ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2014, № 2 (50)

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.46.015:531.44

С. В. МЯМЛІН[1*], Л. О. НЕДУЖА[2*], А. О. ШВЕЦЬ[2]

[1*] Каф. «Вагони та вагонне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010, Україна, тел./факс +38 (056) 793 19 03, ел. пошта sergeymyamlin@gmail.com
[2*]Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010, Україна, тел./факс +38 (056) 793 19 03, ел. пошта nlorhen@i.ua
[2]Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010, Україна, тел./факс +38 (056) 793 19 03

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПОКАЗНИКІВ ТЕРТЯ В СИСТЕМІ «КУЗОВ – ВІЗОК» НА ДИНАМІКУ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА

Мета. Основними вимогами до конструкції вагонів нового покоління, згідно Програми оновлення рухомого складу, є вимоги, які дозволять знизити експлуатаційні витрати й підвищити економічну ефективність їх використання з урахуванням досягнень науково-технічної думки. У зв'язку з актуальністю цієї тематики робота присвячена дослідженню впливу коефіцієнту тертя в опорному з'єднанні «п'ятник – підп'ятник – ковзуни» вантажних вагонів на їх основні динамічні показники – коефіцієнти горизонтальної та вертикальної динаміки, прискорення кузова, рамну силу, коефіцієнт стійкості від сходу з рейок. **Методика.** Дослідження проводилось методом чисельного інтегрування та математичного моделювання динамічної завантаженості вантажного вагону з використанням програмного комплексу «Dynamics of Rail Vihscles» («DYNRAIL»). **Результати.** Дослідження показали, що 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-Х3 (модель 18-100). Вплив мають також інші складові динаміки руху вантажного вагона, а саме: радіуси кривих ділянок колії, висота зовнішньої рейки тощо. **Наукова новизна.** Автором досліджено вплив тертя на динамічну завантаженість вагона з використанням нових підходів до вирішення задачі прогнозування динаміки рухомого складу. Прогнозування здійснювалось на значно оновленому теоретичному матеріалі, який охоплює всю історію розвитку теорії тертя й включає результати новітніх експериментальних досліджень із урахуванням швидкості руху на прямих і кривих ділянках колії малого та середнього радіусу. **Практична значимість.** 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» із урахуванням швидкості руху. Результати досліджень знайшли своє наукове використання в низці публікацій авторів у спеціальних та науково-популярних виданнях.

Ключові слова: вантажні вагони; ковзуни візків; швидкість руху; прямі та криві ділянки колії; динамічні показники

Вступ

Залізничний транспорт України відіграє важливу роль у соціально-економічному житті нашої держави та здійснює великий обсяг перевізної роботи (його питома вага в загальному вантажообігу складає біля 85 % – українські залізниці займають четверте місце в Євразії та шосте місце в світі за обсягами вантажів, що перевозяться, а в пасажирообігу – 45 %); на залізничному транспорті працює 2 % всього пра-

© С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець, 2014

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2014, № 2 (50)

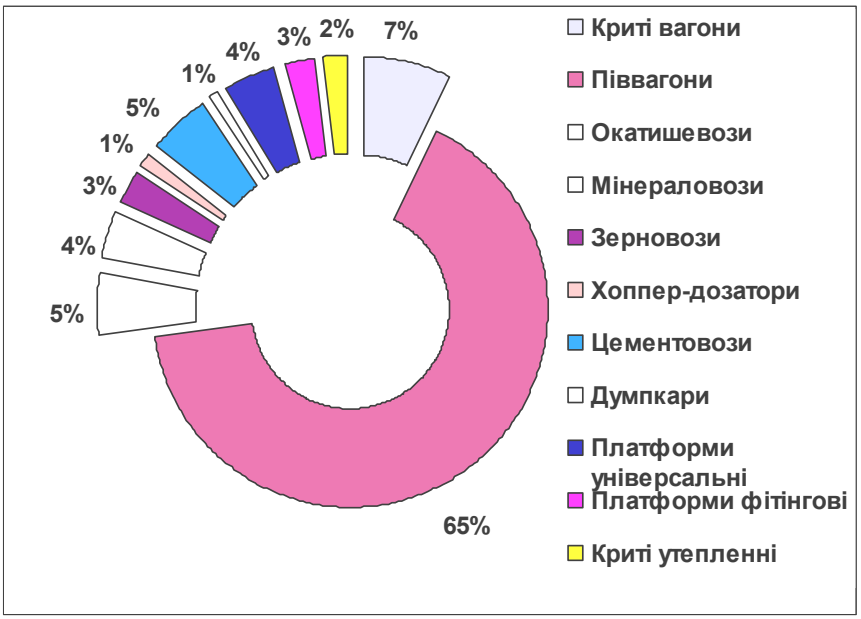


Рис. 1. Структура парку рухомого складу

Fig. 1. Structure of rolling stock fleet

цездатного населення держави [13]. Це підтверджує, що транспортна галузь повинна рухатися в напрямку інноваційних змін, підвищувати своє значення як важливої транзитної підсистеми на шляху оновлення не тільки інфраструктури, а й стратегії всіх складових перевізного процесу, в тому числі і у взаємозв'язку з іншими видами транспорту.

