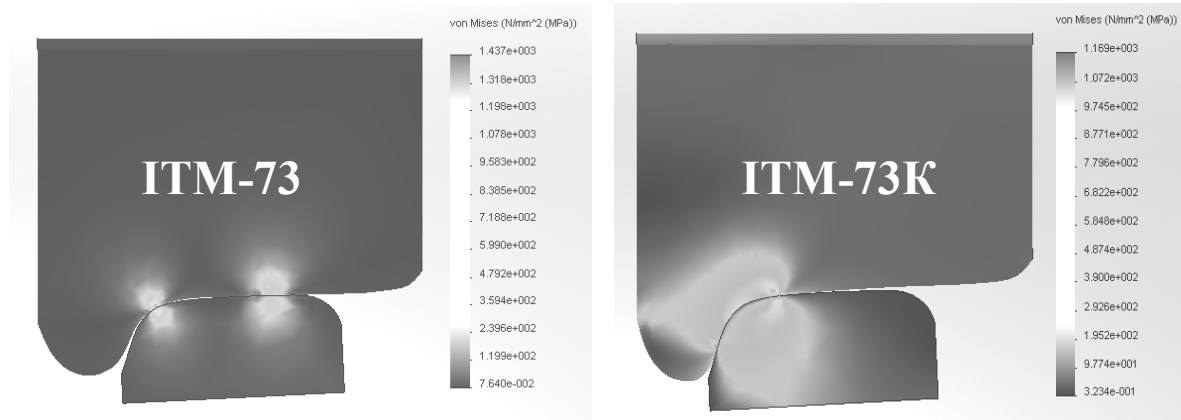


Рис. 3. Епюри напружень контактної пари “колесо-зношена рейка Р65”

У п'ятому розділі за участю здобувача розроблено декілька профілів головки рейки з метою поліпшення умов вписування вагонів у криволінійні ділянки залізничної колії.

Рейки Р65, які масово застосовуються в країнах СНД, добре працюють у прямолінійних ділянках колії, але в зовнішніх нитках кривих малого і середнього радіусів вони схильні до інтенсивного бокового зносу. При розробці нових форм профілю головки рейки для зовнішніх ниток кривих основною вимогою було зниження бокового зносу головки рейки. Це може бути досягнуто забезпеченням двоточкового контакту між колесом і рейкою. Одна з точок контакту колеса з рейкою має бути розташована в центральній частині головки, а друга – знаходитися в зоні його робочої викружки і контактувати з галтеллю колеса. За цим принципом запропоновано ряд профілів головки рейки (І37, І41, І38, І42), які мають площинку з нахилом 2,7 - 4,1° на робочій поверхні. Профілі І37, І41 можна виготовити шліфуванням або фрезеруванням незношених рейок Р65, а профілі І38, І42 – малозношених рейок. Також запропоновано профілі, які можуть бути отримані при вальцюванні (асиметричний профіль І23 та конформний К13).

Виконано розрахунок стійкості порожнього та навантаженого піввагона, який має серійні візки моделі 18-100, при русі зі швидкістю 60 км/год в кривій радіуса 300 м. Встановлено, що коефіцієнт запасу стійкості K_{cm} колісної пари від сходу з рейок при використанні запропонованих профілів головки рейки значно перевищує мінімально допустимий рівень ($[K_{cm}] = 1,3$). При розрахунках коефіцієнту K_{cm} кут нахилу твірної конусоподібної поверхні гребеня колеса з горизонталлю приймався 60° для незношених коліс та 69° для зношених коліс з первинним стандартним профілем.

Виконано також оцінку інтенсивності бокового зносу рейок з різними профілями головок при вписуванні навантаженого піввагона в криву малого радіуса. Визначені в результаті розрахунків значення показника бокового зносу

(A_6) головки рейки, який характеризує питому роботу сил тертя в цій зоні, показано на рис. 4.

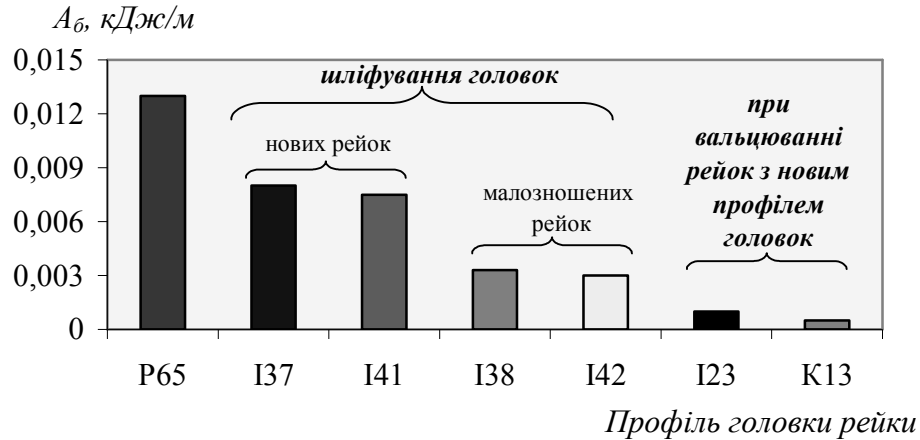


Рис. 4. Залежність показника зносу в зоні контакту з гребенем зношеного колеса від профілів головок рейок

