

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ КУЗОВОМ І ВІЗКОМ НА ДИНАМІКУ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА

Мямлін С. В., проректор з наукової роботи, д. т. н., професор,
Недужа Л. О., к. т. н., доцент,
Швець А. О., науковий співробітник,
кафедра «Будівельна механіка»,
Дузик В. М., аспірант,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Досліджено вплив тертя між кузовом та візком вагона на його динамічну завантаженість з використанням нових підходів до вирішення задачі прогнозування динаміки рухомого складу на значно оновленому теоретичному матеріалі, який охоплює всю історію розвитку теорії тертя й уключає результати новітніх експериментальних досліджень з урахуванням швидкості руху на прямих та кривих малого та середнього радіуса ділянках колії. Отримано залежності основних динамічних показників чотиривісного вантажного піввагона від значення коефіцієнта тертя в системі «кузов — візок» з урахуванням швидкості руху.

Розвиток залізничного транспорту України має суттєвий вплив на соціально-економічне життя нашої держави. За допомогою залізниць здійснюється значний обсяг перевізної роботи (питома вага в загальному вантажообігу складає більше 85% — українські залізниці займають четверте місце в Євразії та шосте в світі за обсягами перевезених вантажів); на залізничному транспорті працює 2% всього працездатного населення держави [1]. Це підтверджує, що транспортна галузь повинна рухатися в напрямку інноваційних змін, підвищувати своє значення як важливої транзитної підсистеми на шляху оновлення не тільки інфраструктури, але й стратегії всіх складових перевізного процесу, у т. ч. й при роботі у взаємозв'язку з іншими видами транспорту. Особливо це набуває значення в умовах реформування галузі.

Насамперед основними напрямками діяльності залізничної галузі є:

- розвиток швидкісного руху поїздів;
- підвищення рівня безпеки руху;
- розробка нового рухомого складу й модернізація існуючого парку.

Найбільший відсоток (рис. 1) рухомого складу, що експлуатується, припадає на піввагони, тому очевидно, що доцільним є вивчення їх динамічної навантаженості на основі технічних рішень, розробок, сучасних технологій, наукових досліджень, на які зорієнтована залізнична галузь України [2; 3].

Як відомо з попередніх досліджень [4; 5; 6; 7], вивчення динаміки вантажних вагонів — це складна теоретична задача, мета якої — визначення допустимих та безпечних із точки зору взаємодії колеса й рейки швидкостей руху.

У зв'язку з актуальністю цієї тематики поставлено завдання щодо дослідження впливу різних факторів та характеристик технічного стану ходових частин вантажних вагонів на їх основні динамічні показники.

Серед них не останню роль відіграє така система, як «кузов — візок», та відповідно параметри зв'язку між кузовом

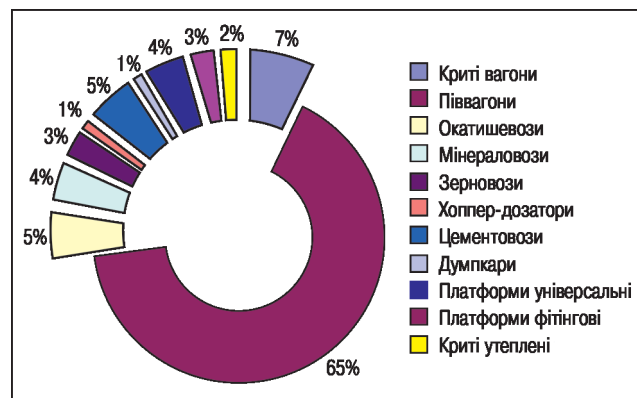


Рис. 1. Структура парку рухомого складу

та візком. Тому основна увага в цій роботі приділяється впливу зміни сили тертя між кузовом та візком.

Теоретичні дослідження проводилися шляхом математичного моделювання динамічної навантаженості вантажного вагона в порожньому й завантаженому стані з візками ЦНИИ-ХЗ (модель 18-100) при русі в прямих та кривих ділянках колії різних радіусів з установленими швидкостями руху для визначення основних динамічних показників вантажного вагона. У якості дослідного розглядався піввагон.

Математичне моделювання динамічної навантаженості вантажного вагона здійснювалося з використанням програмного комплексу Dynamics of Rail Vehicles (DYNRAIL) [8; 9], який розроблено в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Одними з перших досліджень, які присвячені вивченню тертя ковзання, були проведені Ж. О. де Кулоном і потім доповнені А.-Ж. Мореном [10]. Основоположником теорії тертя при наявності мастила є вчений М. П. Петров, подальший

розвиток ця теорія знайшла в працях М. Є. Жуковського та інших дослідників.

Як відомо, розрізняють два випадки тертя ковзання:

- 1) тертя в стані спокою, зокрема тертя на початку руху;
- 2) тертя в стані руху.

Коли система перебуває в рівновазі, сила тиску горизонтальної поверхні на елемент має рівнодіючу силу N , нормальну до поверхні, рівну й протилежну вазі P тіла з масою (рис. 2, а).

Реакція поверхні R на тіло дорівнює і є протилежною рівнодіючій вазі P й прикладеної горизонтальної сили Q . Ця реакція розкладається на дві: нормальну N , рівну й прямопротилежну силі P , і дотичну F , рівну й протилежну силі Q . Дотична складова і є силою тертя. Для кута β , якщо поступово збільшувати Q , настане момент, коли ця сила досягне значення F_p , при якому тіло приходить у рух. Відповідне числове значення F_p сили F називається тертям на початку руху; відповідне значення φ кута β , для якого відношення F_p/P і є кутом тертя.

