

УДК 629.4.015

Ю. В. Щербина

(магістр факультету «Інфраструктура і рухомий склад залізниць» спеціальності «Вагони і вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ЯКОСТЕЙ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА ПРИ ЗМІНІ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ РОЗМІЩЕННЯ СИСТЕМИ ДЕМПФІРУВАННЯ ЗАСОБАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

У статті представлені дані проведених досліджень з визначення впливу наявності в конструкційній схемі гасителів коливань в буксовій ступені підвішування на ходові якості пасажирського вагона швидкісного руху на візках з безколісковим підвішуванням.

На базі комп'ютерної моделі динаміки пасажирського вагона для швидкісного руху в програмному комплексі «Универсальный механизм» виконанні розрахунки динамічних показників вагона

Ключові слова: система демпфірування пасажирського вагона, комп'ютерна модель вагона, гасителі коливань, коефіцієнт демпфірування.

В статье представлены данные проведенных исследований по определению влияния наличия в конструкционной схеме гасителей колебаний в буксовой ступени подвешивания на ходовые качества пассажирского вагона скоростного движения на тележках с безюлечным подвешиванием. На базе компьютерной модели динамики пассажирского вагона для скоростного движения в программном комплексе «Универсальный механизм» выполнены расчеты динамических показателей вагона.

Ключевые слова: система демпфирования пассажирского вагона, компьютерная модель вагона, гасители колебаний, коэффициент демпфирования.

Вступ. Запровадження швидкісних пасажирських перевезень, а саме руху поїздів зі швидкостями 160 – 200 км/год, належить до пріоритетних завдань розвитку залізниць України. В значній мірі успіх організації швидкісних перевезень залежить від технічних характеристик рухомого складу [1-3], що значною мірою визначається конструктивними схемами і параметрами ходових частин. З огляду на досягнутий рівень теоретичних досліджень динамічних процесів, які супроводжують рух рейкового рухомого складу, оцінку показників динаміки швидкісного пасажирського рухомого складу та його взаємодії з колією доцільно виконувати з залученням сучасних засобів комп'ютерного моделювання [1, 6, 7]. Раціональні параметри ресорного підвішування ходових частин пасажирського вагона визначаються за результатами математичного моделювання. Візки швидкісних пасажирських вагонів переважно виконуються за конструкційними схемами, що передбачають реалізацію двоступеневого ресорного підвішування.

© Щербина Ю. В., 2016

Структурно об'єкт «Пасажи́рський вагон» є цілісною системою, до складу якої входять окремі підсистеми твердих тіл, пов'язаних між собою шарнірними зв'язками і силовими елементами. Модель системи має три рівні (рис. 2): 1 – «Колісні пари з буксовими вузлами»; 2 – «Візок»; 3 – «Пасажи́рський вагон». Загальна модель містить тотожні підсистеми з еквівалентними ідентифікаторами масово-інерційних характеристик тіл, пружно-дисипативних властивостей, силових зв'язків.

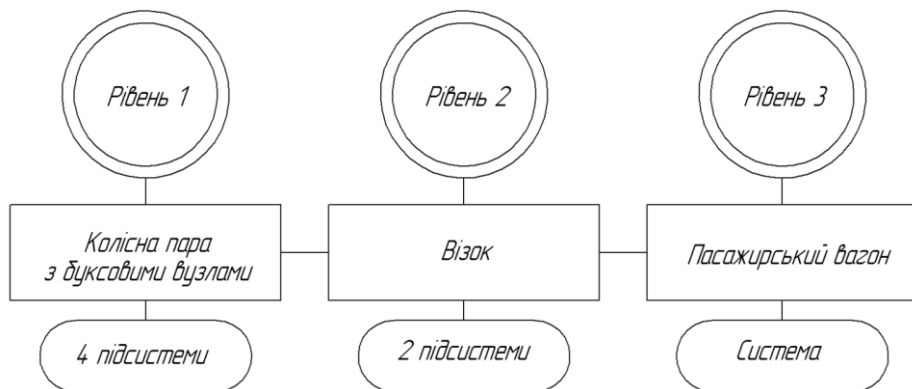


Рис. 2. Структурна схема моделі динаміки пасажирського вагона швидкісного руху

Підсистема «Колісна пара з буксовими вузлами» створена з двох твердих тіл – буксових вузлів, які за допомогою обертальних шарнірів з'єднані з колісною парою, що має шість степенів вільності. Загальний вигляд підсистеми показано на рис. 3.