З діаграм, наведених на рис. 4, видно, що використання в кривих малого радіуса зовнішніх рейок з профілями головок I37, I41, I38, I42, I23 і K13 дозволить в різній мірі зменшити знос бокової грані робочої поверхні головки рейки при контакті зі зношеними колесами, частка яких в експлуатації значно більше, ніж нових. Найменші показники бокового зносу мають рейки з профілями головок I23 і K13.

На рис. 5, 6 показано результати розрахунку еквівалентних напружень (за критерієм Мізеса) при взаємодії зношеного колеса і рейок з різними профілями головки.

Як видно з цих рисунків, застосування рейок з розробленими профілями головки I37, I41, I38, I42, I23 сприяє зниженню інтенсивності контакту в зоні бокового зносу рейки при взаємодії зі зношеним стандартним колесом. При цьому, на відміну від серійного профілю P65, найбільші контактні напруження зосереджені в середній частині головки рейки і в деякій мірі в зоні його бокового закруглення (викружки). При використанні рейок з профілем головки K13 контактні напруження рівномірно розподілені по всій поверхні контакту зношеного колеса з головкою рейки. Отже, застосування рейок з розробленими профілями головки замість серійної рейки P65 дозволяє зменшити інтенсивність бокового зносу рейок в кривих і тим самим поліпшити умови взаємодії вантажних вагонів та колії у криволінійних ділянках.

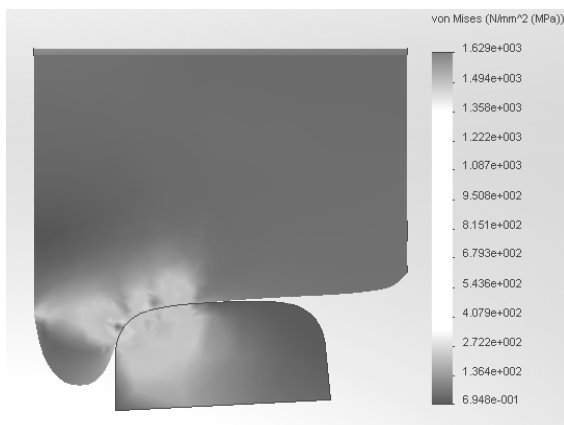


Рис. 5. Епюри контактних напружень при взаємодії зношеного колеса та рейки з профілем головки P65

