

В. Ф. УШКАЛОВ, Н. В. БЕЗРУКАВИЙ

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ, ОБЛАДНАНИХ ПРИБОРАМИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАДІАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ КОЛІСНИХ ПАР

*Інститут технічної механіки Національної академії наук України і
Державного космічного агентства України,
ул. Лещико-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: victush@gmail.com*

Сьогодні для мережі залізниць України актуальним завданням залишається скорочення витрат на обслуговування та ремонт парку вантажних вагонів і верхньої будови колії. Зростання завантаженості та швидкості руху поїздів призводить до суттєвого зносу техніки і колії, пов'язаного із зростанням силової взаємодії коліс і рейок. Одним із способів зменшення сил взаємодії і зносу коліс і рейок під час руху екіпажів по криволінійних ділянках колії є застосування пристроїв, що забезпечують радіальну установку колісних пар.

Мета даної роботи полягала в аналізі впливу зміни конструкції візків вантажних вагонів за рахунок використання пристроїв, що забезпечують радіальну установку колісних пар, на показники динамічної взаємодії коліс і рейок, а також вибір їх раціональних параметрів для удосконалення ходових частин різних одиниць рухомого складу.

Для вирішення поставлених задач використовувалися методи математичного моделювання, теорії коливань, теорії пружності.

Виконано моделювання руху вантажних вагонів з різними варіантами конструкції візків по криволінійних ділянках колії. Аналіз отриманих результатів показав, що застосування пристроїв, які забезпечують радіальну установку колісних пар, чинить позитивний вплив на процеси взаємодії коліс і рейок. При цьому динамічні якості вагонів покращуються на (15 – 25) %, а показники взаємодії коліс і рейок на (20 – 45) %. Проведено вибір раціональних параметрів цих пристроїв, які дозволяють як суттєво знизити рівень динамічної взаємодії пари «колесо–рейка» при русі різних одиниць рухомого складу по криволінійних ділянках колії, так і забезпечити їх високі динамічні якості на прямих ділянках колії при русі зі швидкостями до 120 км/год.

Ключові слова: вантажний вагон, радіальна установка колісних пар, динаміка вагонів.

Сегодня для сети железных дорог Украины актуальной задачей остается сокращение затрат на обслуживание и ремонт парка грузовых вагонов и верхнего строения пути. Рост загруженности и скорости движения поездов приводит к существенному износу техники и пути, связанного с ростом силового взаимодействия колес и рельсов. Одним из способов уменьшения сил взаимодействия и износа колес и рельсов при движении экипажей по криволинейным участкам пути является применение устройств, обеспечивающих радиальную установку колесных пар.

Цель данной работы заключалась в анализе влияния изменения конструкции тележек грузовых вагонов за счет использования устройств, обеспечивающих радиальную установку колесных пар, на показатели динамического взаимодействия колес и рельсов, а также выбор их рациональных параметров для усовершенствования ходовых частей различных единиц подвижного состава.

Для решения поставленных задач использовались методы математического моделирования, теории колебаний, теории упругости.

Выполнено моделирование движения грузовых вагонов с различными вариантами конструкции тележек по криволинейным участкам пути. Анализ полученных результатов показал, что применение устройств, обеспечивающих радиальную установку колесных пар, оказывает положительное влияние на процессы взаимодействия колес и рельсов. При этом динамические качества вагонов улучшаются на (15 – 25) %, а показатели взаимодействия колес и рельсов на (20 – 45) %. Проведен выбор рациональных параметров этих устройств, которые позволяют как существенно снизить уровень динамического взаимодействия пары «колесо–рельс» при движении различных единиц подвижного состава по криволинейным участкам пути, так и обеспечить их высокие динамические качества на прямых участках пути при движении со скоростями до 120 км/час.

Ключевые слова: грузовой вагон, радиальная установка колесных пар, динамика вагонов.

At present, a topical problem for the Ukrainian railways is a reduction of freight car and track structure maintenance and repair cost. An increase in train mass and speed significantly increases vehicle and track wear due to increased wheel–rail interaction forces. A way to reduce wheel–rail wear and interaction forces in curves is to use devices that align the wheelsets in a radial orientation.

The aim of this work was to analyze the effect of the design features of freight-car trucks associated with the use of devices that align the wheelsets in a radial orientation on the indices of wheel–rail dynamic interaction and to choose their advisable parameters that would allow one to improve the running gear of different vehicles.