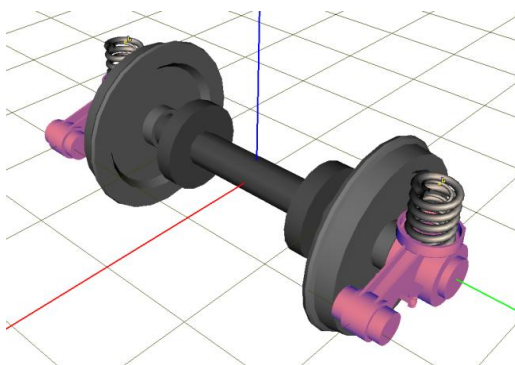


Рис. 3. Підсистема «Колісна пара з буксовими вузлами»

Буксове підвішування з важелем буксової підвіски, який обмежує горизонтальні і кутові переміщення колісних пар відносно рами візка (рис.4), представлено в моделі лінійними силовими елементами пружно-в'язкого типу, що відображають циліндричні пружини, та біполярними елементами, що відображають гідравлічні гасителі коливань. У моделі вони відображені лінійними силовими елементами пружно-в'язкого типу з встановленими параметрами жорсткості заданими за допомогою ідентифікаторів.

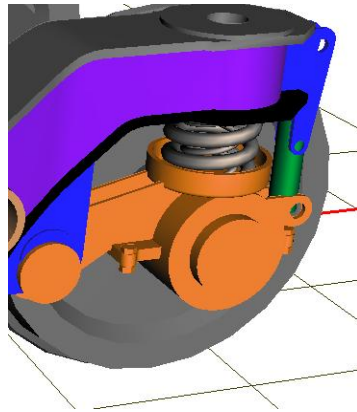


Рис. 4. Графічне зображення буксового підвішування вагона

Підсистема «Візок» складається з двох підсистем колісних пар з буксовими вузлами та рами візка, а також пружних елементів центрального підвішування і силових елементів – гасителів коливань, важелів буксового підвішування, торсійного пристрою (рис. 5).

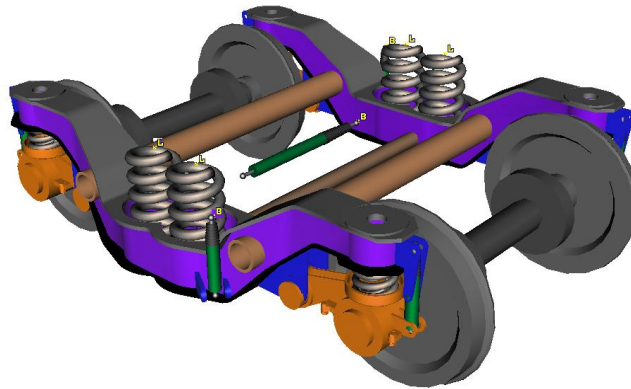


Рис. 5. Підсистема «Візок»

Система «Пасажи́рський вагон», графічний образ якої показано на рис. 6, сформована з 19-ти твердих тіл, 18-ти лінійних і 22-х біполярних силових елементів.

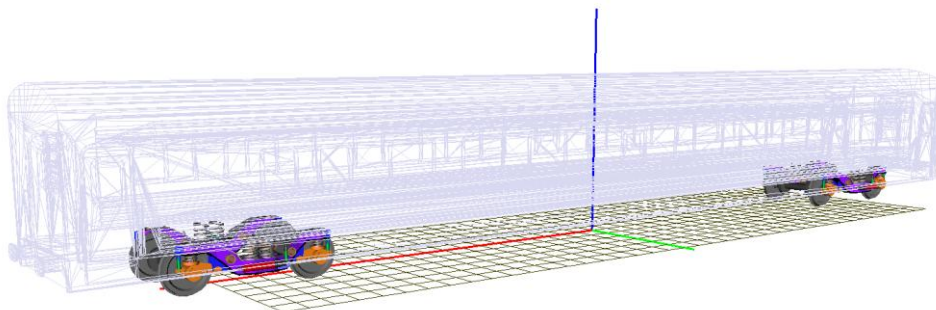


Рис. 6. Система «Пасажи́рський вагон»

Комп'ютерна модель динаміки швидкісного вагона містить 14 груп вихідних величин, до яких входять:

- бокові сили Y , що діють від коліс на рейкову колію (позначення « Fy_{ij} », де i – номер колісної пари; $i = 1 \dots 4$, j – ліве або праве колесо колісної пари, $j = l, r$);
- вертикальні сили Q , що діють від коліс на рейкову колію (позначення « Fz_{ij} », де i – номер колісної пари; $i = 1 \dots 4$, j – ліве або праве колесо колісної пари, $j = l, r$);
- рамні сили H , що діють від рами візка на колісну пару на (позначення « Hu_i », де i – номер колісної пари; $i = 1 \dots 4$);
- горизонтальні поперечні прискорення кузова вагона з урахуванням місць встановлення датчиків (позначення « ay ») за схемою (див. *рис. 7*);
- вертикальні прискорення кузова вагона з урахуванням місць встановлення датчиків (позначення « az ») відповідно до схеми (див. *рис. 7*);
- горизонтальні поперечні прискорення рами візка з урахуванням місць встановлення датчиків (позначення « ay ») згідно схеми розміщення датчиків (див. *рис. 7*);
- вертикальні прискорення рами візка з урахуванням місць встановлення датчиків (позначення « az ») за схемою розміщення датчиків (див. *рис. 7*);
- коефіцієнти вертикальної динаміки буксового ступеня підвішування;
- коефіцієнти вертикальної динаміки центрального ступеня підвішування;
- коефіцієнти запасу стійкості від сходу з рейок;
- коефіцієнти запасу стійкості від сходу з рейок (критерій Надаля);
- поперечні переміщення колісних пар вагона;
- горизонтальні і вертикальні нерівності рейкової колії.

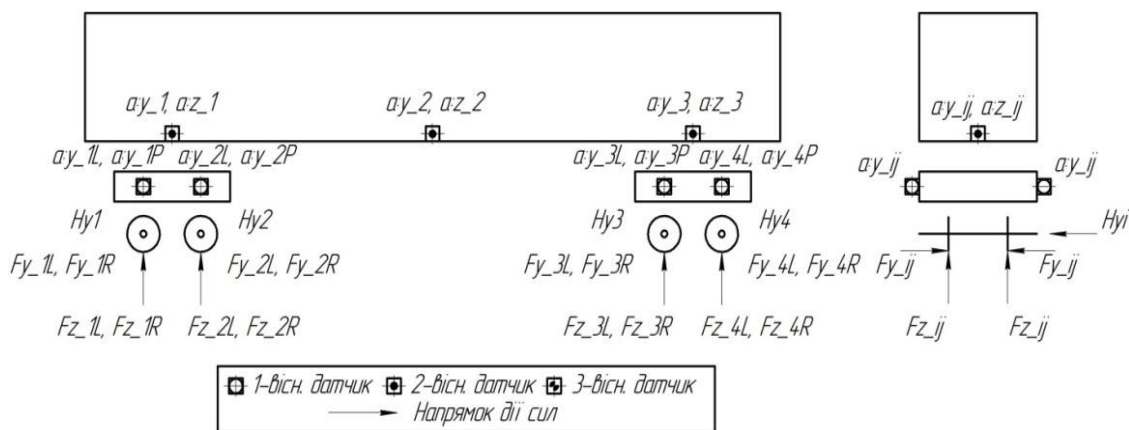


Рис. 7. Схема розміщення датчиків для визначення вихідних величин

За результатами дослідних розрахунків побудовані графіки залежностей середньоквадратичних відхилень (СКВ) сил взаємодії коліс і рейок, тобто сил Y і Q , а також прискорень рам візків і кузова.

На рисунках 8 – 9 приведено графіки СКВ сил контактної взаємодії Y і Q . Як видно з *рис. 8*, суттєві зміни в системі буксового підвішування стосовно демпфірування коливань практично не відображаються на бокових силах Y . Разом з тим, з порівняння даних розрахунків, представлених на *рис. 9* виходить, що відсутність сил в'язкого опору суттєво змінює залежності змін вертикальних сил Q . Так, якщо рівень цих сил поступово зростає з нарощуванням швидкості руху екіпажу з номінальними параметрами (*рис. 9, а*), то для конструкційного варіанту, що відповідає випадку відсутності буксових гасителів (*рис. 9, б*) рівень сил Q значно підвищується у швидкісному діапазоні 140-160 км/год.