Насамперед, основними напрямками діяльності залізничної галузі є:

– розвиток швидкісного руху поїздів;

– підвищення рівня безпеки руху;

– розробка нового рухомого складу і модернізація існуючого парку.

Найбільший відсоток (рис. 1) рухомого складу, який експлуатується, припадає на піввагони, тому доцільним є вивчення їх динамічної завантаженості на основі технічних рішень, розробок, сучасних технологій, наукових досліджень, на які зорієнтована залізнична галузь України [10, 18].

Мета

Як відомо з попередніх досліджень [5, 16, 17, 19], вивчення динаміки вантажних вагонів – це складна теоретична задача, мета якої – визначення допустимих та безпечних, з точки зору взаємодії колеса і рейки, швидкостей руху.

В зв'язку з актуальністю цієї тематики поставлено завдання щодо дослідження впливу різних факторів та характеристик технічного стану ходових частин вантажних вагонів (які неминуче виникають при їх експлуатації) на їхні основні динамічні показники.

Серед них не останню роль відіграє така система як «кузов – візок». Тому основна увага в роботі приділяється впливу зміни сили тертя між кузовом та візками.

Теоретичні дослідження виконувалися шляхом математичного моделювання динамічної навантаженості вантажного вагона в порожньому і завантаженому стані з візками ЦНИИ-Х3 (модель 18-100) при русі в прямих та кривих ділянках колії різних радіусів з установленими швидкостями руху для визначення основних динамічних показників вантажного вагона. Як дослідний розглядався піввагон.

Математичне моделювання динамічної навантаженості вантажного вагона здійснювалося з використанням програмного комплексу «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL») [12, 20], розробленого в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.

© С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець, 2014

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2014, № 2 (50)

Методика

Перші дослідження з вивчення тертя ковзання були виконані Кулоном і були повторені Мореном [1]. Основоположником теорії тертя при наявності мастила є вчений М. П. Петров, подальший розвиток ця теорія знайшла у працях М.Є. Жуковського та інших дослідників.

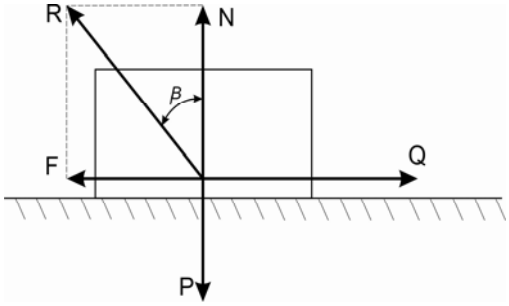
Як відомо, розрізняють два випадки тертя ковзання:

1) тертя в стані спокою і, зокрема, тертя на початку руху;

2) тертя в стані руху.

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

а – a



б – b

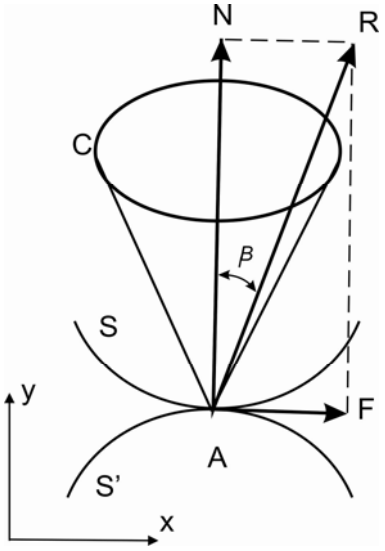


Рис. 2. Схематичне зображення сил між тілами з урахуванням тертя:
а – в стані спокою; *б* – з однією точкою дотику – конус тертя

Fig. 2. Diagram of the forces between bodies taking into account friction:
a – at rest; *b* – with one contact point – cone of friction

Реакція поверхні R на тіло дорівнює і є протилежною рівнодіючій ваги P і прикладеної горизонтальної сили Q. Ця реакція розкладається на дві: нормальну N, рівну і прямопротилежну силі P, і дотичну F, рівну і протилежну силі Q. Дотична складова і є силою тертя. Для кута β між реакцією R і нормаллю N маємо:

$$\mathrm{tg}\beta = \frac{F}{N} = \frac{Q}{P}. \qquad (1)$$

Якщо поступово збільшувати Q, то настане момент, коли ця сила досягне значення F_p, при якому тіло приходить в рух. Відповідне числове значення $F_\text{р}$ сили F називається тертям на початку руху; відповідне значення φ кута β для якого

$$\mathrm{tg}\varphi = \frac{F_p}{P} \qquad (2)$$

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 $F_\text{р}$ і φ на досліді, за результатами якого він вивів три закони [2, 11, 14]:

1. Тертя на початку руху не залежить від площі поверхонь, що знаходяться у дотику.

2. Воно залежить від природи цих поверхонь.

3. Воно пропорційне нормальній складовій реакції, або нормальній складовій тиску.