To accomplish these objectives, mathematical simulation, oscillation theory, and elasticity theory methods were used.

© В. Ф. Ушкалов, Н. В. Безрукавий, 2020

The motion of cars with variously designed trucks in curves was simulated. The analysis of the results showed that devices that align the wheelsets in a radial orientation have a favorable effect on wheel–rail interaction processes: they improve the car riding qualities and the wheel–rail interaction indices by (15 – 25) % and (20–45) %, respectively. Advisable parameters of these devices were chosen in such a way as to provide both a far lower level of wheel–rail dynamic interaction for vehicles of different types in curves and their high riding qualities in tangents at speeds up to 120 km/h.

Keywords: freight car, wheelset radial alignment, car dynamics.

Сьогодні для мережі залізниць України актуальним завданням залишається скорочення витрат на обслуговування та ремонт парку вантажних вагонів і верхньої будови колії [1]. Зростання завантаженості та швидкості руху поїздів призводить до суттєвого зносу техніки і колії, пов'язаного із зростанням силової взаємодії коліс і рейок. Як відомо з теоретичних досліджень і практики експлуатації рухомого складу, найбільша інтенсивність взаємодії коліс і рейок спостерігається при русі вантажних вагонів по криволінійних ділянках колії. При цьому виникають значні додаткові сили опору руху, спричинені дією відцентрових сил і особливостями контакту колісних пар з рейками при їх вписуванні в криві [2]. Ці сили призводять до зростання інтенсивності взаємодії контактної пари «колесо–рейка» і, як наслідок, збільшення їх зносів та енергетичних витрат на тягу поїздів. Одним із способів поліпшення динамічної взаємодії коліс і рейок під час руху вагона по криволінійних ділянках колії є використання пристроїв, що забезпечують радіальну установку колісних пар [3 – 7].

Розглянемо більш детально сутність такої установки колісних пар екіпажу при русі по круговій кривій. Конструкція візка (модель 18-100), яка використовується на мережі залізниць України, сприяє довільній установці колісних пар (рис.1, а)). Для цього візка при русі по кривій характерні великі значення кута набігання колеса ведучої колісної пари на зовнішню рейку α . При цьому найбільш несприятливі умови для контактної пари «колесо–рейка» виникають при збільшенні кута α .

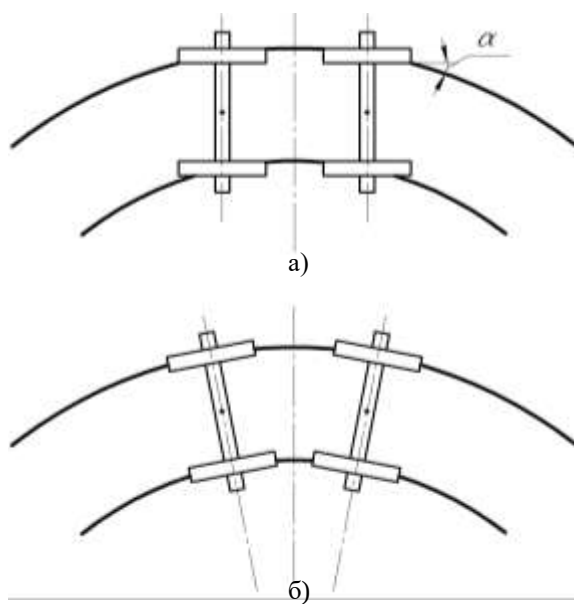


Рис. 1

При радіальній установці колісних пар (рис. 1, б)) поздовжні осі симетрії колісних пар спрямовані до центру кривої, за рахунок чого кут набігання $\alpha = 0$. Таке розташування колісних пар відповідає їх полегшеному вписуванню в криволінійні ділянки колії, за рахунок чого суттєво знижується інтенсивність взаємодії коліс та рейок.

З аналізу геометричних параметрів колії та візка вантажного вагона відомо, що необхідні кути повороту колісних пар для їх радіальної установки в криволінійних ділянках колії незначні (близько $0,22^\circ$ для кривої радіусом 300 м). При цьому зміщення колісної пари щодо її поздовжньої осі симетрії буде менше 9 мм, що менше номінальних зазорів між поверхнями корпусів букс і бічної рами. З цього випливає, що існуюча конструкція візка допускає принципову можливість радіальної установки колісних пар.