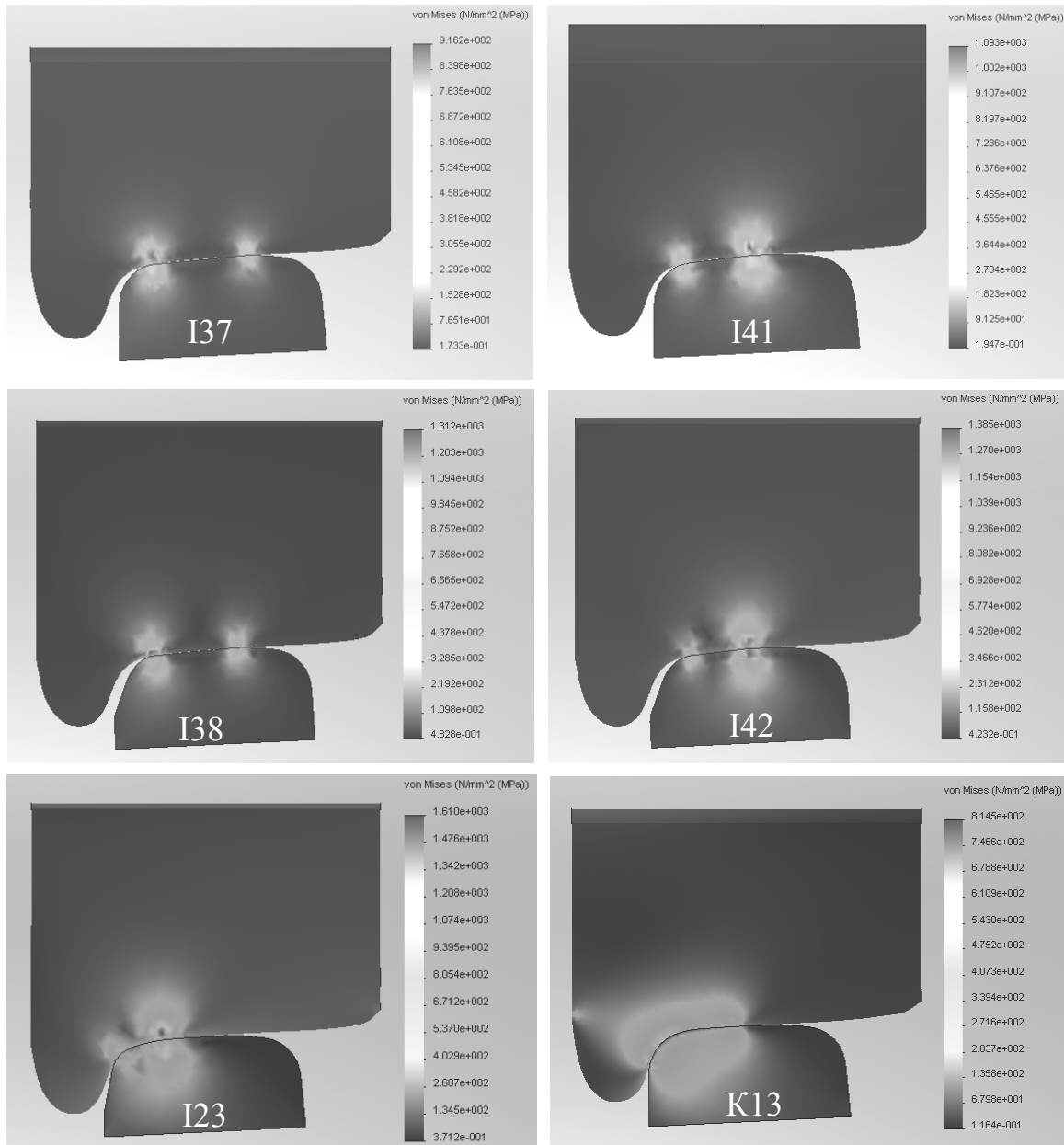


Рис. 6. Епюри контактних напружень при взаємодії зношеного колеса та рейок з розробленими профілями головки

Шостий розділ присвячено аналізу перспектив поліпшення умов взаємодії системи “вагон-колія” за рахунок застосування діагональних зв’язків у комплексно модернізованих візках вантажних вагонів.

Застосування діагональних зв’язків між боковими рамами (рис. 7) візків вантажних вагонів є одним з перспективних напрямів покращення динамічних якостей вагонів. Ці зв’язки сприяють зменшенню кута набігання коліс на рейки і зниженню рівня сил взаємодії в контактній парі “колесо-рейка”. У цьому розділі проведено також оцінювання впливу товщини гребеня незношених і зношених коліс на їх знос та динамічні якості вагона. Розглядалися колеса, що мають профіль ITM-73 з товщиною гребенів 33, 31, 29 і 27 мм.

На рис. 8 представлено залежності розрахункових максимальних значень рамних сил в долях осевого навантаження (H_p/P_o) від товщини гребенів незношених (рис. 8, а) та зношених (рис. 8, б) коліс при русі порожнього

піввагона, обладнаного комплексно модернізованими візками з діагональними зв'язками між боковими рамами і без них.

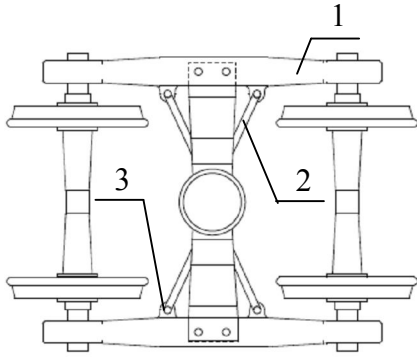
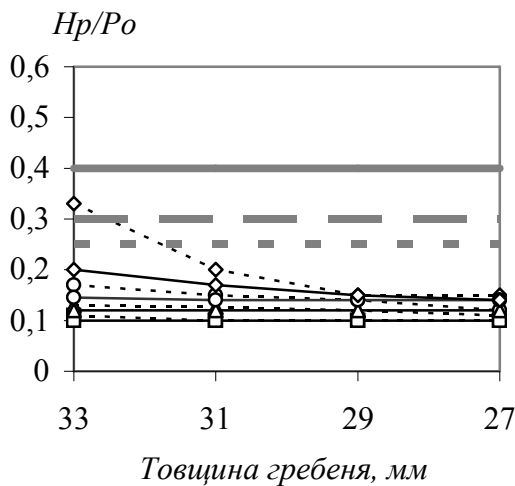
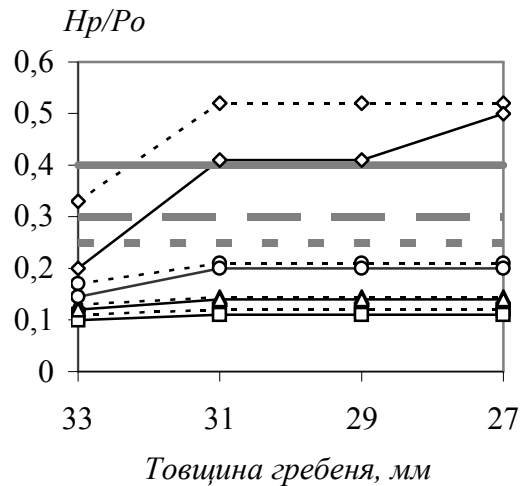


