

УДК 629.45.46.015:629.4.027.5

Кирильчук, О. А. Теоретичні дослідження горизонтальних коливань вагона, який обладнано колісними парами з незалежним обертанням коліс [Theoretical Research of Lateral Oscillations of a Railway Vehicle Equipped with Independently Rotating Wheels] / О. А. Кирильчук // Вісник сертифікації залізничного транспорту. – 2019. – № 02 (54). – С. 42-49.

**ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ВАГОНА,
ЯКИЙ ОБЛАДНАНО КОЛІСНИМИ ПАРАМИ З НЕЗАЛЕЖНИМ
ОБЕРТАННЯМ КОЛІС**

*Кирильчук О. А., старший викладач каф. «Вагони та вагонне господарство»,
Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені акад. В. Лазаряна*

Анотація: Стаття присвячена дослідженню бокових коливань та оцінці стійкості руху чотиривісного залізничного вагону, оснащеного колісними парами з незалежним обертанням коліс. Побудовано лінійну математичну модель руху по прямій ділянці колії колісної пари з незалежним обертанням коліс, яка має чотири ступені свободи. Модель цієї колісної пари була використана в математичній моделі всього вагону, що представляє собою типовий залізничний пасажирський вагон. Для оцінки стійкості руху вагону використовувалися методи лінійної алгебри. Досліджено вплив швидкості руху, жорсткості кручення і в'язкості з'єднувального елемента між колесами колісних пар з незалежним обертанням коліс.

Результати дослідження показують, що колісні пари з незалежним обертанням коліс і в'язким з'єднувальним елементом забезпечують стабільну поведінку вагону зі швидкістю понад 500 км/год. В перспективі, цей тип колісної пари може застосовуватися для високошвидкісного залізничного рухомого складу, оскільки забезпечується або подальше збільшення швидкості руху або спрощення ходових частин при збереженні високої швидкості.

Ключові слова: колісна пара, незалежне обертання коліс, горизонтальна динаміка, вагон, комп'ютерне моделювання.

**THEORETICAL RESEARCH OF LATERAL OSCILLATIONS OF A RAILWAY
VEHICLE EQUIPPED WITH INDEPENDENTLY ROTATING WHEELS**

*O. Kyryl'chuk, senior lecturer of department «Car and Car Facilities»,
Dnipro National University of Railway Transport named after Acad. V. Lazaryan*

Abstract. The paper is devoted to the study of lateral oscillation and the assessment of the motion stability of a four axle railway vehicle equipped with wheelsets with independently rotating wheels. First, a linear four degrees of freedom mathematical model of the unconstrained wheelset in a straight track has been built. The wheelset model was consequently utilized in a model of the whole vehicle representing typical railway passenger car. Linear algebra methods were used to assess the stability. The influence of a running velocity, the torsional stiffness of wheelsets and the viscosity of coupling element between wheels was studied. Results of this study shows that wheelsets with independently rotating wheels and viscous coupling element enable stable behaviour of a vehicle at speeds exceeding 500 km/h. Prospectively, this type of wheelset is applicable to high-speed railway vehicles,

because it offers either further increase of running speeds or simplification of running gear while preserving high speed stability