Співробітниками Інституту технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України (ІТМ НАНУ і ДКАУ) було запропоновано варіант удосконалення існуючої конструкції візка за рахунок додаткових важільних механізмів. Розроблений пристрій складається з двох пар систем важелів, які з'єднують між собою буксові вузли сусідніх колісних пар. У точках з'єднання важільних систем передбачено пружні елементи. При русі по прямій ділянці колії пристрій забезпечує з кожного боку візка однакову відстань між буксовими вузлами (рівну базі візка). При вписуванні вагона в криволінійну ділянку колії виникають додаткові сили, які діють на пружні елементи важільних механізмів з боку зовнішньої рейки. Внаслідок цього збільшується відстань між зовнішніми буксами візка, а колісні пари приймають установку, близьку до радіальної.

Для аналізу впливу застосування пристроїв, що забезпечують радіальну установку колісних пар, на показники динамічної взаємодії коліс і рейок виконано моделювання руху по криволінійних ділянках колії вантажних вагонів з двома варіантами конструкції візків. У першому варіанті вагони обладнано комплексно модернізованими візками моделі 18-100 [8], для яких характерна довільна установка колісних пар. У другому варіанті – окрім елементів комплексної модернізації візка мали пристрої, що забезпечують радіальну установку колісних пар. Досліджувався рух вагонів в навантаженому та порожньому стані зі швидкостями від 40 км/год до 80 км/год в кривих радіусом 300 м, 450 м і 600 м. Колія розглядалася з рейками зі стандартним профілем головок (Р65), а колеса – зі зносостійким профілем ІТМ-73. При розрахунках розглядалися такі показники динаміки вагона [9, 10]: рамна сила в долях осьового навантаження (H_p/P_o); горизонтальне прискорення п'ятників кузова в долях прискорення вільного падіння ($\ddot{y}_n$); коефіцієнт запасу стійкості проти сходу коліс з рейок $K_{уст}$. Також оцінювалися фактори зносу і сил взаємодії контактної пари «колесо–рейка» при русі вагона по криволінійних ділянках колії: питома робота сил крипа (S_{wear}); сумарна поперечна сила (Y); кут набігання колеса на рейку (α).

Аналізувалися залежності вказаних показників від швидкостей руху в навантаженому і порожньому станах вагонів по кривих ділянках колії різного радіусу. Для стислості викладення в статті далі наведено графіки отриманих залежностей лише для випадку руху екіпажів по кривій радіусом 300 м (рис. 2, 3). При цьому показники динаміки показано для вагона в порожньому стані (рис. 2), а фактори зносу – для вагона в навантаженому стані (рис. 3), оскільки саме в цих випадках дані показники набувають найгірших значень.

Як бачимо з аналізу показників динаміки вагонів (рис. 2), при використанні візків з пристроями для радіальної установки колісних пар (суцільна