Ковзання починається з того моменту, коли рівнодіюча сил P і Q , прикладених до тіла, утворює з нормаллю кут, що перевищує φ .

Кулон виміряв значення F_p і φ на досліді, за результатами якого їм сформульовано три закони [11; 12; 13]:

- 1 — тертя на початку руху не залежить від площі поверхонь, що знаходяться в дотику;
- 2 — тертя залежить від природи цих поверхонь;
- 3 — тертя пропорційно нормальній складовій реакції або нормальній складовій тиску.

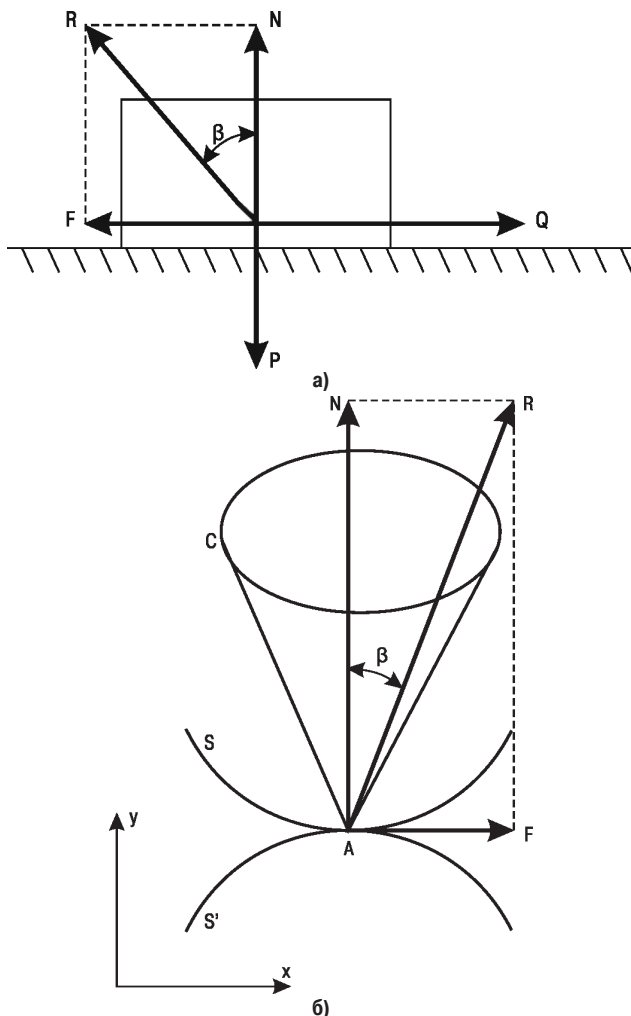


Рис. 2. Схематичне зображення сил між тілами з урахуванням тертя: а — у стані спокою; б — з однією точкою дотику (конус тертя)

Постійне відношення сили тертя F_p на початку руху до нормальної реакції N , або до нормального тиску P , і є коефіцієнтом тертя f , що дорівнює відношенню F_p до P . Кут тертя φ визначається як $\tan \varphi = f$.

На практиці частіше зустрічається випадок рівноваги тіл з тертям в одній точці дотику. Для цього розглядається тіло S (рис. 2, б), покладене на інше тіло S' , з яким воно має дотик на дуже малій частині поверхні [10]. Припускається, що остання приведена до однієї точки A . Реакція R тіла S' на тіло S складається з нормальної реакції N й дотичної реакції F , напрям якої невідомий і максимум якої дорівнює fN . Кут β між R і N буде менше кута тертя φ . Для того щоб тіло S було в рівновазі, необхідно, щоб існувала рівновага між безпосередньо прикладеними до тіла S силами й реакцією R або щоб сили, прикладені до тіла, мали одну рівнодіючу, рівну й прямопротилежну до сили R , тобто щоб вона:

- а) проходила через точку A ;
- б) була спрямована так, щоб притискати тіло S до тіла S' ;
- в) утворювала з нормаллю AN кут менший, ніж кут тертя.

Ці необхідні умови достатні, і якщо вони виконані, то можливо припустити, що рівнодіюча прикладених сил безпосередньо перенесена в точку A й розкладена на дві сили — нормальну P й дотичну Q ; під дією цих сил ковзання не буде, оскільки кут рівнодіючої з нормаллю менше φ , унаслідок чого (рис. 2, б) відношення дотичної сили Q до нормальної сили P менше f і дотична складова менша, ніж тертя на початку руху. Якщо розглядати конус обертання з віссю AN , що утворює з AN кут φ , то для рівноваги необхідно й достатньо, щоб сили мали рівнодіючу, напрямом якої проходить через точки A і C , що лежать у середині конуса.

Із попередніх міркувань можна зробити висновок, що будь-яка прикладена до тіла сила, яка проходить через точку A й утворює з нормаллю кут менший, ніж φ , тобто сила, що лежить у середині конуса C , урівноважується реакцією тіла, оскільки цю силу можна розкласти так, як ми тільки-но вказали.

Коефіцієнт тертя f — величина безрозмірна, визначається дослідним шляхом і залежить від матеріалу контактуючих тіл і стану поверхонь (характер обробки, температури, вологості та ін.).

Значення коефіцієнта тертя f для деяких матеріалів:

- дерево по дереву — 0,4–0,7;
- метал по металу — 0,15–0,25;
- сталь по льоду — 0,027.