Постійне відношення сили тертя $F_\text{р}$ на початку руху до нормальної реакції N або до нормального тиску P і є коефіцієнтом тертя f:

$$f = \frac{F_p}{N} = \frac{F_p}{P}. \qquad (3)$$

Кут тертя φ визначається за формулою:

$$\mathrm{tg}\varphi = f. \qquad (4)$$

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 [1]. Припускається, що остання приведена до однієї точки A. Реакція R тіла S' на тіло S складається з нормальної реакції N і дотичної реакції F, напрям якої невідомий і максимум якої дорівнює $f N$. Кут β між R

© С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець, 2014

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2014, № 2 (50)

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 і реакцією R або щоб сили, прикладені до тіла, мали одну рівнодіючу, рівну і прямопротилежну до сили R, тобто:

а) проходить через точку A;

б) спрямовану так, щоб притискати тіло S до тіла S';

в) утворює 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 і розкладена на дві сили: на нормальну силу P і на дотичну силу Q; під дією цих сил ковзання не буде, оскільки кут рівнодіючої з нормаллю менше φ, внаслідок чого (рис. 2, б):

$$\frac{Q}{P} < f, \;\; Q < f \;\; P \qquad (5)$$

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 і достатньо, щоб сили мали рівнодіючу, напрямок якої проходить через точки A і C, що лежать у середині конуса.

З попередніх міркувань можна зробити висновок, що будь-яка прикладена до тіла сила, яка проходить через точку A і утворююча 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 що вказали.

Для обчислення кута тертя складемо рівняння статики, з яких отримано:

$$R_1 = R\cos\beta = N, \qquad (6)$$

$$R_2 = R\sin\beta = F_{mp} \le F_{mp}^{np} \le N \;\; f = \cos\beta, \qquad (7)$$

де – R_1, R_2 – складові R.

Виконавши арифметичні операції бачимо, що

$$R\sin\beta \le R \;\; f \;\; \cos\beta, \qquad (8)$$

$$\mathrm{tg}\beta \le \beta. \qquad (9)$$

Кут тертя – це кут сили з N, тангенс якої дорівнює коефіцієнту тертя:

$$\mathrm{tg}\varphi_{mp} = f \;, \;\; \beta \le \varphi_{mp}. \qquad (10)$$

Коефіцієнт тертя f – величина безрозмірна, визначається дослідним шляхом і залежить від матеріалу контактуючих (тих, що стикаються) тіл і стану поверхонь (характер обробки, температури, вологості і т. ін.).

Значення коефіцієнта тертя f_0 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 і стикається з іншим тілом в 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 і підпорядковується трьом наступним законам:

Сила тертя спрямована в сторону, протилежну відносній швидкості матеріальної точки по відношенню до поверхні тіла. Вона не залежить від величини швидкості та пропорційна нормальній реакції:

$$F = f \;\; N, \qquad (11)$$

коефіцієнт f є коефіцієнтом тертя на початку руху.

Згідно з дослідами Герца ці закони можуть бути застосовні головним чином в разі безпосереднього тертя (тобто, коли поверхні тертя сухі). Вони повинні бути змінені, якщо поверхні розділені змащувальними речовинами; в цьому випадку відношення F/N залежить від швидкості і від сили N [3, 4, 15]. В інженерних розрахунках звичайно виходять з низки встановлених дослідним шляхом закономірностей, які з достатньою для практики точністю відображають основні особливості явища тертя.

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

Встановлення допустимих швидкостей руху вагонів по прямих та кривих ділянках колії є складною інженерною задачею, яка вимагає диференційного підходу і враховує технічний

© С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець, 2014

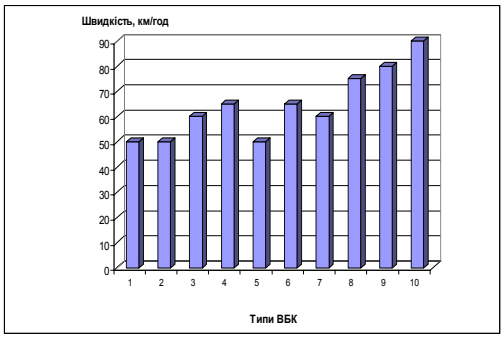
ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2014, № 2 (50)

стан верхньої будови колії (ВБК) та ходових частин рухомого складу [6, 7, 9].

Результати встановлення допустимих швидкостей (на підставі виконаних 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 залежно від типу верхньої будови колії (для прямих ділянок) або від радіусу 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) 1 840, 2 000 Щ, Гр, П і важче, які дозволяють рухатись зі швидкістю 90 км/год як в кривих, так і в прямих ділянках колії. Використання рейок цієї марки дозволить рух у кривих малого радіусу зі швидкістю 70 км/год, що значно вище порівняно з іншими марками.

а – a



б – b

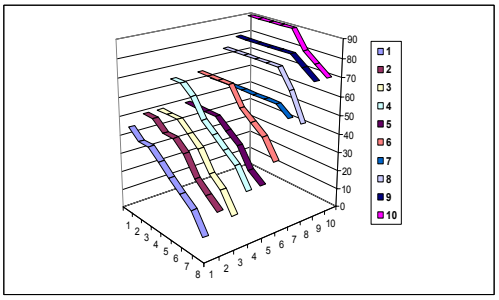


Рис. 3. Значення швидкості руху залежно від типу верхньої будови колії для прямих (*а*) та кривих (*б*) ділянок

Fig. 3. Motion speed value depending on track superstructure for tangent (*a*) and curved (*b*) sections

Допустимі швидкості руху визначались за результатами порівняння отриманих динамічних показників з їх допустимими значеннями згідно з Нормами [8].