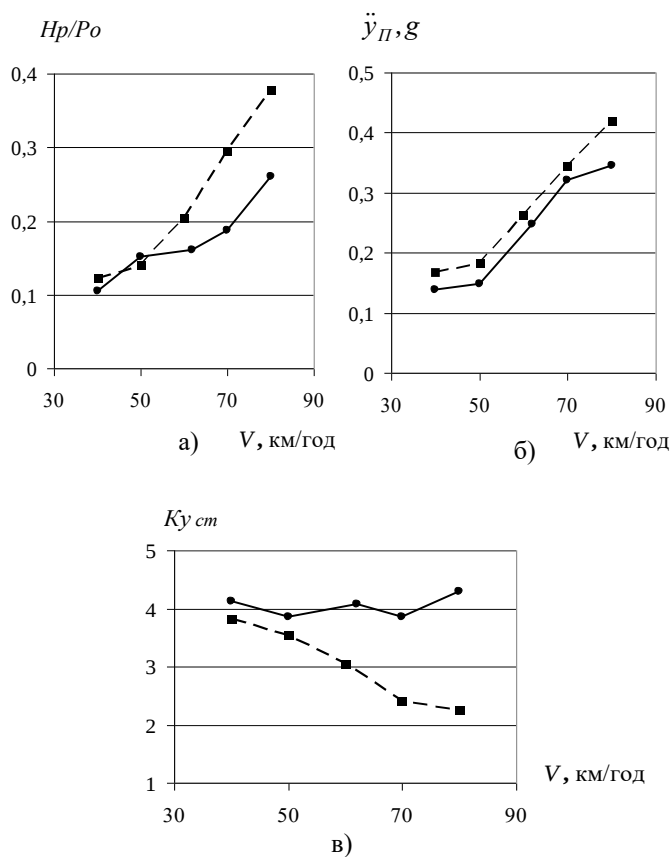


Рис. 2

лінія) спостерігається істотне зниження рамних сил і прискорень п'ятника в горизонтальній площині, а також зростання показника безпеки руху в порівнянні з випадком застосування візків, що не мають цих пристроїв. Поліпшення показників динаміки вагона пояснюється тим, що при радіальній установці колісних пар оптимізуються умови контакту колеса і рейки, забезпечується більш плавне вписування екіпажу в криву. Аналіз залежностей на рис. 3 засвідчує, що при радіальній установці колісних пар, як і передбачалося, відбувається значне зниження факторів зносу і сил взаємодії контактної пари «колесо–рейка». Слід зазначити, що зі зменшенням радіуса кривої зростає позитивний ефект від застосування даних пристроїв. Це обумовлено тим, що існуюча конструкція візка сприяє збільшенню кута набігання колеса на рейку в кривих малого радіусу.

За результатами розрахунків встановлено, що значення показників динаміки вагонів покращуються на (15 – 25) %, а взаємодії коліс і рейок на (20 – 45) % в залежності від швидкості руху та радіусу кривої.

Далі з метою можливого широкого застосування пристроїв, що забезпечують радіальну установку колісних пар, на мережі залізниць України виконано вибір раціональних параметрів цих пристроїв для різних одиниць рухомого складу.

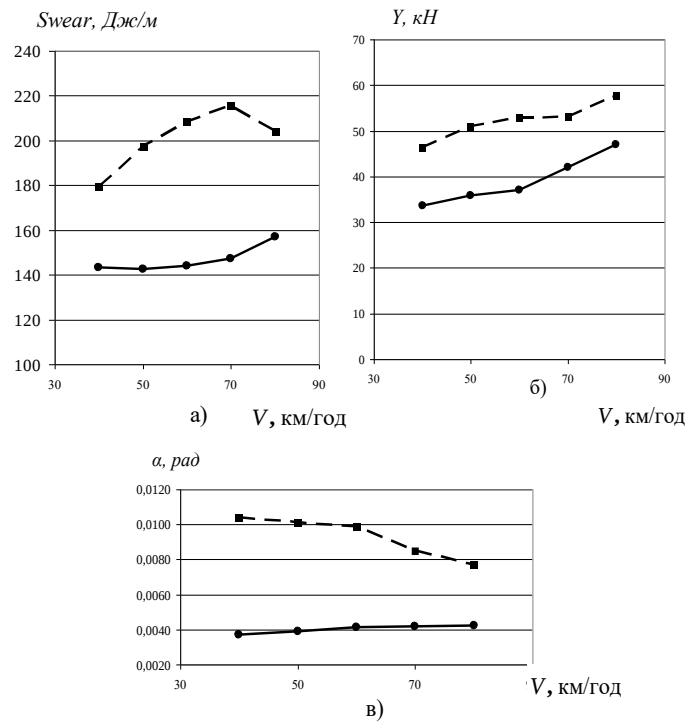


Рис. 3

Проведено розрахунки щодо визначення раціональних значень жорсткості пружних елементів пристрою для різного типу одиниць рухомого складу (напіввагон, цистерна, хопер, платформа).

За результатами моделювання руху вагонів по криволінійних ділянках колії встановлено, що для забезпечення радіальної установки колісних пар жорсткість пружних елементів повинна бути менше за 400 кН/м. При більших значеннях даного параметра не будуть досягнуті необхідні зміщення для радіальної установки колісних пар, а зменшення жорсткості істотного не впливає на динамічні показники вагона при його вписуванні в криволінійну ділянку колії. Тому далі вибір раціональних значень жорсткості проводився за результатами моделювання руху вагонів по прямим ділянкам колії зі швидкостями від 40 до 120 км/год. Жорсткість пружних елементів пристроїв змінювалась в діапазоні (100 – 400) кН/м.