У випадку руху припускається, що рухається тверде тіло, обмежене деякою поверхнею, й стикається з іншим тілом у точці. Якщо є тертя, то реакція одного тіла на друге розкладається на дві сили: нормальну N , яка називається нормальною реакцією, і дотичну F , яка є силою тертя й підпорядковується трьома наступним законам.

Сила тертя спрямована в сторону, протилежну відношній швидкості матеріальної точки по відношенню до поверхні тіла. Вона не залежить від величини швидкості та пропорційна нормальній реакції: дотична сила F дорівнює добутку коефіцієнта тертя на початку руху f та нормальної сили N .

Згідно з дослідями Герца ці закони можуть бути застосовані головним чином у разі безпосереднього тертя (тобто коли поверхні тертя сухі). Вони повинні бути змінені, якщо поверхні розділені змащувальними речовинами; у цьому випадку відношення F/N залежить від швидкості й сили N [14; 15; 16]. В інженерних розрахунках звичайно виходять з ряду встановлених дослідним шляхом закономірностей, які з достатньою для практики точністю відображають основні особливості явища тертя.

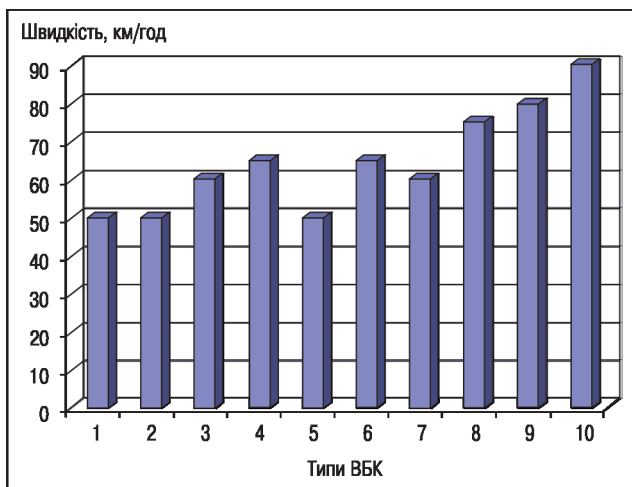
Таблица 1

Типи верхньої будови колії
P43(6) 1600 П
P43(6) 1840, 2000 П
P43(6) 1600 Гр
P43(6) 1840, 2000 Гр
P43(6) 1600 Щ
P43(6) 1840, 2000 Щ
P50(6) 1600 Щ, Гр, П
P50(6) 1840, 2000 Щ, Гр, П
P65(6) 1600 Щ, Гр, П
P65(6) 1840, 2000 Щ, Гр, П і важче

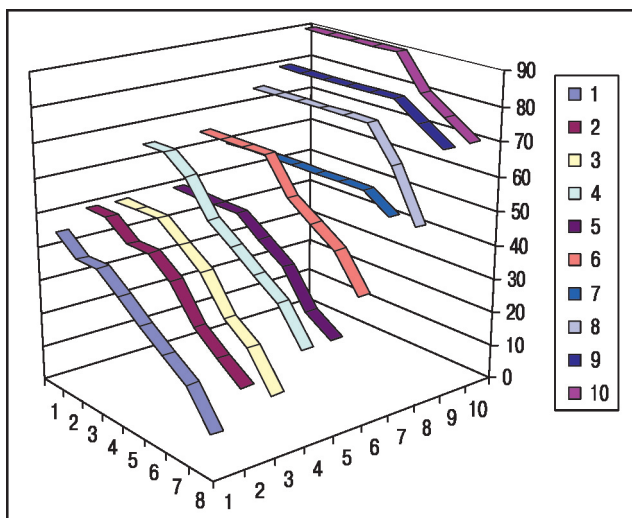
Динамічний коефіцієнт тертя ковзання f , як зазначалось раніше, також є величиною безрозмірною й визначається дослідним шляхом. Значення коефіцієнта залежить не тільки від матеріалу й стану поверхонь, але й у деякій мірі від швидкості рухомих тіл. У більшості випадків із збільшенням швидкості коефіцієнт f спочатку зменшується, а потім зберігає майже постійне значення.

Установлення допустимих швидкостей руху вагонів на прямих та кривих ділянках колії є складною інженерною задачею, яка вимагає диференційного підходу й враховує технічний стан верхньої будови колії (ВБК) та ходових частин рухомого складу [17; 18; 19].

Результати встановлення допустимих швидкостей (на підставі проведених раніше досліджень) наведені у вигляді гістограм для прямих (рис. 3, а) та кривих ділянок колії (рис. 3, б — нумерація типів ВБК згідно з табл. 1), які демонструють розподіл значень швидкості руху в залежності від типу верхньої будови колії (для прямих ділянок) або від радіуса кривої та типу верхньої будови колії (для кривих ділянок). Згідно з цими даними найбільш міцними з усіх обраних типів ВБК є рейки марки Р65(6) 1840, 2000 Щ, Гр, П і важче, які дозволяють рухатись зі швидкістю 90 км/год як у кривих, так і в прямих ділянках колії. Використання рейок цієї марки дозволить рух у кривих малого радіуса зі швидкістю 70 км/год, що значно вище в порівнянні з іншими марками.



а)



б)

Рис. 3. Значення швидкості руху в залежності від типу верхньої будови колії: а — для прямих ділянок; б — для кривих ділянок

Допустимі швидкості руху визначались за результатами порівняння отриманих динамічних показників з їх допустимими значеннями згідно з Нормами [20].