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

Таблиця 1

Типи верхньої будови колії (ВБК)

Table 1

Types of track superstructure

№ п/п	Тип верхньої будови колії
1	Р43(6) 1 600 П
2	Р430(6) 1 840, 2 000 П
3	Р43(6) 1 600 Гр
4	Р430(6) 1 840, 2 000 Гр
5	Р43(6) 1 600 Щ
6	Р43(6) 1 840, 2 000 Щ
7	Р50(6) 1 600 Щ, Гр, П
8	Р50(6) 1 840, 2 000 Щ, Гр, П
9	Р65(6) 1 600 Щ, Гр, П
10	Р65(6) 1 840, 2 000 Щ, Гр, П і важче

Таблиця 2

Допустимі динамічні показники для вантажних вагонів

Table 2

Permissible dynamic coefficients for freight cars

Критерій	Завантажений вагон	Порожній вагон
[Кдв]	0,8	0,85
[Кдг]	0,4	0,4
[Кст]	1,3	1,3
[$Н_р$/Ро]	0,3	0,38
[$а_г$]	0,3	0,3
[$а_в$]	0,6	0,7

Серед всіх пар тертя при визначенні динамічної навантаженості вантажних вагонів однією з домінуючих є тертя в системі «кузов – візок». Саме дослідженню цієї системи у зв'язку із технічним станом ходових частин вантажних вагонів та визначенню їхніх основних динамічних показників і присвячене це дослідження.

Опорне з'єднання кузова і візків є найважливішою підсистемою вантажного вагона, від правильного вибору конструктивної схеми і параметрів якої багато в чому залежать як його динамічні, так і інші техніко-економічні харак-

© С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець, 2014

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2014, № 2 (50)

теристики. Кузов вагона під час руху здійснює коливання і кутові повороти відносно вертикальної, повздовжньої і поперечної горизонтальної осей. Основним опорним з'єднанням кузова і візка є п'ятник – підп'ятник, в 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 і надресорній балці полягає в запобіганні надмірному перевалюванню кузова на підп'ятнику візка і зменшенні бічного качання та виляння. При цьому момент тертя в опорному з'єднанні «п'ятник – підп'ятник – ковзуни» не повинен перевищувати певних величин для того, щоб не було надмірної дії на колію, колісні пари та букси візка.

а – a

б – b

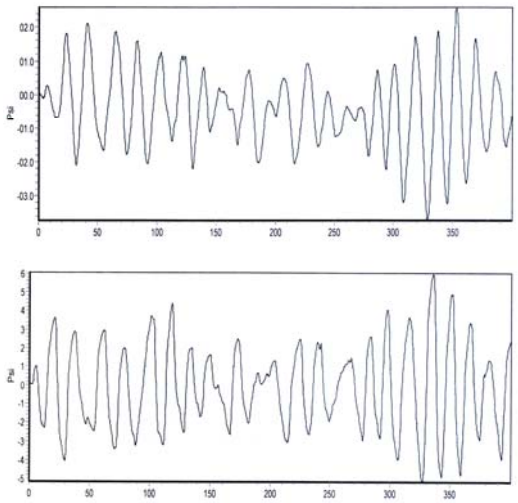


Рис. 4. Осцилограми відносних кутових переміщень об'єктів зв'язку «кузов – надресорна балка» в прямих ділянках колії:
а – переміщення кузова; *б* – переміщення надресорної балки

Fig. 4. Oscillograms of relative angular displacement of objects of communication "body – bolster" in tangent track sections:
a – body movement; *b* – bolster movement

Наведені на рис. 4, 5 осцилограми переміщень кузова та надресорної балки візка при русі вантажного вагона у прямих та кривих ділянках колії безперечно демонструють наявність автоколивань. Цей процес вказує на те, що в ковзунах реалізуються моменти тертя, які перешкоджають вилянню візка, та сили тертя. Однак, не зважаючи на те, що ковзуни кузова і візка взаємодіють між собою, значення коефіцієнта тертя не робить істотного впливу на основні динамічні показники.

а – a

б – b

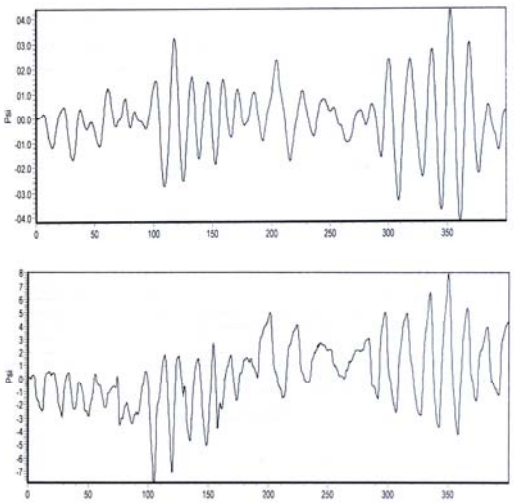


Рис. 5. Осцилограми відносних кутових переміщень об'єктів зв'язку «кузов – надресорна балка» в кривих ділянках колії:
а – переміщення кузова; *б* – переміщення надресорної балки