Keywords: railway wheelset, independently rotating wheels, lateral dynamics, railway vehicle, computer simulation.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Вплив параметрів зв'язку між кузовом і візком на динаміку вантажного вагона / С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець, В. М. Дузик // Вагонний парк. – 2014. – № 9. – С. 4-9.
2. Динамика грузовых вагонов с учетом поперечного смещения тележек / Н. И. Луханин, С. В. Мямлин, Л. А. Недужая, А. А. Швец // Зб. наук. пр. ДонІЗТ. – 2012. – Вип. 29. – С. 234-241.
3. Жаковський, О. Д. Вплив конструкції буксового вузла вантажного візка на навантаженість роликів касетного підшипника / О. Д. Жаковський, О. А. Кирильчук, Л. О. Недужа // Вісник сертифікації залізничного транспорту. – 2018. – № 05 (51). – С. 12-20.
4. Калівода, Я. Досвід експериментальних досліджень рухомого складу з використанням стендового обладнання / Я. Калівода, Л. Недужа // Вагонний парк. – 2017. – № 3-4. – С. 28-30.
5. Клименко, И. В. Определение значений жесткости связи наклонной тяги с кузовом грузового локомотива / И. В. Клименко, Л. А. Недужая // Вісник сертифікації залізничного транспорту. – 2018. – № 04 (50). – С. 60-68.
6. Комп'ютерне моделювання залізничних транспортних засобів: метод. вказівки до виконання практичних робіт, курсового та дипломного проектування / М. І. Капіца, Я. Калівода, Л. О. Недужа, О. Б. Очкасов, Д. В. Черняєв. – Д.: ДНУЗТ, 2018. – 59 с.
7. Мямлін, С. В. Визначення впливу показників тертя в системі «Кузов – Візок» на динаміку вантажного вагона / С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 2 (50). – С. 152-163. doi: 10.15802/stp2014/23792.
8. Мямлін, С. В. Дослідження динаміки та міцності вантажних вагонів: навч. посіб. / С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець. – Д.: «Свідлер А.Л.». – 2018. – 257 с.
9. Мямлин, С. В. Теоретические исследования динамики полувагонов / С. В. Мямлин, Л. А. Недужая, А. А. Тен // Зб. наук. пр. ДонІЗТ. – 2010. – Вип. 24. – С. 143-151.
10. Мямлін, С. В. Технічний стан ковзунів як один із факторів впливу на динаміку вантажних вагонів / С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець // Зб. наук. пр. ДонІЗТ. – 2013. – Вип. 35. – С. 65-72.
11. Недужа, Л. О. Використання сучасного пакету програм при розв'язанні інженерних задач на залізничному транспорті / Л. О. Недужа, А. О. Швець // Локомотив-інформ. – 2016. – № 5–6. – С. 42-44.
12. Недужа, Л. О. Теоретичні та експериментальні дослідження міцнісних якостей хребтової балки вантажного вагона / Л. О. Недужа, А. О. Швець // Наука та прогрес транспорту. – 2018. – № 1 (73). – С. 131-147. doi: 10.15802/stp2018/123457.
13. Определение инерционных характеристик подвижного состава при моделировании динамической нагруженности / С. В. Мямлин, Л. А. Недужая, А. А. Тен, А. А. Швец // Зб. наук. пр. ДонІЗТ. – 2011. – Вип. 25. – С. 137-144.

14. Недужа, Л. О. Дорога над Дніпром. Сучасність та перспективи / Л. О. Недужа, О. Є. Чернявська // Вісник сертифікації залізничного транспорту. – 2019. – № 1. – С. 28-32.
15. Татарінова, В. А. Застосування програмних комплексів при дослідженні стану транспортних засобів / В. А. Татарінова, Я. Калівода, Л. О. Недужа // Вісник сертифікації залізничного транспорту. – 2018. – № 04 (50). – С. 82-91.
16. Тен, А. А. Экспериментальные исследования динамической нагруженности полувагона на перспективных тележках / А. А. Тен, С. В. Мямлин, Л. А. Недужая // Вагонный парк. – 2014. – № 10. – С. 14-18.
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 транспорту. – 2013. – № 1 (43). – С. 162-169. doi: 10.15802/stp2013/9589.
18. Kalivoda, J. Enhancing the Scientific Level of Engineering Training of Railway Transport Professionals / J. Kalivoda, L. O. Neduzha // Наука та прогрес транспорту. – 2017. – № 6 (72). – С. 128-137. doi: 10.15802/stp2017/119050.
19. Kalivoda, J. Roller rig testing at the Czech technical university / J. Kalivoda, P. Bauer // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 4 (64). – С. 125-133. doi: 10.15802/stp2016/77994.
20. Kyryl'chuk, O. High Speed Stability of a Railway Vehicle Equipped with Independently Rotating Wheels / O. Kyryl'chuk, J. Kalivoda, L. Neduzha // Proc. of 24th Intern. Conf. «Engineering Mechanics 2018». – P. 473-476. doi: 10.21495/91-8-473.
21. Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars / S. Myamlin, O. Lunys, L. Neduzha, O. Kyryl'chuk // Transport Means : Proc. of 21st Intern. Scientific Conf. (20–22nd Sept. 2017). – Kaunas, 2017. – P. 973–976.
22. Myamlin, S. Estimation of Dynamic Qualities of Freight Wagons on Bogies of a Perspective Model / S. Myamlin, O. Lunys, L. Neduzha // Proc. of IX Intern. Conf. «Transport Problems». – 2017. – P. 459-469.
23. Myamlin, S. Experimental Research of Dynamic Qualities of Freight Cars with Bogies of Different Designs / S. Myamlin, O. Ten, L. Neduzha // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 3 (51). – С. 136-145. doi: 10.15802/stp2014/25921.
24. Мямлін, С. В. Роль студентської науки у формуванні світогляду інженера-механіка / С. В. Мямлін, Л. О. Недужа // Локомотив-інформ. – 2015. – № 1-2. – С. 55-57.
25. Myamlin, S. Testing of Railway Vehicles Using Roller Rigs / S. Myamlin, J. Kalivoda, L. Neduzha // Proc. of 10th Intern. Scientific Conf. «Transbaltica 2017». Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 187. – P. 688-695. doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.439.
26. Neduzha, L. O. Application of APM WinMachine Software for Design and Calculations in Mechanical Engineering / L. O. Neduzha, A. O. Shvets // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 2 (62). – С. 129-147. doi: 10.15802/stp2016/67328.
27. Research of Friction Indices Influence on the Freight Car Dynamics / S. Myamlin, L. Neduzha, O. Ten, A. Shvets // ТЕКА Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2013. – Vol. 13, No 4. – P. 159-166.
28. Недужа, Л. О. Вітчизняні електровози для залізниць України // Недужа Л. О., Ботін О. В., Чернявська О. Є. // Вісник сертифікації залізничного транспорту. – 2019. – № 1. – С. 22-27.

29. Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer Modelling with the Account of Their Inertia Properties / S. Myamlin, L. Neduzha, O. Ten, A. Shvets // Proc. of 15th Intern. Conf. «Mechanika 2010». – 2010. – P. 325-328.

References:

1. Influence of Performance Connection between the Body and Bogie on Freight Wagons' Dynamics [Vpliv parametriv zv'yazku mizh kuzovom i vizkom na dinamiku vantazhnogo vagona] / S. V. Myamlin, L. O. Neduzha, A. O. Shvets, V. M. Duzik // Car fleet [Vagonniy park]. – 2014. – Vol. 9. – P. 4-9.
2. Dinamika gruzovykh vagonov s uchetom poperechnogo smeshcheniya telezhek [Freight cars dynamics, taking into account transversal displacement of the bogies] / N. I. Lukhanin, S. V. Myamlin, L. A. Neduzhaya, A. A. Shvets // Zb. nauk. pr. DonIzT. – 2012. – Vol. 29. – P. 234-241.
3. Zhakovskiy, O. D. Influence of Construction Axle Box of Freight Bogie on Loading Rollers Cassette Bearing [Vpliv konstruktsii buksovogo vuzla vantazhnogo vizka na navantazhenist rolikiv kasetnogo pidshipnika] / O. D. Zhakovskiy, O. A. Kirilchuk, L. O. Neduzha // Visnik sertifikatsii zaliznichnogo transportu. – 2018. – Vol. 05 (51). – P. 12-20.
4. Kalivoda, J. Experimental Research Experience with Rolling Stock Stand Equipment [Dosvid eksperimentalnykh doslidzhen rukhomogo skladu z vikoristanniam stendovogo obladnannya] [Dosvid eksperymentalnykh doslidzhen rukhomoho skladu z vykorystanniam stendovoho obladnannya] / J. Kalivoda, L. Neduzha // Car fleet [Vagonniy park]. – 2017. – Vol. 3-4. – P. 28-30.
5. Klimenko, I. V. Determination of the Values of Hardness in the Bond of the Sloping Beam with the Freight Locomotive's Body [Opredelenie znacheniy zhestkosti svyazi naklonnoy tyagi s kuzovom gruzovogo lokomotiva] / I. V. Klimenko, L. O. Neduzha // Visnik sertifikatsii zaliznichnogo transportu. – 2018. – Vol. 04 (50). – P. 60-68.
6. Komp'yuternye modelyuvannya zaliznichnykh transportnykh zasobiv: metod. vkazivki do vikonannya praktichnykh robit, kursovogo ta diplomnogo proektuvannya [Kompiuternye modeliyuvannya zaliznychnykh transportnykh zasobiv: metod. vkazivky do vykonannya praktychnykh robit, kursovoho ta diplomnoho proektuvannya] / M. I. Kapitsa, J. Kalivoda, L. O. Neduzha, O. B. Ochkasov, D. V. Chernyaev. – D.: DNUZT, 2018. – 59 s.
7. Myamlin, S. V. Determination of Friction Performance Influence in the System "Body–Bogie" on the Freight Car Dynamics [Viznachennya vplyvu pokaznikov tertya v sistemi «kuzov-vizok» na dinamiku vantazhnogo vagona] / S. V. Myamlin, L. O. Neduzha, A. O. Shvets // Science and Transport Progress. – 2014. – Vol. 2 (50). – P. 152-163. doi: 10.15802/stp2014/23792.
8. Myamlin, S. V. Research of Dynamics and Strength of Freight Cars [Doslidzhennya dynamiki ta mitsnosti vantazhnykh vagoniv] [Doslidzhennia dynamiky ta mitsnosti vantazhnykh vahoniv] / S. V. Myamlin, L. O. Neduzha, A. O. Shvets. – D.: «Svidler A.L.». – 2018. – 257 p.
9. Myamlin, S. V. Teoreticheskie issledovaniya dynamiki poluvagonov / S. V. Myamlin, L. A. Neduzhaya, A. A. Ten // Zb. nauk. pr. DonIzT. – 2010. – Vip. 24. – S. 143-151.
10. Myamlin, S. V. Tekhnichniy stan kovzuniv yak odin iz faktoriv vplyvu na dinamiku vantazhnykh vagoniv [Tekhnichniy stan kovzuniv yak odyin iz faktoriv vplyvu na