Допустимі величини динамічних показників для вантажних вагонів наведені в табл. 2.

Таблица 2

Допустимі динамічні показники для вантажних вагонів

Критерій	Завантажений вагон	Порожній вагон
$[K_{дв}]$	0,8	0,85
$[K_{дв}]$	0,4	0,4
$[K_{ст}]$	1,3	1,3
$[HP/P_0]$	0,3	0,38
$[A_1]$	0,3	0,3
$[A_2]$	0,6	0,7

Серед усіх пар тертя при визначенні динамічної навантаженості вантажних вагонів однією з домінуючих є тертя в системі «кузов — візок». Саме дослідженню цієї системи в зв'язку з технічним станом ходових частин вантажних вагонів та визначенням їх основних динамічних показників і присвячено дане дослідження.

Опорне з'єднання кузова й візків є найважливішою підсистемою вантажного вагона, від правильного вибору конструктивної схеми й параметрів якої багато в чому залежать як його динамічні, так й інші техніко-економічні характеристики. Кузов вагона під час руху здійснює коливання й кутові повороти відносно вертикальної, повздовжньої та поперечної горизонтальної осей. Основним опорним з'єднанням кузова й візка є «п'ятник — підп'ятник», у якому реалізуються момент тертя, який перешкоджає повороту візка довкола вертикальної осі, а також сили тертя, які перешкоджають кутовому переміщенню кузова на підп'ятнику візка.

Основне функціональне призначення ковзунів на кузові й надресорній балці полягає в запобіганні надмірній перевалці кузова на підп'ятнику візка й зменшенні бокової качки та виляння. При цьому момент тертя в опорному з'єднанні «п'ятник — підп'ятник — ковзун» не повинен перевищувати певних величин для того, щоб не було надмірної дії на колію, колісні пари та букси візка.

Наведені на рис. 4–5 осцилограми переміщень кузова та надресорної балки візка при русі вантажного вагона

в прямых та кривих ділянках колії безперечно демонструють наявність автоколивань. Цей процес указує на те, що в ковзунах реалізуються моменти тертя, які перешкоджають виланню візка, та сили тертя. Однак, незважаючи на те, що ковзуни кузова й візка взаємодіють між собою, значення коефіцієнта тертя істотно не впливає на основні динамічні показники.

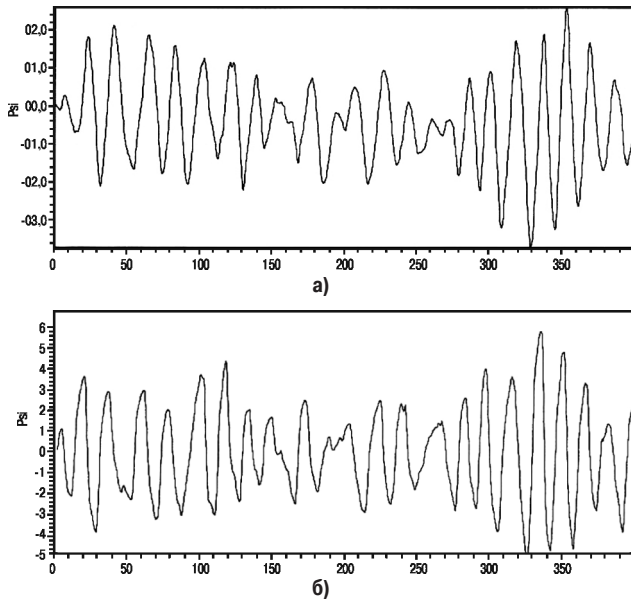


Рис. 4. Осцилограми відносних кутових переміщень об'єктів зв'язку «кузов — надресорна балка» в прямих ділянках колії: а — переміщення кузова; б — переміщення надресорної балки

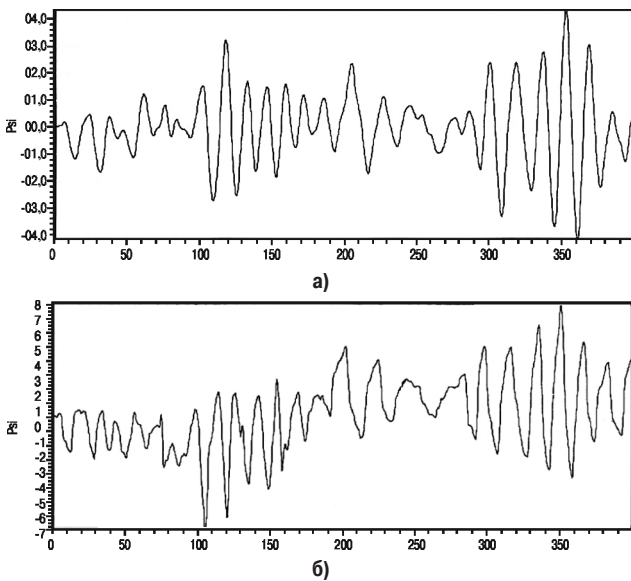


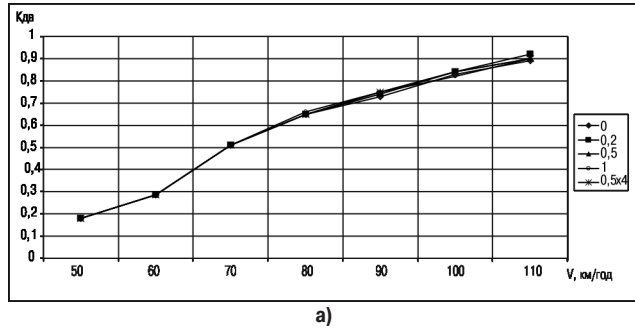
Рис. 5. Осцилограми відносних кутових переміщень об'єктів зв'язку «кузов — надресорна балка» в кривих ділянках колії: а — переміщення кузова; б — переміщення надресорної балки