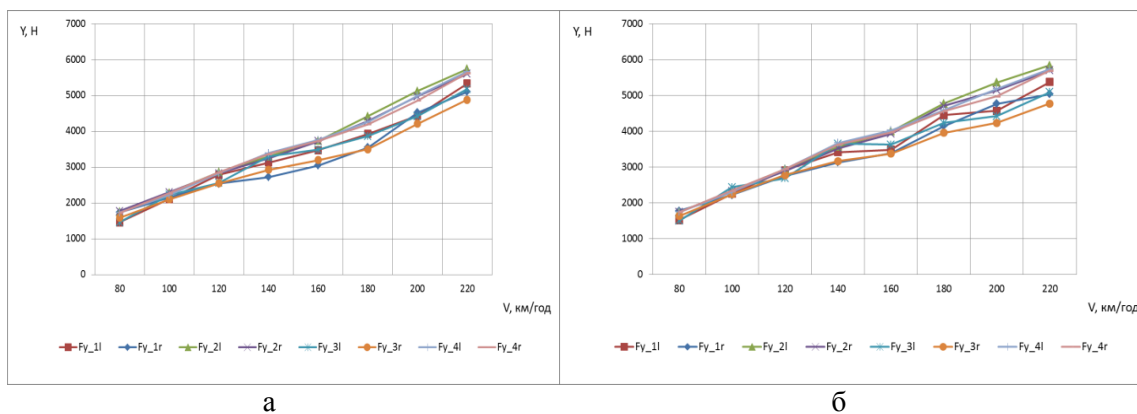


Рис. 8. СКВ горизонтальних сил взаємодії Y
а – при наявності буксових гасителів ($damp_{bv}=25000$ Нс/м);
б – при відсутності буксових гасителів ($damp_{bv}=0$ Нс/м)

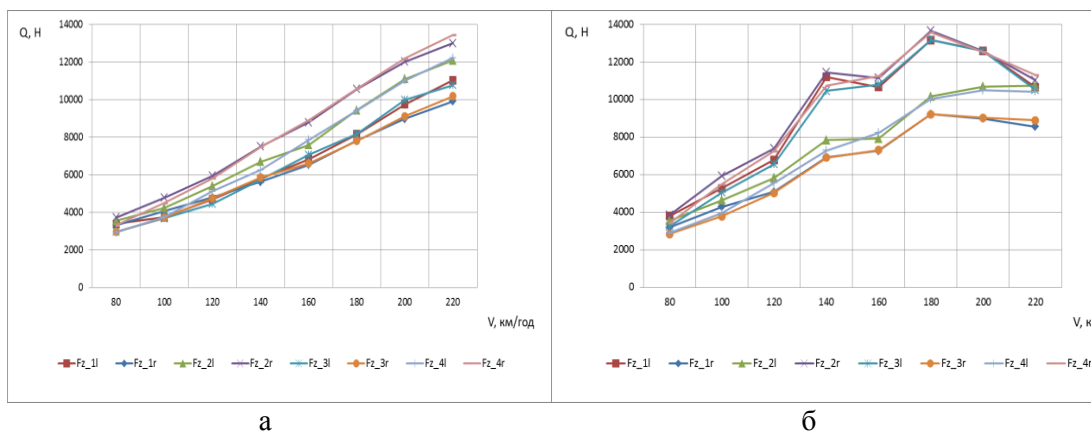


Рис. 9. СКВ вертикальних сил взаємодії Q
а – при наявності буксових гасителів ($damp_{bv}=25000$ Нс/м);
б – при відсутності буксових гасителів ($damp_{bv}=0$ Нс/м)

На рисунках 10 – 11 представлені графіки залежностей СКВ прискорень рам візків. В таблиці 1 наведено максимальні значення СКВ прискорень рам візків. В чисельнику приведено розрахункові дані для варіанту, коли параметр $damp_{bv}=25000$ Нс/м, а в знаменнику – дані, отримані при $damp_{bv}=0$ Нс/м.

Як видно з рисунків і даних таблиці 1, параметри демпфірування в буксовому підвішуванні істотно впливають на рівень вертикальних прискорень рам візків майже у всьому розрахунковому діапазоні швидкостей руху. Значно менше відзначається вплив цих параметрів на рівень горизонтальних прискорень (див. рис. 11).