Рис. 7. Схема трьохелементного візка з діагональними зв'язками між боковими рамами:
1 - бокова рама візка;
2 - діагональний зв'язок;
3 - кронштейн.



а)



б)

- 60 км/год без діагональних зв'язків;
- △-- 80 км/год без діагональних зв'язків;
- 100 км/год без діагональних зв'язків;
- ◇-- 120 км/год без діагональних зв'язків;
- 60 км/год з діагональними зв'язками;
- △— 80 км/год з діагональними зв'язками;
- 100 км/год з діагональними зв'язками;
- ◇— 120 км/год з діагональними зв'язками;

- граничне значення для "відмінного" ходу;
- - - граничне значення для "хорошого" ходу;
- граничне значення для "допустимого" ходу.

Рис. 8. Залежності рамних сил (в долях осьового навантаження) від товщини гребенів незношених та зношених коліс при різних швидкостях руху порожнього піввагона

З графіків, наведених на рис. 8, видно, що введення у візки діагональних зв'язків між боковими рамами приводить до поліпшення динамічних показників коливань вагона в горизонтальній площині; зменшення первинної товщини гребеня незношених коліс з профілем обода ІТМ-73 поліпшує горизонтальні показники вагона з комплексно модернізованими візками, при зменшенні товщини гребеня коліс внаслідок зносу горизонтальні динамічні показники вагона погіршуються.

Розрахунки коефіцієнту запасу стійкості K_{cm} колісної пари від сходу з рейок показали, що при застосуванні діагональних зв'язків між боковими рамами та при зменшенні первинної товщини гребенів коліс з профілем ІТМ-73 стійкість вагона збільшується, особливо в криволінійних ділянках колії.

На рис. 9 показано залежність від первинної товщини гребеня показника зносу галтелі (питома робота сил тертя) $A_{галтель}$ для незношених коліс при різній швидкості руху в кривій екіпажа з модернізованими візками без діагональних зв'язків (рис. 9, а) і при їх наявності (рис. 9, б). Залежність показника зносу гребеня $A_{гребінь}$ від його товщини при зношених колесах приведено на рис. 10.

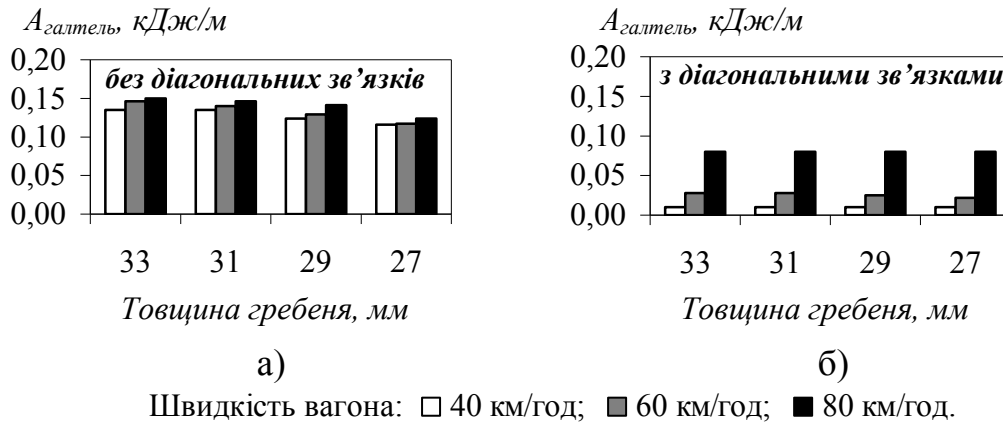


Рис. 9. Залежності показника зносу незношених коліс від товщини їх гребенів при різних швидкостях руху навантаженого піввагона в кривій