На рис. 4 – 7 представлено залежності максимальних значень показників динаміки від швидкостей руху піввагону (рис. 4), платформи (рис. 5), хопера (рис. 6), цистерни (рис. 7) у порожньому стані при різних жорсткостях пружних елементів пристроїв радіальної установки колісних пар (лінії з маркерами у вигляді круга відповідають жорсткості 100 кН/м, квадрату – 200 кН/м, ромбу – 300 кН/м, трикутника – 400 кН/м).

Аналіз отриманих залежностей показав, що для розглянутих типів вагонів зі збільшенням жорсткості пружних елементів спостерігається зниження горизонтальних прискорень п'ятників кузова, але при цьому збільшуються значення рамних сил. Коефіцієнт запасу стійкості проти сходу коліс з рейок для всіх значень жорсткості пружних елементів вище нормативного, що свідчить про забезпечення безпеки руху вагонів.

Таким чином, при жорсткості пружних елементів 200 кН/м буде забезпечуватися як радіальна установка колісних пар різних типів вагонів при їх русі

в криволінійних ділянках колії, так і їх високі динамічні якості при русі по прямих ділянках колії зі швидкостями до 120 км/год.

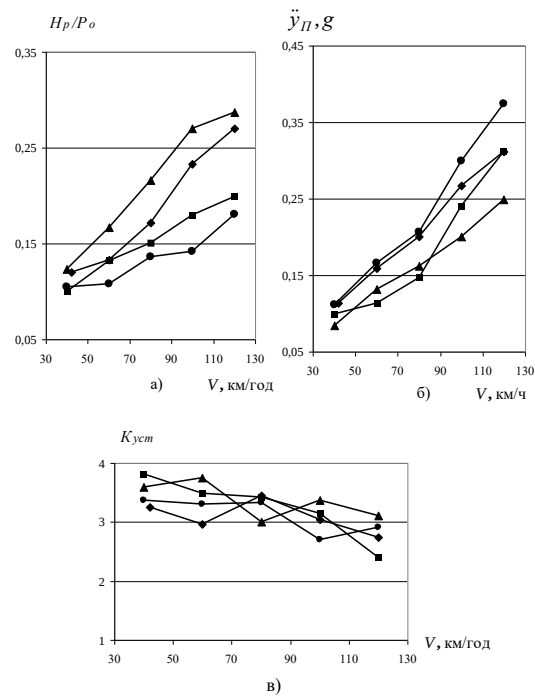


Рис. 4

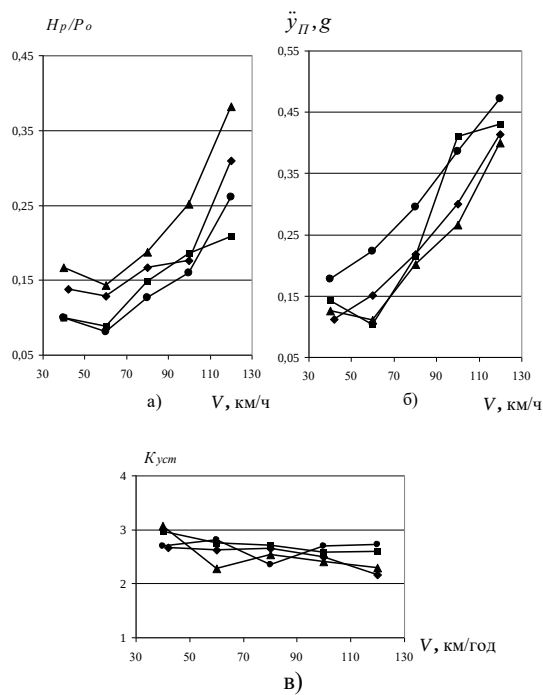


Рис. 5

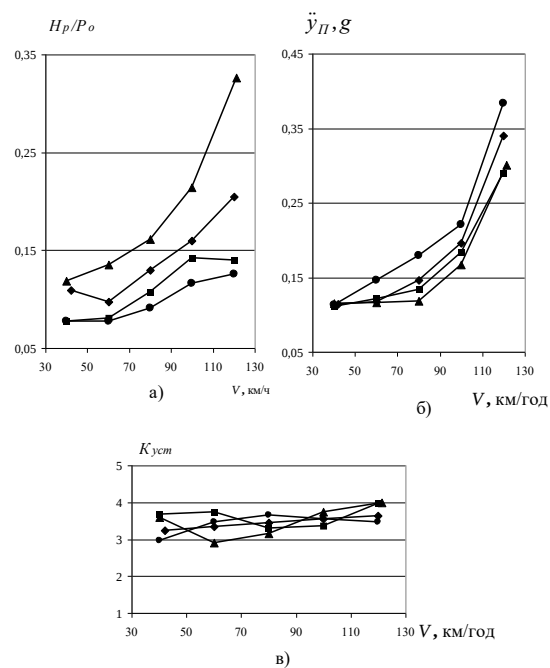


Рис. 6

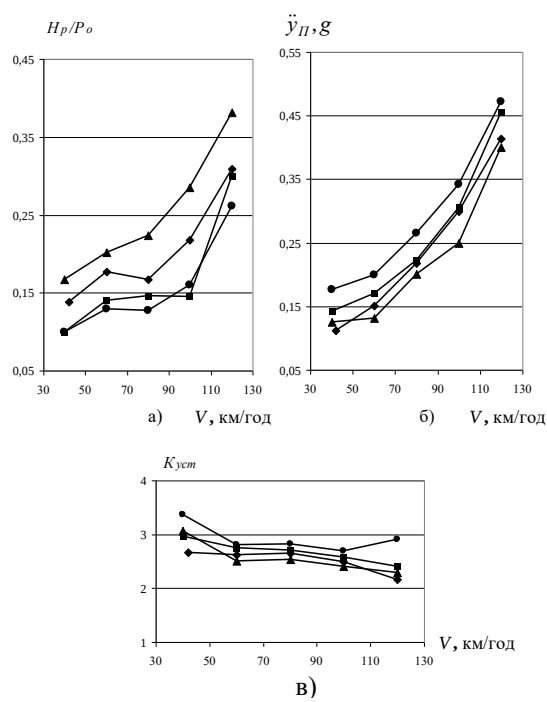


Рис. 7

Висновок:

В роботі виконано оцінку ефективності застосування пристроїв, що забезпечують радіальну установку колісних пар, для зменшення динамічної взаємодії коліс і рейок на криволінійних ділянках колії.

Проведено вибір раціональних параметрів цих пристроїв, які дозволяють як суттєво знизити рівень динамічної взаємодії пари «колесо–рейка» при русі різних одиниць рухомого складу на криволінійних ділянках колії, так і забезпечити їх високі динамічні якості на прямих ділянках колії при русі зі швидкостями до 120 км/год.