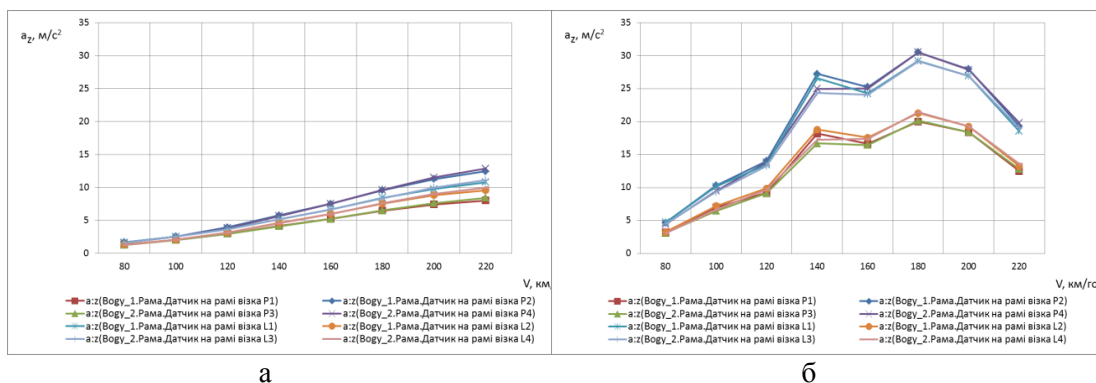


Рис. 10. СКВ вертикальних прискорень рам візків
 а – при наявності буксових гасителів ($damp_{bv}=25000$ Нс/м);
 б – при відсутності буксових гасителів ($damp_{bv}=0$ Нс/м)

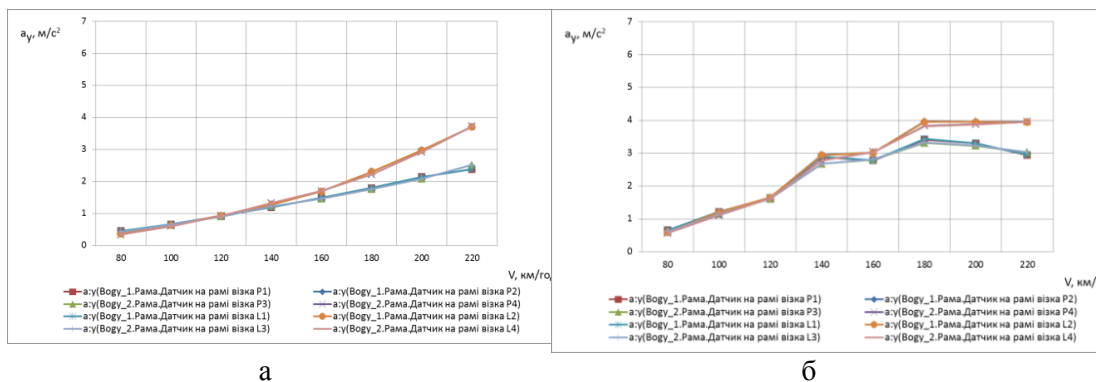


Рис. 11. СКВ горизонтальних прискорень рам візків
 а – при наявності буксових гасителів ($damp_{bv}=25000$ Нс/м);
 б – при відсутності буксових гасителів ($damp_{bv}=0$ Нс/м)

На рисунках 12 – 13 показано графіки залежностей СКВ прискорень кузова, отриманими за двома станами системи демпфірування в буксовому підвішванні. В таблиці 2 наведено максимальні значення СКВ прискорень кузова. Як і в таблиці 1, тут в чисельнику приведено розрахункові дані для варіанту, коли параметр $damp_{bv}=25000$ Нс/м, а в знаменнику – дані, отримані при $damp_{bv}=0$ Нс/м.

З приведених результатів розрахунків видно, що виключення з роботи буксових демпферів дещо підвищує рівень прискорень кузова.

Таблиця 1

Макс. СКВ прискорень рам візків	Швидкість руху, км/год							
	80	100	120	140	160	180	200	220
$a_z, \text{ м/с}^2$	$\frac{1,63}{4,68}$	$\frac{2,52}{10,30}$	$\frac{3,89}{14,02}$	$\frac{5,74}{27,23}$	$\frac{7,50}{25,23}$	$\frac{9,60}{30,50}$	$\frac{11,48}{27,95}$	$\frac{12,84}{19,80}$
$a_y, \text{ м/с}^2$	$\frac{0,45}{0,65}$	$\frac{0,66}{1,21}$	$\frac{0,93}{1,65}$	$\frac{1,32}{2,95}$	$\frac{1,70}{3,03}$	$\frac{2,30}{3,96}$	$\frac{2,97}{3,95}$	$\frac{3,72}{3,95}$