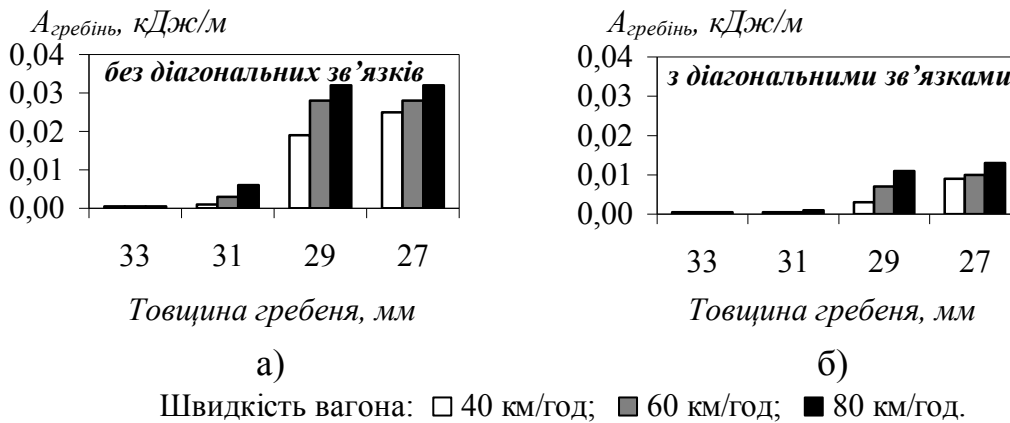


Рис. 10. Залежності показника зносу зношених коліс від товщини їх гребенів при різних швидкостях руху навантаженого піввагона в кривій

Встановлено, що при наявності діагональних зв'язків показник зносу значно нижчий і не змінюється в залежності від товщини гребенів незношених коліс. Зі зменшенням первинної товщини гребенів незношених коліс від 33 мм до 27 мм показник їх зносу дещо знижується для візків без діагональних зв'язків. При зменшенні товщини гребенів внаслідок зносу робота сил тертя на робочій поверхні гребеня дещо зростає незалежно від наявності діагональних зв'язків. Це пояснюється змінюванням форми поверхні кочення по мірі зношування колеса.

ВИСНОВКИ

У дисертації виконано роботу щодо вирішення актуальної науково-практичної задачі поліпшення взаємодії вантажних вагонів та колії за рахунок вдосконалення візків і профілів пари “колесо-рейка”. Основні наукові результати дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. У результаті виконаних лазерним профілометром вимірювань на ділянках колії Придніпровської та Львівської залізниць визначено типові профілі зношених в різному ступені головок зовнішніх рейок Р65, які укладені в кривих радіусами 300 м і 600 м. Вперше встановлено закономірність: форми зношених головок рейок в кривих радіусів 300 м і 600 м у своїй робочій частині практично не відрізняються одна від одної. За допомогою лазерного профілометра визначено типові форми малозношених, середньозношених та сильнозношених ободів коліс з різним первинним профілем. Аналіз цих профілів показав, що по мірі зносу колеса профіль обода істотно змінюється по всій зоні контакту з рейкою. Виконані дослідження дозволили встановити закономірність в зносі коліс: зі збільшенням зносу коліс профілі різної первинної форми наближаються один до одного, але після суттєво різного пробігу. Отримані типові форми зношених коліс і рейок можуть бути використані при підготовці даних для чисельного вирішення задач динаміки залізничних екіпажів.

2. Побудовано просторову розрахункову схему системи “вагон-колія”, що складається з одинадцяти твердих тіл (кузова, двох надресорних балок, чотирьох бокових рам візків і чотирьох колісних пар) і має 62 ступеня свободи. Для цієї розрахункової схеми складено відповідні диференціальні рівняння руху вантажного вагону по колії з різними нерівностями. В якості розрахункових збурень для математичної моделі системи “вагон-колія” вибрано процеси, які отримано на основі записів вагона-колієвимірювача. Запропонована математична модель має наступні особливості: можливість застосування різних профілів робочих поверхонь коліс та рейок з різною мірою зносу; моделювання конформного контакту пари “колесо-рейка”; можливість моделювання додаткових зв’язків між боковими рамами візків (діагональних зв’язків) і бокових ковзунів постійного контакту.