У дослідженні впливу тертя на динамічну навантаженість вагона розглянуто декілька станів:

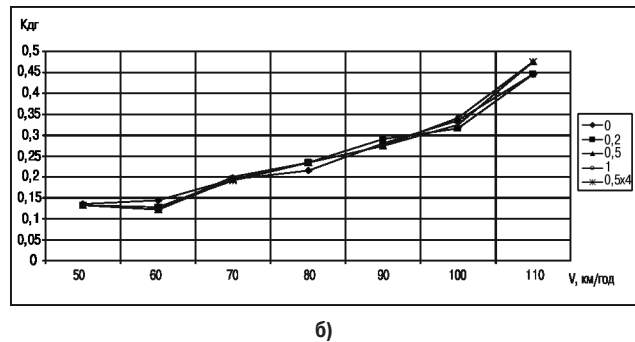
- нормальний, коефіцієнт демпфування якого рівний 1;
- стан із пониженим тертям, який виникає в конструкції візка при завищенні клина в порівнянні з нормальним станом, у цьому випадку коефіцієнт ϕ рівний 0,2 або 0,5;
- передемпфований стан системи, коефіцієнт ϕ якого рівний 1,5;
- повна відсутність тертя в системі, коефіцієнт ϕ якого рівний 0.

За результатами проведених розрахунків побудовано графіки залежності основних динамічних показників (рис. 6):

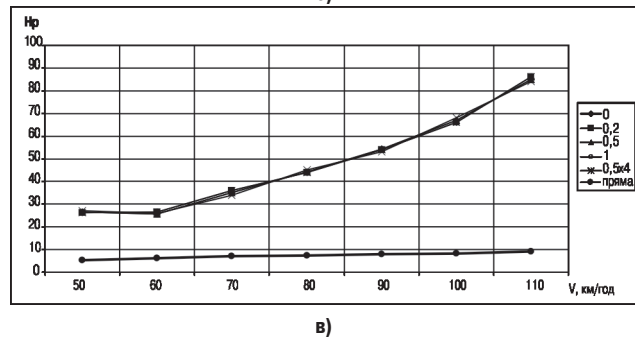
- коефіцієнтів вертикальної та горизонтальної динаміки;
- рамної сили;
- коефіцієнта стійкості;
- горизонтального та вертикального прискорення кузова чотиривісного вантажного піввагона з урахуванням швидкості руху від значення коефіцієнта тертя в системі «кузов — візок».



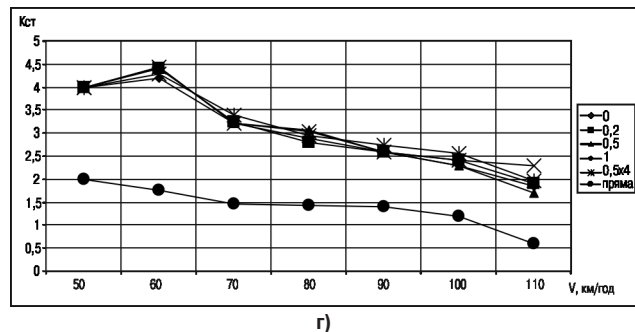
а)



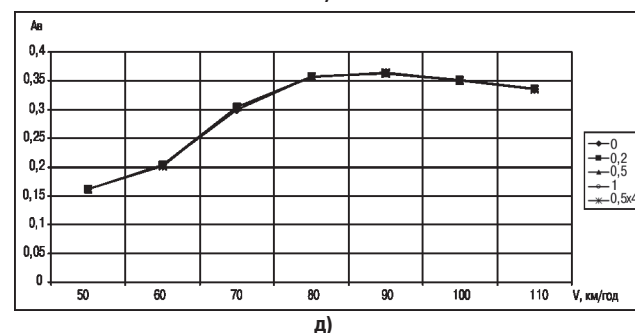
б)



в)



г)



д)

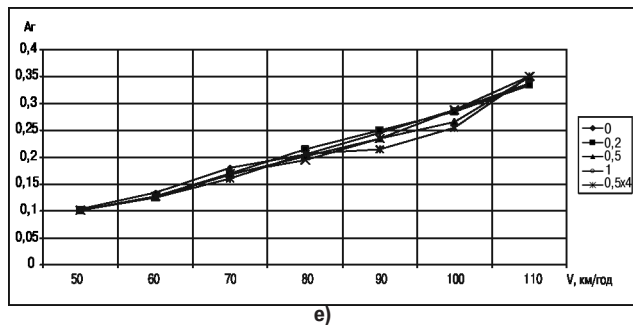


Рис. 6. Діаграми зміни динамічних показників від швидкості руху:
а — коефіцієнт вертикальної динаміки;
б — коефіцієнт горизонтальної динаміки; в — рамна сила;
г — коефіцієнт стійкості; д — вертикальне прискорення кузова;
е — горизонтальне прискорення кузова

Із наведених графіків видно, що основні динамічні показники чотиривісного вантажного вагона істотно не залежать від коефіцієнта тертя й при швидкості руху до 100 км/год знаходяться в межах допустимих значень, які відповідають Нормам [20].