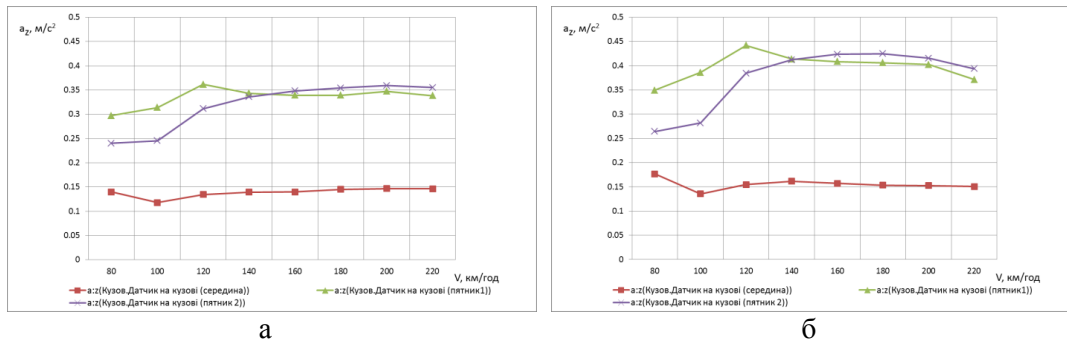


Рис. 12. СКВ вертикальних прискорень кузова
 а – при наявності буксових гасителів ($damp_{bv}=25000$ Нс/м);
 б – при відсутності буксових гасителів ($damp_{bv}=0$ Нс/м)

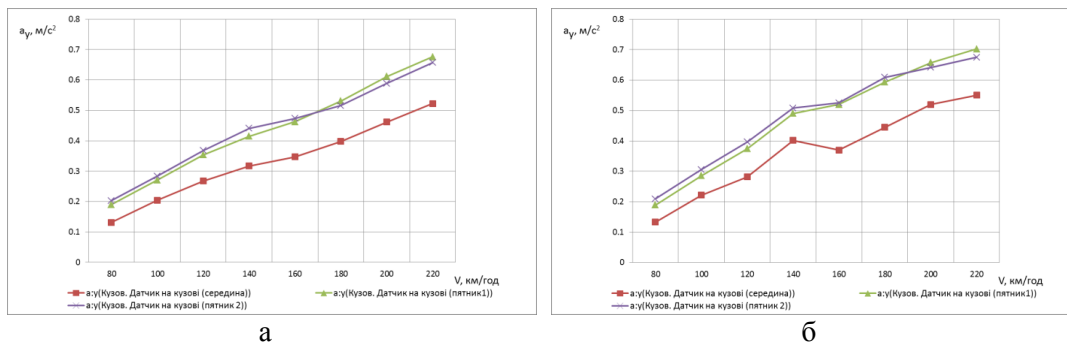


Рис. 13. СКВ горизонтальних прискорень кузова
 а – при наявності буксових гасителів ($damp_{bv}=25000$ Нс/м);
 б – при відсутності буксових гасителів ($damp_{bv}=0$ Нс/м)

Таблиця 2

Макс. СКВ прискорень кузова	Швидкість руху, км/год							
	80	100	120	140	160	180	200	220
$a_z, m/c^2$	<u>0,30</u> 0,35	<u>0,31</u> 0,39	<u>0,36</u> 0,44	<u>0,34</u> 0,41	<u>0,35</u> 0,42	<u>0,35</u> 0,42	<u>0,36</u> 0,42	<u>0,36</u> 0,39
$a_y, m/c^2$	<u>0,20</u> 0,21	<u>0,28</u> 0,31	<u>0,37</u> 0,40	<u>0,44</u> 0,51	<u>0,47</u> 0,52	<u>0,53</u> 0,61	<u>0,61</u> 0,66	<u>0,68</u> 0,70

Результати розрахунків показників плавності ходу при наявності і відсутності буксових демпферів представлені на рис. 14 – 15.

З рис. 14 видно, що відсутність демпфірування призводить до погіршення показників плавності ходу в горизонтальному напрямку при швидкостях руху вище 120 км/год.