3. Розроблено новий зносостійкий профіль обода колеса ІТМ-73К для вантажних вагонів, обладнаних візками з ковзунами постійного контакту. Показано, що застосування розробленого профілю дозволить суттєво поліпшити взаємодію вагонів з колією за рахунок значного зменшення зносу коліс у зоні гребеня та галтелі, а також поліпшення розподілення контактних напружень у парі “колесо-рейка”. При цьому дозволяється рух вантажних вагонів зі швидкостями до 110 км/год. Оцінка результатів експлуатаційних випробувань вагонів підтверджує значне зниження інтенсивності зносу коліс з вдосконаленим профілем обода ІТМ-73К. Розрахунковий економічний ефект від зменшення зносу коліс при використанні профілю обода ІТМ-73К замість профілю ІТМ-73 в комплексно модернізованих візках за весь термін служби одного вагона складе 37,6 тис. грн., а при проведенні комплексної модернізації серійних візків із застосуванням профілю обода ІТМ-73К економічний ефект дорівнюватиме 67,7 тис. грн.

4. Виконано дослідження щодо вдосконалення форми профілю головки рейок для зовнішніх ниток кривих малого і середнього радіусів з метою поліпшення умов вписування вагонів у криві. Встановлено, що використання рейок з розробленими профілями головки І37, І41, І38, І42, І23 і К13 замість

серійного профілю Р65 дозволяє в різній мірі знизити інтенсивність бокового зносу рейок у зовнішніх нитках кривих, тим самим поліпшити умови взаємодії вагонів та колії у криволінійних ділянках. Забезпечується також достатня стійкість колісної пари від сходу з рейки. За результатами розрахунків встановлено, що застосування запропонованих профілів головок рейок суттєво покращує напружено-деформований стан контактної пари “колесо-рейка” при взаємодії зі зношеними колесами. Найбільший ефект по зниженню бокового зносу рейки і зменшенню контактних напружень на її боковій грані можливо отримати за рахунок застосування рейок з профілями И23 і К13.

5. Проведено оцінювання ефективності поліпшення умов взаємодії системи “вагон-колія” за рахунок застосування діагональних зв’язків у комплексно модернізованих візках та змінення товщини гребенів коліс. Виявлено, що встановлення у комплексно модернізовані візки діагональних зв’язків між боковими рамами приводить до підвищення стійкості колісної пари проти сходу з рейок, особливо в криволінійних ділянках колії, а також до деякого поліпшення динамічних показників коливань вагона в горизонтальній площині, що, у свою чергу, сприяє поліпшенню умов динамічної взаємодії вагона та колії. Встановлено також, що зменшення первинної товщини гребенів незношених коліс з профілем ITM-73 поліпшує динамічні показники вагона у горизонтальній площині, крім того, зменшується знос коліс при русі в кривих. При зменшенні товщини гребенів коліс внаслідок зносу горизонтальні динамічні показники вагона погіршуються.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Ушкалов В. Ф. Разработка рационального профиля головки рельса с несимметричной поверхностью катания / В. Ф. Ушкалов, И. А. Серебряный, И. В. Подбельников // Техническая механика. – 2008. – № 1. – С. 31 – 37.
2. Ушкалов В. Ф. Типовые формы изношенных профилей колес / В. Ф. Ушкалов, И. В. Подбельников // Техническая механика. – 2009. – № 1. – С. 50 – 55.
3. Подбельников И. В. Определение типовых форм изношенных профилей головок рельсов в криволинейных участках пути / И. В. Подбельников // Техническая механика. – 2009. – № 3. – С. 39 – 43.
4. Ушкалов В. Ф. Влияние толщины гребня колес на их износ и динамические качества грузового вагона с модернизированными тележками, оборудованными диагональными связями между боковыми рамами / В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрий, И. Ю. Малишева, И. В. Подбельников // Техническая механика. – 2010. – № 3. – С. 8 – 13.
5. Ушкалов В. Ф. О способах уменьшения износа колес и рельсов / В. Ф. Ушкалов, С. С. Пасичник, И. В. Подбельников // Залізничний транспорт України. – 2010. – № 5. – С. 47 – 49.
6. Ушкалов В. Ф. О совершенствовании комплексной модернизации тележек грузовых вагонов / В. Ф. Ушкалов, С. С. Пасичник, И. В. Подбельников // Вагонный парк. – 2011. – № 12. – С. 8 – 11.

7. Подбельников И. В. Усовершенствование профиля обода железнодорожного колеса / И. В. Подбельников // Техническая механика. - 2012. - № 1. - С. 15 - 22.

Додаткові праці:

8. Подбельников И. В. Исследование колебаний грузового вагона, оборудованного тележками с диагональными связями между боковыми рамами / И. В. Подбельников // Материалы международной научной конференции “Математичні проблеми технічної механіки – 2011”. – Днепропетровск. – 2011. – С. 207 – 209.

9. Ушкалов В. Ф. О путях дальнейшего совершенствования тележек грузовых вагонов / В. Ф. Ушкалов, С. С. Пасичник, И. В. Подбельников // Вторая международная партнерская конференция “Проблемы подвижного состава: пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов”. – Ялта. – 2011. – С. 30.