Fig. 5. Oscillograms of relative angular displacement of objects of communication "body – bolster" in curved track sections:
a – body movement; *b* – bolster movement

Результати

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

– нормальний, при якому коефіцієнт демпфірування прийнято рівним 1;

– стан із пониженим тертям, який виникає в конструкції візка при завишенні клина порівнянні з нормальним станом, в цьому випадку коефіцієнт φ прийнято рівним 0,2 або 0,5;

– передемпфірований стан системи, при якому коефіцієнт φ прийнято рівним 1,5;

– повна відсутність тертя в системі, при цьому коефіцієнт φ прийнято рівним 0.

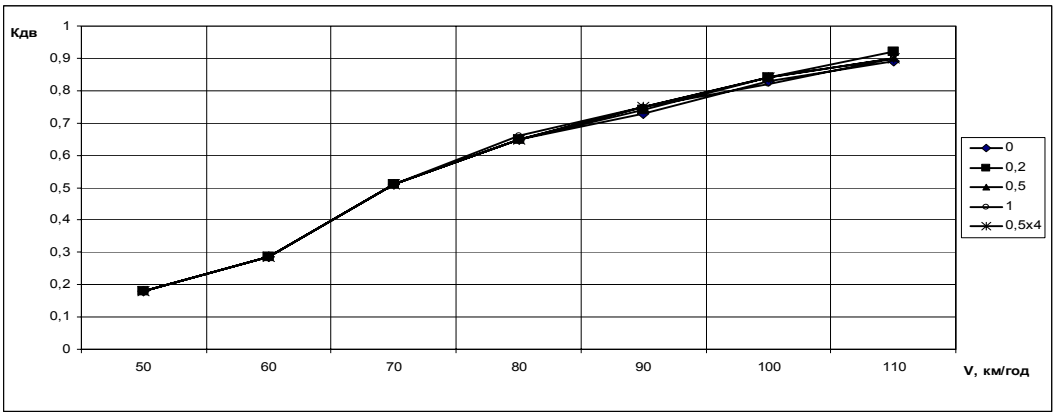
За результатами виконаних розрахунків побудовано графіки залежності основних динамічних показників (рис. 6): коефіцієнтів вертикальної та горизонтальної динаміки; рамної сили; коефіцієнта стійкості; горизонтальне та вертикальне прискорення кузова чотиривісного вантажного піввагона з урахуванням швидкості руху від значення коефіцієнта тертя в системі «кузов – візок».

© С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець, 2014

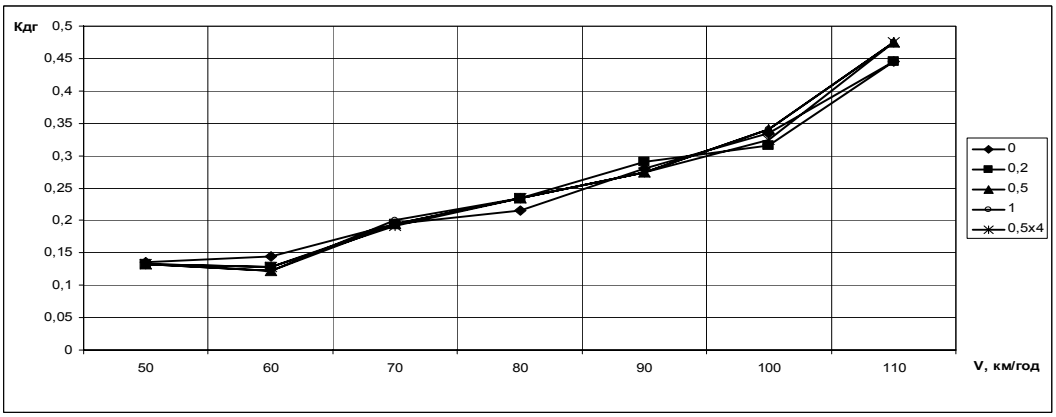
ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2014, № 2 (50)