- dynamiku vantazhnykh vahoniv] / S. V. Myamlin, L. O. Neduzha, A. O. Shvets // Zb. nauk. pr. DonIZT. – 2013. – Vip. 35. – S. 65-72.
11. Neduzha L. O., & Shvets A. A. (2016). Vykorystannia suchasnoho paketu prohram pry rozv'iazanni inzhenernykh zadach na zaliznychnomu transporti [Vikoristannya suchasnogo paketu program pri rozv'yazanni inzhenernykh zadach na zaliznichnomu transporti]. Lokomotiv-inform, 5-6, 42-44.
 12. Neduzha, L. O. Theoretical and Experimental Research of Strength Properties of Spine Beam of Freight Cars [Teoretychni ta eksperymentalni doslidzhennia mitsnisnykh yakosti khrebtovoi balky vantazhnogo vahona] [Teoretichni ta eksperymentalni doslidzhennia mitsnisnykh yakostey khrebtovoi balki vantazhnogo vagona] / L. O. Neduzha, A. O. Shvets // Science and Transport Progress. – 2018. – Vol. 1 (73). – P. 131–147. doi: 10.15802/stp2018/123457.
 13. Opredelenie inertsionnykh kharakteristik podvizhnogo sostava pri modelirovanii dinamicheskoy nagruzhennosti [Definition Specifics of Inertia Moments of Freight Cars Bodies] / S. V. Myamlin, L. A. Neduzhaya, A. A. Ten, A. A. Shvets // Zb. nauk. pr. DonIZT. – 2011. – Vol. 25. – P. 137-144.
 14. Neduzha, L. The Road over Dnipro. Contemporaneity and Prospects [Doroga nad Dniprom. Suchasnist ta perspektivi] / L. Neduzha, O. Cherniavska // Visnik sertifikatsii zaliznichnogo transportu. – 2019. – Vol. 1. – P. 28-32.
 15. Tatarinova, V. A. Application of Software Tools in the Research of Vehicles [Zastosuvannya programnykh kompleksiv pri doslidzhenni stanu transportnykh zasobiv] [Zastosuvannia prohramnykh kompleksiv pry doslidzhenni stanu transportnykh zasobiv] / V. A. Tatarinova, J. Kalivoda, L. O. Neduzha // Visnik sertifikatsii zaliznichnogo transportu. – 2018. – Vol. 04 (50). – P. 82-91.
 16. Ten, A. A. Experimental Researching of Dynamic Loading of Low-Sided Car on Long-Range Bogies [Eksperymentalnye issledovaniya dinamicheskoy nagruzhennosti poluvagona na perspektivnykh telezhkakh] / A. A. Ten, S. V. Myamlin, L. A. Neduzhaya // Car fleet [Vagonniy park]. – 2014. – Vol. 10. – P. 14-18.
 17. Determination of Dynamic Performance of Freight Cars Taking Into Account Technical Condition of Side Bearers / S. Myamlin, L. Neduzha, O. Ten, A. Shvets // Science and Transport Progress. – 2013. – Vol. 1 (43). – P. 162-169. doi: 10.15802/stp2013/9589.
 18. Kalivoda, J. Enhancing the Scientific Level of Engineering Training of Railway Transport Professionals / J. Kalivoda, L. O. Neduzha // Science and Transport Progress. – 2017. – Vol. 6 (72). – P. 128-137. doi: 10.15802/stp2017/119050.
 19. Kalivoda, J. Roller rig testing at the Czech technical university / J. Kalivoda, P. Bauer // Science and Transport Progress. – 2016. – Vol. 4 (64). – P. 125-133. doi: 10.15802/stp2016/77994.
 20. Kyryl'chuk, O. High Speed Stability of a Railway Vehicle Equipped with Independently Rotating Wheels / O. Kyryl'chuk, J. Kalivoda, L. Neduzha // Proc. of 24th Intern. Conf. «Engineering Mechanics 2018». – P. 473-476. doi: 10.21495/91-8-473.
 21. Myamlin, S., Lunys, O., Neduzha, L., & Kyryl'chuk, O. (2017). Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars. Transport Means: Proc. of 21st Intern. Scientific Conf., 973-976.
 22. Myamlin, S. Estimation of Dynamic Qualities of Freight Wagons on Bogies of a Perspective Model / S. Myamlin, O. Lunys, L. Neduzha // Proc. of IX Intern. Conf. «Transport Problems». – 2017. – P. 459-469.