10. Ушкалов В. Ф. Моделирование взаимодействия вагонных колес с рельсом при изменении профиля его головки / В. Ф. Ушкалов, И. А. Серебряный, И. В. Подбельников // Материалы международной научно-практической конференции “Информационные технологии в управлении сложными системами”. – Днепропетровск. – 2008. – С. 180.

11. Пасичник С. С. Оценка состояния грузовых вагонов с комплексно модернизированными тележками и учет его при моделировании движения таких вагонов / С. С. Пасичник, И. В. Подбельников, И. В. Рухлов // Материалы международной научно-практической конференции “Информационные технологии в управлении сложными системами”. – Днепропетровск. – 2008. – С. 180.

12. Подбельников И. В. Влияние изменения профиля головки рельса на его взаимодействие с вагонными колесами / И. В. Подбельников // Материалы XII международной конференции “Проблемы механики железнодорожного транспорта – Безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава и энергосбережение”. – Днепропетровск. – 2008. – С. 162.

13. Пасичник С. С. Особенности эксплуатации и ремонта комплексно модернизированных тележек грузовых вагонов / С. С. Пасичник, И. В. Подбельников, И. В. Рухлов // Материалы XII международной конференции “Проблемы механики железнодорожного транспорта – Безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава и энергосбережение”. – Днепропетровск. – 2008. – С. 122.

АНОТАЦІЇ

Под’єльніков І. В. Поліпшення взаємодії вантажних вагонів та колії за рахунок вдосконалення візків і профілів пари “колесо-рейка”. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.22.07 – рухомий склад залізниць і тяга поїздів. – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2012.

Дисертацію присвячено поліпшенню умов взаємодії системи “вагон-колія” за рахунок вдосконалення профілів контактних поверхонь коліс та рейок, а також застосування у комплексно модернізованих візках вантажних вагонів діагональних зв’язків між боковими рамами.

У дисертації визначено усереднені форми головок рейок з різною мірою зносу в зовнішніх нитках кривих малого і середнього радіусів. Встановлено, що форми зносу головок рейок в кривих малого і середнього радіусів у своїй робочій зоні практично не відрізняються одна від одної. Отримано також усереднені форми зношених в різному ступені ободів коліс з різними первинними профілями. Виявлено, що форми ободів коліс, первинний профіль яких до початку експлуатації був різним, по мірі зносу наближаються до однієї і тієї ж форми (але після суттєво різних пробігів).

Розроблено вдосконалений профіль ободів коліс для вантажних вагонів, обладнаних візками з боковими ковзунами постійного контакту, що дозволяє істотно зменшити знос коліс та поліпшити напружено-деформований стан у парі “колесо-рейка”, тим самим поліпшити взаємодію вагонів і колії.

Розроблено нові профілі головок рейок для зовнішніх ниток кривих малого і середнього радіусів, що дозволяють понизити боковий знос рейок та поліпшити умови вписування вагонів у криві.

Встановлено, що застосування у комплексно модернізованих візках діагональних зв’язків між боковими рамами приводить до деякого поліпшення динамічних показників коливань вагона у горизонтальному напрямку і до значного зниження зносу коліс в кривих, тим самим сприяє поліпшенню умов взаємодії вантажних вагонів і колії.

Ключові слова: взаємодія вагонів та колії, знос і контактні напруження в парі “колесо-рейка”, форми зносу, удосконалені профілі, конформний контакт, комплексна модернізація візків, діагональні зв’язки.

Подбельников И. В. Улучшение взаимодействия грузовых вагонов и пути за счет усовершенствования тележек и профилей пары “колесо-рельс”. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов. – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2012.

Диссертация посвящена улучшению условий взаимодействия системы “вагон-путь” за счет усовершенствования профилей контактных поверхностей колес и рельсов, а также применения в комплексно модернизированных тележках грузовых вагонов диагональных связей между боковыми рамами.

На железных дорогах Украины и других стран СНГ актуальной является проблема улучшения взаимодействия грузовых вагонов и пути, в том числе за счет уменьшения износа гребней колес грузовых вагонов и боковых поверхностей головок рельсов в наружных нитях кривых малого и среднего радиуса. Одним из эффективных путей уменьшения износа колес и рельсов является усовершенствование профилей их контактных поверхностей.

Наиболее перспективными являются профили колес и рельсов, обеспечивающие конформный контакт, при котором имеют место наибольшая площадка контакта и наименьшие контактные напряжения по сравнению с неконформными профилями.