При швидкості руху 110 км/год коефіцієнти вертикальної та горизонтальної динаміки перевищують допустимі значення. Горизонтальні прискорення кузова набувають допустимих значень уже при 100 км/год. Установлена допустима швидкість руху вагонів на прямих та кривих ділянках колії в 90 км/год також підтверджується даним дослідженням. Але використання пружних з'єднань між кузовом та візком (застосування скочзунів постійного контакту або пружно-фрикційних) у залежності від параметрів цих з'єднань сприятиме покращенню динамічних характеристик вантажного вагона в цілому.

Наведені результати теоретичних досліджень дозволяють зробити висновок, що істотний вплив на показники безпеки руху мають не тільки параметри тертя в опорному з'єднанні «п'ятник — підп'ятник — ковзуни» вантажного вагона в порожньому й завантаженому стані з візками ЦНИИ-ХЗ (модель 18-100), але й інші складові динаміки руху вантажного вагона, а саме радіуси кривих ділянок колії, висота зовнішньої рейки тощо. Звичайно, що й конструктивне виконання візків, що відносяться до візків нового покоління, наприклад візки моделі 18-7020 виробництва ПАО «Крюківський вагонобудівний завод», уже передбачає використання пружних з'єднань між кузовом та візком, а також інші новації, що сприяють загальному покращенню динамічних якостей вантажних вагонів. Суттєвим також є й вибір параметрів зв'язків між кузовом та візком для досягнення максимального ефекту.

Робота «Дослідження впливу показників тертя на динаміку вантажного вагона» полягає в дослідженні впливу тертя на динамічну завантаженість вагона з використанням нових підходів до вирішення задачі прогнозування динаміки рухомого складу за допомогою програмного комплексу Dynamics of Rail Vehicles (DYNRAIL). Наукове значення цього дослідження полягає також у тому, що вперше на значно оновленому теоретичному матеріалі, який стосується історії розвитку теорії тертя та включає результати новітніх експериментальних досліджень, комплексно досліджено та показано у взаємозв'язку процеси динамічної завантаженості рухомого складу.

Практична значимість роботи полягає в тому, що одержані результати мають практичну спрямованість. У ході виконання теоретичних досліджень та після проведення моделювання з поліпшеним методом урахування процесів тертя отримано залежності основних динамічних показників чотиривісного вантажного піввагона від значення коефіцієнта тертя в системі «кузов — візок» з урахуванням швидкості руху. Результати досліджень знайшли своє наукове викорис-

тання в низці публікацій авторів у спеціальних та науково-популярних виданнях, виступах на наукових конференціях.

У результаті досліджень отримано залежності основних динамічних показників чотиривісного вантажного вагона від параметрів ковзунів з урахуванням швидкості руху.

Таким чином, отримані результати розрахунків дозволяють об'єктивно оцінити вплив технічного стану ходових частин піввагонів на показники безпеки руху вантажних вагонів. **В П**

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Сергиенко Н. И. Состояние и перспективы развития вагонного хозяйства Укрзалізнички / Н. И. Сергиенко // Вагонний парк. — 2011. — № 9. — С. 4–13.
2. Офіційний веб-сайт Укрзалізнички [Електронний ресурс]. — Режим доступу: www.uz.gov.ua.
3. Myamlin S. Construction Analysis of Mechanical Parts of Locomotives / S. Myamlin, M. Luchanin, L. Neduzha // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. Vol. 13, No 3. — 2013. — P. 162–169.
4. Динамика грузовых вагонов с учетом поперечного смещения тележек / Н. И. Луканин, С. В. Мямлин, Л. А. Недужая, А. А. Швец // 36. наук. пр. ДонІЗТ. — 2012. — Вип. 29. — С. 234–241.
5. Bubnov V. Dynamic performance of freight cars on bogies model 18-1711 / V. Bubnov, S. Myamlin, N. Mankevych // Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. — Вип. 4 (46). — 2013. — С. 118–126.
6. Myamlin S. Determination of Dynamic Performance of Freight Cars Taking Into Account Technical Condition of Side Bearers / S. Myamlin, L. Neduzha, O. Ten, A. Shvets // Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. — Вип. 1 (43). — 2013. — С. 162–169.
7. Myamlin S. Research of friction indices influence on the freight car dynamics / S. Myamlin, L. Neduzha, O. Ten, A. Shvets // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. Vol. 13, No 4. — 2013. — P. 159–166.
8. Свидетельство о регистрации авторского права на произведение № 7305. Компьютерная программа Dynamics of Rail Vihsclcs (DYNRAIL) / С. В. Мямлин; зарегистр. 20.03.2003.
9. Myamlin S. Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer Modelling with the Account of Their Inertia Properties / S. Myamlin, A. Ten, L. Neduzha, A. Shvets // Proceedings of 15th International Conference. Mechanika. 2010. — Kaunas. — 2010. — P. 325–328.
10. Анпель П. Статика. Динамика точки / П. Анпель. — М.: Гос. изд. физико-матем. литер., 1960. — 515 с.
11. Бондаренко А. А. Теоретична механіка / А. А. Бондаренко, О. О. Дубінін, О. М. Переяславцев. — К.: Знання, 2004. — 590 с.
12. Павловський М. А. Теоретична механіка: підруч. для студ. вищих навч. закладів / М. А. Павловський. — К.: Техніка, 2002. — 512 с.
13. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики: учебн. для вузов / С. М. Тарг. — М.: Высш. шк., 1986. — 416 с.
14. Вериго М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган. — М.: Транспорт, 1986. — 560 с.
15. Вершинский С. В. Динамика вагона / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов. — М.: Транспорт, 1991. — 360 с.
16. Шадур Л. А. Вагоны. Конструкция, теория и расчет; под. ред. Л. А. Шадура. — М.: Транспорт, 1980. — 440 с.
17. Лазарян В. А. Динамика вагонов / В. А. Лазарян. — М.: Транспорт, 1964. — 256 с.
18. Лазарян В. А. Динамика транспортных средств / В. А. Лазарян. — К.: Наукова думка, 1985. — 528 с.
19. Определение допускаемых скоростей движения грузовых вагонов по ж.-д. путям колеи 1520 мм / [В. Д. Данович, В. В. Рыбкин, С. В. Мямлин и др.] // Вісник ДНУЗТ, 2003. — № 2. — С. 77–86.
20. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) (с изменениями и дополнениями № 1 (с 01.02.2000) и № 2 (с 01.03.2002)). — М.: ГосНИИВ — ВНИИЖТ, 1996. — 352 с.