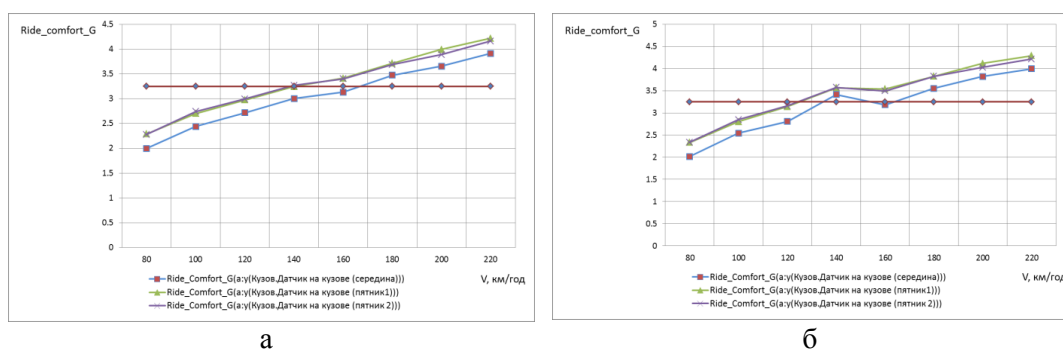


Рис. 14. Показники плавності ходу в горизонтальному напрямку
 а – при наявності буксових гасителів ($damp_{bv}=25000$ Нс/м);
 б – при відсутності буксових гасителів ($damp_{bv}=0$ Нс/м)

Як видно з рис. 15, при наявності буксових гасителів коливань достатня плавність ходу у вертикальному напрямку забезпечується впродовж всього дослідженого діапазону швидкостей руху, тоді як за відсутності гасителів коливань показники плавності ходу виходять на обмеження при швидкості 140 км/год.

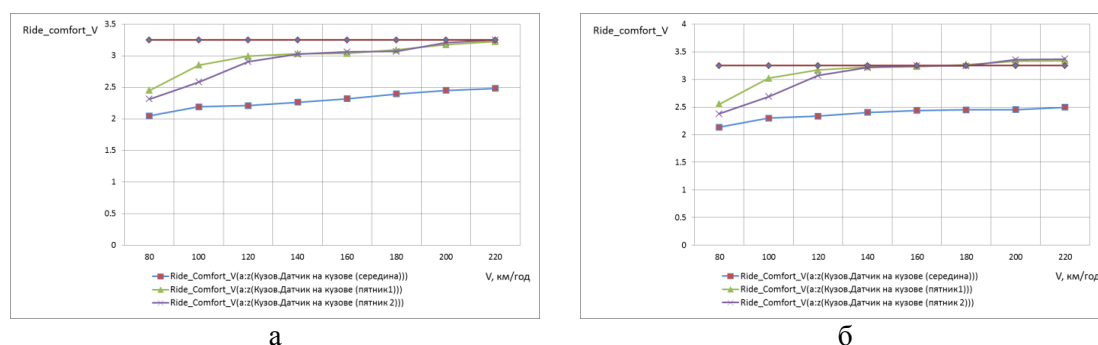


Рис. 15. Показники плавності ходу в вертикальному напрямку
 а – при наявності буксових гасителів ($damp_{bv}=25000$ Нс/м);
 б – при відсутності буксових гасителів ($damp_{bv}=0$ Нс/м)

Висновки. За результатами проведеної роботи встановлено наступне:

1. Рівень вертикальних сил контактної взаємодії коліс і рейок при конструкційно-модельному варіанті, що відповідає випадку відсутності буксових гасителів значно підвищується у швидкісному діапазоні 140-160 км/год.
2. При внесенні конструкційних змін, пов'язаних з вилученням гідравлічних гасителів буксового ступеня підвішування візка, на рамах візків виникають інтенсивні вертикальні коливання, а рівень СКВ прискорень рам візків при встановлених швидкостях руху $V = 80 - 220$ км/год підвищується в 2-4 рази, окрім того, виключення з роботи буксових демпферів дещо підвищує рівень прискорень кузова;
3. З аналізу розрахованих показників плавності ходу встановлено, що позбавлення першого ступеню ресорного підвішування демпфірування негативним чином позначається на плавності ходу як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямках, за відсутності гасителів коливань показники плавності ходу виходять на обмеження при швидкості 140 км/год.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дёмин Ю.В., Черняк А.Ю. Математическое моделирование и динамика подвижного состава железных дорог // *Залізнич. транспорт України*. – 2007. – № 4. – С. 3-8.
2. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал*. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271
3. Фомін, О.В. Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції / О.В. Фомін // *Науковий вісник Національного гірничого університету*. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №3. – С.68-76
4. *Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)* ГосНИИВ — ВНИИЖТ, М., 1996. — 319 с.
5. Fomin, O.V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars / O.V. Fomin / *Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry»*. 2014, No. 5 – P.31-43.
6. Совершенствование динамических качеств подвижного состава железных дорог средствами компьютерного моделирования / *Михальченко Г.С., Погорелов Д.Ю., Симонов В.А.* // *Тяжелое машиностроение*. — 2003. — №12. — С. 2-6.
7. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів / О.В. Фомін // *Науковий журнал «Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського»*. – Кременчук: КДПУ, 2013. – Вип. 6(83). – С. 87-91.
8. Базова комп'ютерна модель просторової динаміки пасажирського вагона для швидкісного руху / *Г.Ю.Черняк, Ю.В. Щербина* // *Залізничний трансп. України*. — 2012. — №6. — С. 55–58.
9. Черняк Г.Ю., Щербина Ю.В. Розробка математичної моделі динаміки пасажирського вагона в програмному комплексі «Універсальний механізм» // *Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології: Матеріали ІV міжнародної науково-практичної конференції. Серія. «Техніка, технологія»*. – К.: ДЕТУТ, 2008. – С. 112.

Yuri Scherbina

(Student for Master Degree of the Cars and Carriage Facilities Chair of the State University for Transport Economy and Technologies)

RESEARCH OF QUALITY OF PASSENGER WAGON CHANGES IN DESIGN LAYOUT BY MEANS OF DAMPING COMPUTER SIMULATION

The article presents the studies to determine the effect of the presence of a structural scheme of dampers in the axle-box level hanging on driving performance of high-speed passenger train on bogies without cradle suspension.

On the basis of a computer model of the dynamics of a passenger car for the high-speed service in the software complex «Universal mechanism» calculated the dynamic performance of the carriage.

Keywords: damping carriage system, a computer model of the car, dampers, damping factor.

REFERENCES

1. Diomin Yu, Chernyak G. Matematicheskoe modelirovanie i dinamika podvignogo sostava geleznihi dorog // *Zalozn. Transport Ukraini*, 2007, No 4, P. 3-8.
2. Fomin, O.V. Konceptija ideal'nihi kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // *Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal*. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013, No 4 (193), pp. 267-271.
3. Fomin, O.V. Pidvishhennja stupenja ideal'nosti vantazhnihi vagoniv ta prognozuvannja stadij ih evoljucii [Increased ideal freight cars and forecasting stages of their evolution] [Text] / O.V Fomin // *Scientific Bulletin of National Mining University*. – Dnepropetrovsk: NSU, 2015, №3, P. 68-76 – Access:

<http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichna-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.

4. Normy rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznyh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh) s izmenenijami i dopolnenijami [Norms calculating and designing railways carriages IPS gage railway 1520 mm (nesamohodnyh) s Changes and additions]. – HosNYVV – VNYYZHT. Moscow, 1996.

5. Fomin, O.V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5, P.31-43.

6. Sovershenstvovanie dinamicheskikh kachestv podvignogo sostava geleznih dorog sredstvami komputernogo modelirovaniya / Mihalchenko G, Pogorelov D, Simonov V.// Tjageoe mashinostroenie. — 2003, No 12, P. 2-6.

7. Fomin O.V. Teoretychni osnovy prohramnogo kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv / O.V. Fomin // Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho». – Kremenchuk: KDPU, 2013, No. 6(83), S. 87-91.

8. Bazova komputernaja model proatorovoi dinamiki pasagirskogo vagona dlja shvidkysnogo ruhu / G. Chernyak, Yu. Scherbina // Zalizn. Transport Ukraini, 2012, No 6, P. 55–58.

9. Chernyak G., Scherbina Yu. Rozrobka komputernaja model proatorovoi dinamiki pasagirskogo vagona v programnomy kompleksi «Universalnij mehanizm» //Problemi ta perspektivi rozvitku transportnih system v umovah reformyvannja zaliznichnogo transportu: upravlinja, ekonomika s tehnologii: Materiali IV mignarodnoi naukovy-praktichnoi konferencii. Seria. «Tehnika, tehnologii», K.: DETUT, 2008, P. 112.