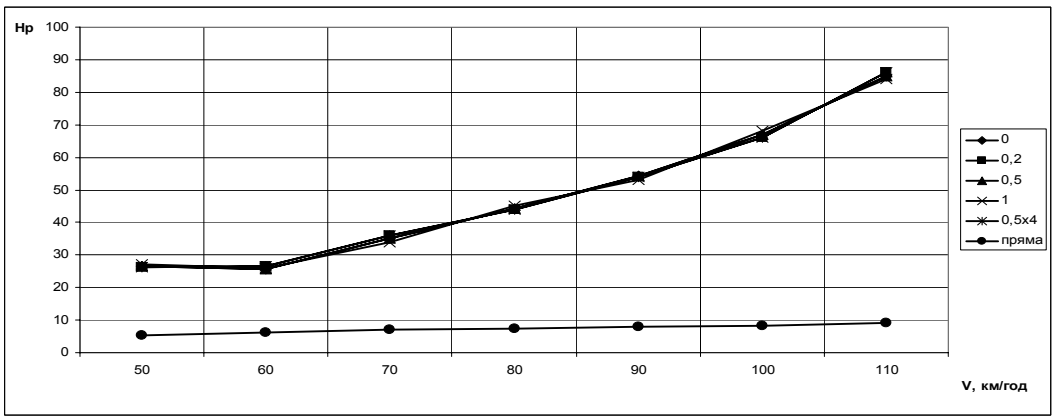
а – a



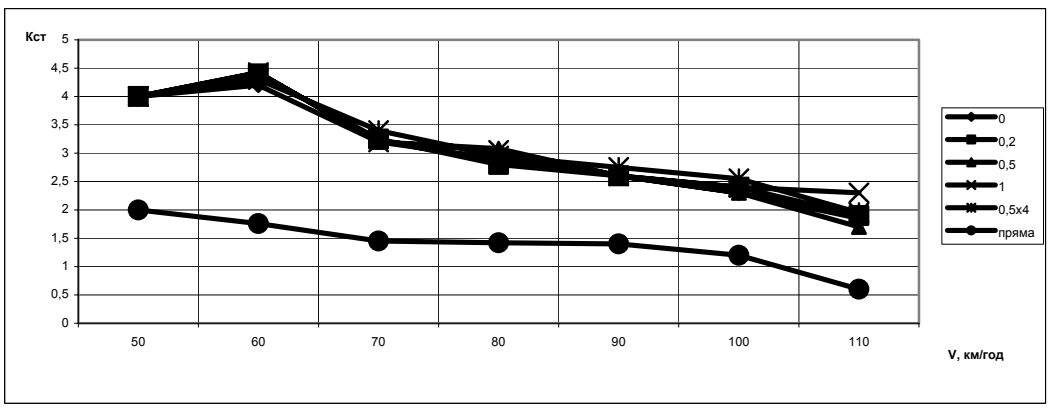
б – b



в – c



г – d

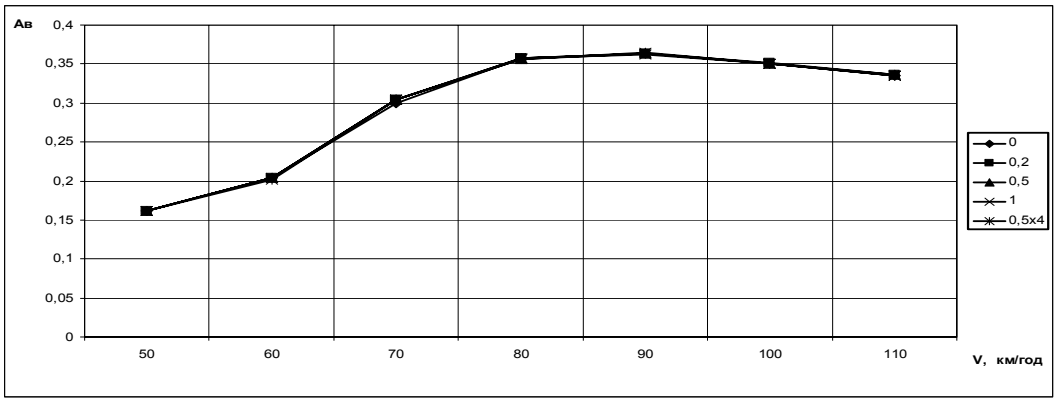


© С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець, 2014

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2014, № 2 (50)

д – е



е – f

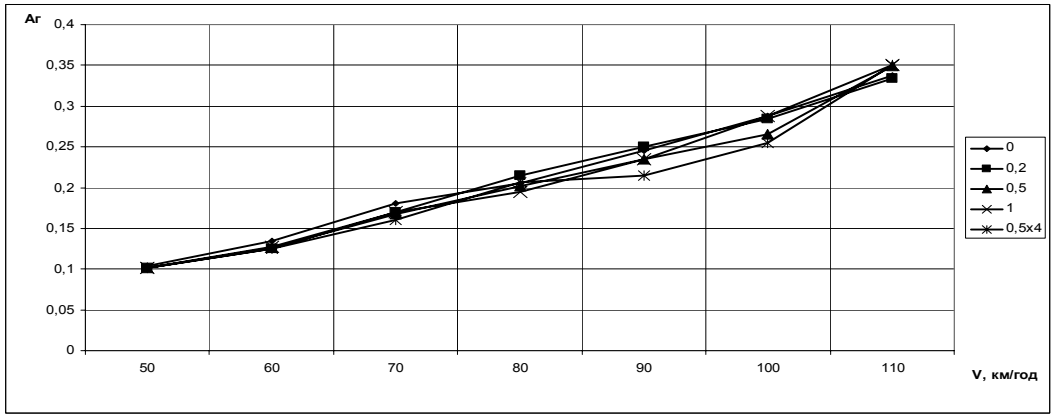


Рис. 6. Діаграми зміни динамічних показників від швидкості руху:
а – коефіцієнт вертикальної динаміки; *б* – коефіцієнт горизонтальної динаміки; *в* – рамна сила; *г* – коефіцієнт стійкості; *д* – вертикальне прискорення кузова; *е* – горизонтальне прискорення кузова

Fig. 6. Diagram of change for dynamic performance from motion speed:
a – vertical dynamic coefficient; *b* – horizontal dynamic coefficient; *c* – frame force; *d* – derailment coefficient; *e* – vertical acceleration of body; *f* – horizontal acceleration of body

З наведених графіків видно, що основні динамічні показники чотиривісного вантажного вагона істотно не залежать від коефіцієнта тертя і при швидкості руху до 100 км/год знаходяться в межах допустимих значень, які відповідають Нормам [8].