23. Myamlin, S. Experimental Research of Dynamic Qualities of Freight Cars with Bogies of Different Designs / S. Myamlin, O. Ten, L. Neduzha // *Science and Transport Progress*. – 2014. – Vol. 3 (51). – P. 136-145. doi: 10.15802/stp2014/25921.
24. Myamlin, S. V. Role of Student's Science in Forming of Technical Engineer's Ideology [Rol studentskoï nauki u formuvanni svitoglyadu inzhenera-mekhanika] [Rol studentskoi nauky u formuvanni svitohliadu inzhenera-mekhanika] / S. V. Myamlin, L. O. Neduzha // *Lokomotiv-inform*. – 2015. – Vol. 1-2. – P. 55-57.
25. Myamlin, S. Testing of Railway Vehicles Using Roller Rigs / S. Myamlin, J. Kalivoda, L. Neduzha // *Proc. of 10th Intern. Scientific Conf. «Transbaltica 2017»*. Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 187. – P. 688-695. doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.439.
26. Neduzha, L. O. Application of APM WinMachine software for design and calculations in mechanical engineering / L. O. Neduzha, A. O. Shvets // *Science and Transport Progress*. – 2016. – Vol. 2 (62). – P. 129-147. doi 10.15802/stp2016/67328.
27. 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, No 4. – P. 159-166.
28. Neduzha, L. Electric Locomotives for Ukraine Railways [Vitchiznyani elektrovozi dlya zaliznits Ukraïni] // L. Neduzha, O. Botin, O. Cherniavska // *Visnik sertifikatsii zaliznichnogo transportu*. – 2019. – Vol. 1. – P. 22-27.
29. Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., & Shvets, A. (2010). Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer Model-ling with the Account of Their Inertia Properties. *Mechanika 2010: Proc. of 15th Intern. Conf.*, 325-328.

Additional References

1. Myamlin S.V., Neduzhaya L.A., Ten A.A. Teoreticheskiye issledovaniya dinamiki poluvagonov [Theoretical studies of the open car dynamics]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu* [Proc. of the Donetsk Railway Transport Institute], 2010, issue 24, pp. 143-151.
2. Danovich, V. D.; Korotenko, M. L.; Myamlin, S. V. [and others]. 1999. Mathematical model of spatial oscillations of electric locomotive with the modernised scheme of body and bogies connection: collection of scientific papers. *Transport. Increase of operating efficiency of electric transport equipment. Interuniversity collect. of sc. papers DGTURT*. Dnepropetrovsk: 182-189.
3. Blokhin, E. P.; Danovitch, V. D.; Korotenko, M. L. [and others]. 2002. Dynamic characteristics and rational parameters of running parts of of an electric locomotive DE1. *Transport. Zbirnyk naukovykh pracj DIITu*, no. 11: 8-16.
4. Danovich, V. D. Sopostavlenie nekotorykh rezultatov eksperimentalnykh i teoreticheskikh issledovaniy dinamicheskikh kachestv elektrovoza DE1 [Sopostavlenye nekotorykh rezultatov eksperimentalnykh y teoreticheskikh yssledovaniy dynamicheskikh kachestv elektrovoza DЭ1] / V. D. Danovich, M. L. Korotenko, L. A. Neduzhaya // *Transport. Sb. nauch. tr. DIITa*. – D.: Nauka i osvita, 1999. – Vol. 2. – P. 123-129.
5. Tatarinova, V. A. For Determination of Rational Parameters Values for Vehicle Part of Freight Locomotive [Shchodo viznachennya ratsionalnikh znachen parametriv ekipazhnoï chastini vantazhnogo lokomotiva] / V. A. Tatarinova, L. O. Neduzha // *Visnik sertifikatsii zaliznichnogo transportu*. – 2018. – Vol. 06 (52). – P. 10-19.