Отримано 15.07.2014

REFERENCES

1. Sergiyenko, N. I. (2011). Sostoyaniye i perspektivy razvitiya vagonnogo khozyaystva Ukrzaliznytsi [Condition and development prospects for Ukrzaliznytsia's car facilities]. Wagon fleet, no. 9, 4-13. (in Russian)
2. Ofitsiyniy veb-sait Ukrzaliznytsi [Official web-site of Ukrzaliznytsia]. Available at: www.uz.gov.ua (Accessed 21 January 2014). (in Ukrainian)
3. Myamlin, S., Luchanin, M., & Neduzha, L. (2013). Construction Analysis of Mechanical Parts of Locomotives. TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture, vol. 13, no. 3, 162-169.
4. Lukhanin, N. I., Myamlin, S. V., Neduzhaya, L. A., & Shvets, A. A. (2012). Dinamika gruzovykh vagonov s uchetom poperechnogo smeshcheniya telezhek [Freight cars dynamics, taking into account transversal displacement of the bogies]. Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu [Proc. of the Donetsk Railway Transport Institute], issue 29, 234-241. (in Russian)
5. Bubnov, V. M., Myamlin, S. V., & Mankevych, N. V. (2013). Dynamic performance of freight cars on bogies model 18-1711. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], issue 4 (46), 118-126.
6. Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., & Shvets, A. (2013). Determination of Dynamic Performance of Freight Cars Taking Into Account Technical Condition of Side Bearers. Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, no. 1 (43), 162-169.
7. Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., & Shvets, A. (2013). Research of Friction Indices Influence on the Freight Car Dynamics. TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture, vol. 13, no. 4, 159-166.
8. Myamlin, S.V. (2003). Kompyuternaya programma «Dynamics of Rail Vehicles» [Software package «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL»)]. Certificate of copyright registration on the invention], no. 7305. (in Ukrainian)
9. Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., & Shvets, A. (2010). Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer Modelling with the Account of Their Inertia Properties. Proc. of 15th Int. Conf. «Mechanika», 325-328.
10. Appel, P. (1960). Statika. Dinamika tochki [Statics. Particle dynamics]. Moscow, Gos. izd. fiziko-matem. liter. Publ., 515 p. (in Russian)
11. Bondarenko, A. A., Dubinin, O. O., & Pereiaslavytsev, O. M. (2004). Teoretychna mekhanika [Theoretical mechanics]. Kyiv., Znannia Publ., 590 p. (in Ukrainian)
12. Pavlovskiy, M. A. (2002). Teoretychna mekhanika [Theoretical mechanics]. Kyiv, Tekhnika Publ., 512 p.
13. Targ, S. M. (1986). Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki [Short course of theoretical mechanics]. Moscow, Vyssh. Shkola Publ., 416 p. (in Russian)
14. Verigo, M. F., & Kogan, A. Ya. (1986). Vzaimodeystviye puti i podvizhnogo sostava [Railway track and rolling stock interaction]. Moscow, Transport Publ., 560 p. (in Russian)
15. Vershinskiy, S. V., Danilov, V. N., & Khusidov, V. D. (1991). Dinamika vagona [Car dynamics]. Moscow, Transport Publ., 360 p. (in Russian)
16. Shadur, L. A. (1980). Vagony: Konstruktsiya, teoriya i raschet [Cars: construction, theory and calculation]. Moscow, Transport Publ., 440 p. (in Russian)
17. Lazaryan, V. A. (1964). Dinamika vagonov [Dynamics of cars]. Moscow, Transport Publ., 256 p. (in Russian)
18. Lazaryan, V. A. (1985). Dinamika transportnykh sredstv [Dynamics of vehicles]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 528 p. (in Russian)
19. Danovich, V. D., Rybkin, V. V., Myamlin, S. V., Reydemeyster, A. G., Tryakin, A. G., & Khalipova, N. V. (2003). Opredeleniye dopuskayemykh skorostey dvizheniya gruzovykh vagonov po zh.-d. putyam kolei 1520 mm [Permissible velocity determination of the freight cars on the railroads with the 1520 mm tracks]. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], issue 2, 77-86. (in Russian)
20. Normy dlya rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh) [Standards for design and construction of railroads with 1520 mm track cars (non-self-propelled)]. Moscow, GosNIIV-VNIIZhT Publ., 352, (1996). (in Russian)