При швидкості руху 110 км/год коефіцієнти вертикальної та горизонтальної динаміки перевищують допустимі значення. Горизонтальні прискорення кузова набувають допустимих значень вже при 100 км/год. Встановлена допустима швидкість руху вагонів по прямих та кривих ділянках колії – 90 км/год – підтверджується цим дослідженням.

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 і завантаженому стані з візками ЦНИИ-Х3 (модель 18-100), а й інші складові динаміки руху вантажного вагона, а саме: радіуси кривих ділянок колії, висота зовнішньої рейки тощо.

Наукова новизна та практична значимість

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 цієї статті полягає також у тому, що вперше на значно оновленому теоретичному матеріалі, який охоплює всю історію розвитку теорії тертя і вклю-

© С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець, 2014

чає результати новітніх експериментальних досліджень, комплексно досліджено та показано у взаємозв'язку процеси динамічної завантаженості рухомого складу.

Практична значимість роботи полягає в тому, що одержувані результати мають практичну спрямованість. В ході виконання теоретичних досліджень та після моделювання з поліпшеним методом урахування процесів тертя отримано залежності основних динамічних показників чотиривісного вантажного піввагона від значення коефіцієнта тертя у системі «кузов – візок» з урахуванням швидкості руху. Результати досліджень знайшли своє наукове використання в низці публікацій авторів у спеціальних та науково-популярних виданнях, виступах на наукових конференціях.

Висновки

В 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 вагонів на показники безпеки руху.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

© С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець, 2014

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2014, № 2 (50)

С. В. МЯМЛИН[1*], Л. А. НЕДУЖАЯ[2*], А. А. ШВЕЦ[2]

[1*]Каф. «Вагоны и вагонное хозяйство», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 03, эл. почта sergeymyamlin@gmail.com
[2*]Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 03, эл. почта nlorhen@i.ua
[2]Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 03

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРЕНИЯ В СИСТЕМЕ «КУЗОВ – ТЕЛЕЖКА» НА ДИНАМИКУ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Цель. Основными требованиями к конструкции вагонов нового поколения, согласно Программы обновления подвижного состава, являются требования, которые позволят снизить эксплуатационные расходы и повысить экономическую эффективность их использования с учетом достижений научно-технической мысли. В связи с актуальностью данной тематики работа посвящена исследованию влияния коэффициента трения в опорном соединении «пятник – подпятник – скользуны» грузовых вагонов на их основные динамические показатели – коэффициенты горизонтальной и вертикальной динамики, ускорения кузова, рамную силу, коэффициент устойчивости от схода с рельсов. **Методика.** Исследование проводилось методом численного интегрирования и математического моделирования динамической нагруженности грузового вагона с использованием программного комплекса «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL»). **Результаты.** Исследования показали, что влияние на показатели безопасности движения имеют не только параметры трения в опорном соединении «пятник – подпятник – скользуны» грузового вагона в пустом и загруженном состоянии с тележками ЦНИИ-Х3 (модель 18-100). Влияние имеют и другие составляющие динамики движения грузового вагона, а именно: радиусы кривых участков пути, высота наружного рельса и т.п. **Научная новизна.** Автором исследовано влияние трения на динамическую загруженность вагона с использованием новых подходов к решению задачи прогнозирования динамики подвижного состава. Прогнозирование осуществлялось 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 участках пути малого и среднего радиуса. **Практическая значимость.** Полученные результаты имеют практическую направленность. В ходе выполнения теоретических исследований и после моделирования с улучшенным методом учета процессов трения получены зависимости основных динамических показателей четырехосного грузового полувагона от значения коэффициента трения в системе «кузов – тележка» с учетом скорости движения. Результаты исследований нашли свое научное использование в ряде публикаций авторов в специальных и научно-популярных изданиях.

Ключевые слова: грузовые вагоны; скользуны тележек; скорость движения; прямые и кривые участки пути; динамические показатели

S. V. MYAMLIN[1*], L. O. NEDUZHA[2*], A. O. SHVETS[2]

[1*]Dep. «Cars and Wagon Facilities», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 03, e-mail sergeymyamlin@gmail.com
[2*]Dep. «Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 03, e-mail nlorhen@i.ua
[2]Dep. «Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 03

DETERMINATION OF FRICTION PERFORMANCE INFLUENCE IN THE SYSTEM "BODY–BOGIE" ON THE FREIGHT CAR DYNAMICS

Purpose. The main requirements for the design of a new generation of cars, according to the Program of rolling stock renovation, are the requirements reducing the operating costs and increasing the cost-effectiveness of their use, taking into account the achievements of scientific and technical thought. Due to the urgency of this subject the paper