Взаимодействие вагонов и пути зависит от ходовых частей вагонов. Применение комплексной модернизации тележек позволяет существенно снизить износ гребней колес и улучшить динамические качества грузовых вагонов. Одним из перспективных путей дальнейшего улучшения динамических качеств грузовых вагонов является установка диагональных связей между боковыми рамами тележки, благодаря чему уменьшается забегание боковин.

В диссертации определены усредненные формы головок рельсов с различной степенью износа в наружных нитях кривых различных радиусов. Установлено, что формы износа головок рельсов в кривых малого и среднего радиусов в своей рабочей зоне практически не отличаются друг от друга. Получены также усредненные формы изношенных в различной степени ободьев колес с разными первоначальными профилями. Обнаружено, что, формы ободьев колес, исходный профиль которых до начала эксплуатации был различным, по мере износа стремятся принять одно и то же очертание (но после существенно разных пробегов).

Разработан усовершенствованный профиль ободьев колес для грузовых вагонов, оборудованных тележками с боковыми скользунками постоянного контакта, позволяющий существенно уменьшить износ колес и улучшить напряженно-деформированное состояние в паре “колесо-рельс”, тем самым улучшить взаимодействие вагонов и пути.

Разработаны новые профили головок рельсов для наружных нитей кривых малого и среднего радиусов, позволяющие снизить боковой износ рельсов и улучшить условия вписывания вагонов в кривые.

Проведена оценка эффективности применения диагональных связей в комплексно модернизированных тележках и уменьшения толщины гребней колес. Установлено, что уменьшение первоначальной толщины гребней неизношенных колес улучшает горизонтальные динамические показатели вагона, а также снижает износ колес при движении вагона в кривых. При уменьшении толщины гребня колес вследствие износа горизонтальные динамические показатели вагона ухудшаются. Введение в комплексно модернизированную тележку диагональных связей между боковыми рамами приводит к некоторому улучшению динамических показателей колебаний вагона в горизонтальном направлении и к значительному снижению износа колес в кривых, тем самым способствует улучшению условий взаимодействия грузовых вагонов и пути.

Использование полученных в диссертации результатов и закономерностей позволит улучшить взаимодействие грузовых вагонов и пути на железных дорогах колеи 1520 мм.

Ключевые слова: взаимодействие вагонов и пути, износ и контактные напряжения в паре “колесо-рельс”, формы износа, усовершенствованные

профили, конформный контакт, комплексная модернизация тележек, диагональные связи.

Podjelnikov I. V. Improvement of freight cars and track interaction by the perfection of trucks and profiles of pair “wheel-rail”. – Manuscript.

The thesis for a candidate degree of technical sciences by specialty 05.22.07 – rolling stock of railways and traction of trains. – Dniepropetrovsk national railway transport university named after academician V. Lazaryan, Dniepropetrovsk, 2012.

The thesis is devoted to improvement of interaction terms of the system “car-track” by the perfection of profiles of wheels and rails contact surfaces and by application of diagonal braces between side frames in the complex modernized freight car trucks.

The averaged forms of rail heads with various wear rates of the outer rails in sharp and middle curves are determined in the thesis. It is searched out that the modes of rail head wear in the working zone practically do not differ from each other in sharp and middle curves. The averaged forms of wheel treads with various wear rates and different original profiles are also determined. It is educed that the forms of wheels treads, which had different original profiles before the operation, approach to the same shape as they wear (but after substantially different runs).

The improved profile of wheels treads for the freight cars, equipped by trucks with lateral bearings of permanent contact, which make its possible to substantially decrease the wear of wheels, improvement of tensely-deformed state in a pair “wheel-rail”, to improve interaction of car and track is developed.

The new profiles of rail head for the outer rails of sharp and middle curves are developed for the purpose of reducing the lateral wear of rails and improve the terms of inscribing of cars in curves.

It is determinate that the use of diagonal braces between side frames in the complex modernized trucks results in some improvement of dynamic indexes of vibrations of car in horizontal direction and to the considerable decreasing of wear of wheels in curves, assists the same to the improvement of terms of interaction of freight cars and track.

Key words: cars and track interaction, wear and contact stresses in a “wheel-rail” pair, wear modes, improved profiles, conformal contact, complex modernization of trucks, diagonal braces.

Под'єльніков Ігор Валерійович

ПОЛІПШЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ТА
КОЛІЇ ЗА РАХУНОК ВДОСКОНАЛЕННЯ ВІЗКІВ
І ПРОФІЛІВ ПАРИ “КОЛЕСО-РЕЙКА”

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку 24.09.2012 р. Формат 60×84 1/16.

Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,0.

Тираж 100 прим. Зам. №1379

Видавництво Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до держ. реєстру видавців, вигот. видавн. продукції
Серія ДК №1315 від 31.03.03

49010, Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2
www.diitrvv.dp.ua