УДК 629.46.015:531.44

UDC 629.46.015:531.44

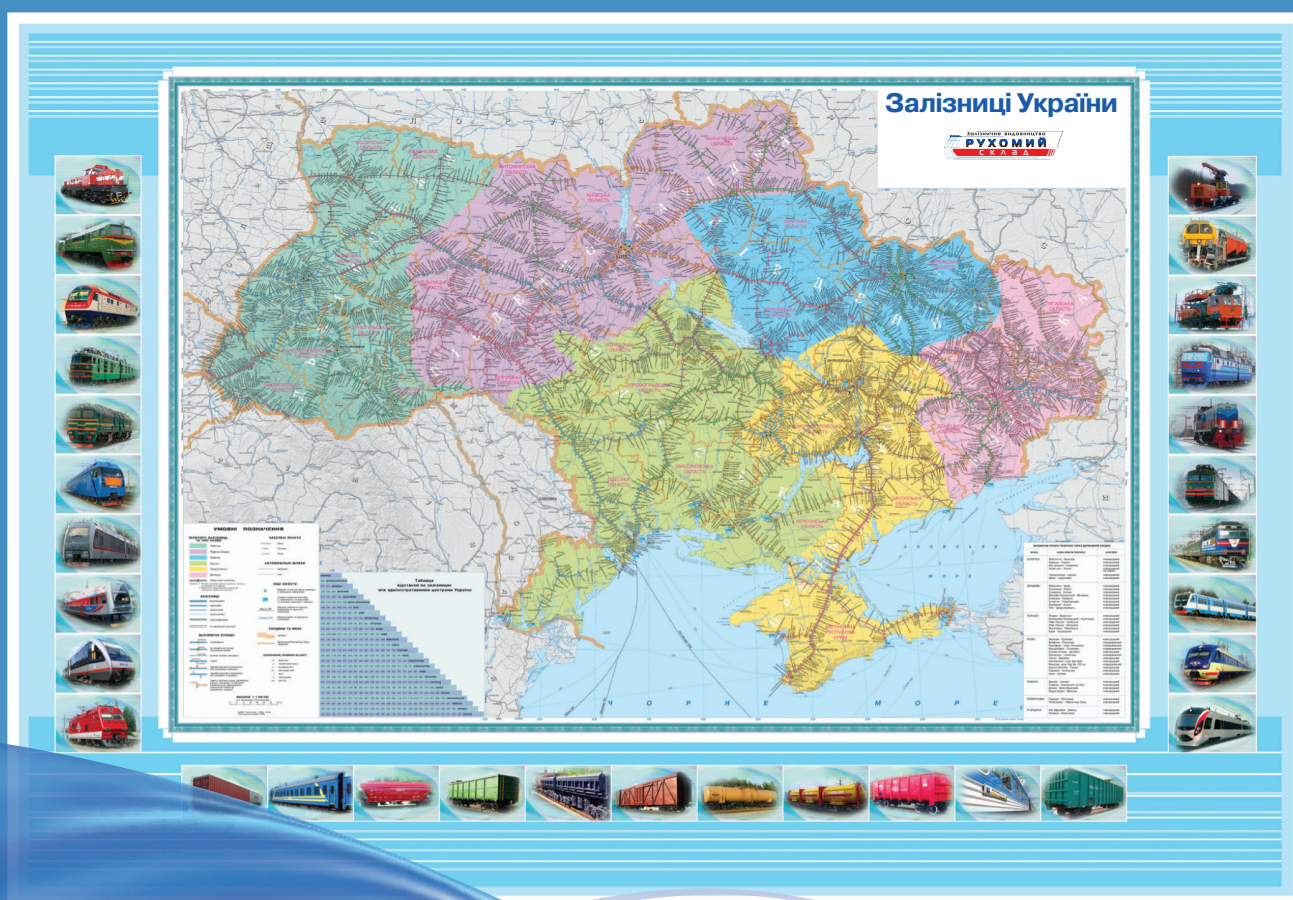
Мямлин С. В., Недужая Л. А., Швец А. А., Дузик В. М.
Влияние параметров связи между кузовом и тележкой
на динамику грузового вагона

Исследовано влияние трения на динамическую нагруженность вагона с использованием новых подходов к решению задачи прогнозирования динамики подвижного состава на значительно обновленном теоретическом материале, который охватывает всю историю развития теории трения и включает результаты новейших экспериментальных исследований с учетом скорости движения на прямых и кривых малого и среднего радиуса участках пути. Получены зависимости основных динамических показателей четырехосного грузового полувагона от значения коэффициента трения в системе «кузов — тележка» с учетом скорости движения.

Myamlin S., Neduzha L., Shvets A., Duzik V.
Influence of Performance Connection between
the Body and Bogie on Freight Wagons' Dynamics

The influence of friction on the dynamic load of the car using new approaches to solving the problem of predicting the dynamics of rolling stock is investigated, at a significantly updated theoretical material that covers the entire history of the theory of friction and includes the results of recent experimental studies because of the speed on the straights and curves of small and medium-range sections of the road. Dependences of the main dynamic parameters of a four-freight gondola on the value of the coefficient of friction in the "body — bogie" with regard to speed are received.

Железнодорожное издательство «Подвижной состав» предлагает приобрести карту железных дорог Украины



**На карте разместим логотип
вашего предприятия!**
Размер карты — 1880 × 1320 мм

Адрес: ул. Тобольская, 42, оф. 29/1
 г. Харьков, 61072, Украина
 Тел./факс: +38 (057) 773-06-20, 773-06-21
 E-mail: zips@technostd.com
 www.railway-publish.com