© С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець, 2014

is devoted to the study of the friction coefficient influence in the bearing connection «center plate – center bowl – bearers» of freight cars on their main dynamic parameters – coefficients of horizontal and vertical dynamics, body acceleration, frame strength, derailment stability factor. **Methodology.** The study was conducted by numerical integration and mathematical modeling of the freight car dynamic loading using the software package «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL»). **Findings**. Investigations have shown that the safety movement parameters are influenced by both the friction parameters in bearing connection «center plate – center bowl – bearers» of freight cars in empty and loaded state with bogies TSNII-X3 (model 18-100) and the other components of freight car dynamics, namely: radii of curved track sections, height of outer rail, etc. **Originality.** The author investigated the friction influence on the car dynamic loading using new approaches to solving the problem of predicting the rolling stock dynamics. Prediction was carried out on the basis of significantly updated theoretical material that covers all history of the friction theory 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. **Practical value.** The obtained results have practical orientation. During the research and after modeling with the improved method of accounting of friction processes dependencies of main dynamic parameters of a four-freight gondola on the value of the friction coefficient in the "body – bogie" with regard to speed were obtained. The results of scientific studies have found their scientific use in a number of author publications in the special scientific and popular publications.

Keywords: freight cars; side bearing; traveling speed; straight and curved track sections; dynamic performance

REFERENCES

1. Appel P. *Statika. Dinamika tochki* [Statics. Particle dynamics]. Moscow, Gos. izd. fiziko-matem. liter. Publ., 1960. 515 p.
2. Bondarenko A.A., Dubinin O.O., Pereiaslavtsev O.M. *Teoretychna mekhanika* [Theoretical mechanics]. Kyiv., Znannia Publ., 2004. 590 p.
3. Verigo M.F., Kogan A.Ya. *Vzaimodeystviye puti i podvizhnogo sostava* [Railway track and rolling stock interaction]. Moscow, Transport Publ., 1986. 560 p.
4. Vershinskiy S.V., Danilov V.N., Khusidov V.D. *Dinamika vagona* [Car dynamics]. Moscow, Transport Publ., 1991. 360 p.
5. Lukhanin N.I., Myamlin S.V., Neduzhaya L.A., Shvets A.A. 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], 2012, issue 29, pp. 234-241.
6. Lazaryan V.A. *Dinamika vagonov* [Dynamics of cars]. Moscow, Transport Publ., 1964. 256 p.
7. Lazaryan V.A. *Dinamika transportnykh sredstv* [Dynamics of vehicles]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1985. 528 p.
8. *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., 1996. 352 p.
9. Danovich V.D., Rybkin V.V., Myamlin S.V., Reydemeyster A.G., Tryakin A.G., Khalipova N.V. 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], 2003, issue 2, pp. 77-86.
10. *Ofitsiinyi veb-sait Ukrzaliznytsi* [Official web-site of Ukrzaliznytsia]. Available at: www/uz.gov.ua (Accessed 21 January 2014).
11. Pavlovskyi M.A. *Teoretychna mekhanika* [Theoretical mechanics]. Kyiv, Tekhnika Publ., 2002. 512 p.
12. Myamlin S.V. *Kompyuternaya programma «Dynamics of Rail Vehicles»* [Software package «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL»). Certificate of copyright registration on the invention], no. 7305, 2003.
13. Sergiyenko N.I. Sostoyaniye i perspektivy razvitiya vagonnogo khozyaystva Ukrzaliznytsi [Condition and development prospects for Ukrzalinytsia's car facilities]. *Vagonnyy park – Wagon fleet*, 2011, no. 9, pp. 4-13.
14. Targ S.M. *Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki* [Short course of theoretical mechanics]. Moscow, Vyssh. Shkola Publ., 1986. 416 p.
15. Shadur L.A. *Vagony: Konstruktsiya, teoriya i raschet* [Cars: construction, theory and calculation]. Moscow, Transport Publ., 1980. 440 p.

© С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець, 2014

16. Bubnov V.M., Myamlin S.V., Mankevych N.V. Dynamic performance of freight cars on bogies model 18-1711. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2013, issue 4 (46), pp. 118-126.
17. Myamlin S., Neduzha L., Ten O., Shvets A. 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*, 2013, no. 1 (43), pp. 162-169.
18. Myamlin S., Luchanin M., Neduzha L. Construction Analysis of Mechanical Parts of Locomotives. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture,* 2013, vol. 13, no. 3, pp. 162-169.
19. Myamlin S., Neduzha L., Ten O., Shvets A. Research of Friction Indices Influence on the Freight Car Dynamics. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture,* 2013, vol. 13, no. 4, pp. 159-166.
20. Myamlin S., Neduzha L., Ten O., Shvets A. Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer Modelling with the Account of Their Inertia Properties. Proc. of 15th Int. Conf. «Mechanika», 2010, pp. 325-328.

Стаття рекомендована д.т.н., проф. В. Л. Горобцем (Україна); д.т.н., проф. О. О. Бейгулом (Україна)

Надійшла до редколегії 04.02.2014
Прийнята до друку 13.03.2014

© С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець, 2014