1. Кравченко О. О. Перспективы инновационного развития железнодорожного транспорта Украины: финансовые аспекты. Экономика промышленности. 2017. № 2(78). С. 22–36.
<https://doi.org/10.15407/econindustry2017.02.022>
2. Iwnicki S. D. Handbook of Railway Vehicle Dynamics. London, CRC Press Publ. 2006. 527 p.
<https://doi.org/10.1201/9781420004892>
3. Scheffel H. Self-steering wheelsets will reduce wear and permit higher speeds, Railway Gazette International, December 1976. P. 453–456.
4. Цыганская Л. В., Кориунов В. С. Разработка трехосной тележки с радиальной установкой колесных пар с осевой нагрузкой 25 тс. Известия Петербургского университета путей сообщения. 2017. № 4. С. 689–696.
5. Pyrgidis C. N. Railway Transportation Systems. Design, Construction and Operation. London, CRC Press Publ. 2016. 511 p. <https://doi.org/10.1201/b19472>
6. Kamoshita S., Umehara Y., Yamanaga Y., Suzuki M., Hondo T. Total Performance Evaluation of the Assist Steering System for Bolsterless Bogie. Quarterly Report of RTRI. 2018. Volume 59, Issue 4. P. 243–248.
https://doi.org/10.2219/rtriqr.59.4_243
7. Moo H. H., Hoon A. D., Hyuk P. J. Wheelset Steering Angle of Railway Vehicle according to Primary Suspension Property. Journal of the Korean Society for Precision Engineering. 2015. Volume 32, Issue 7. P. 597–602.
<https://doi.org/10.7736/KSPE.2015.32.7.597>
8. Ушкалов В. Ф., Лашко А. Д., Мокрий Т. Ф. Модернизация тележек грузовых вагонов как вариант обновления ходовых частей грузового подвижного состава. Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2013. № 5. С. 8–15.
9. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). Москва: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. 319 с.
10. ДСТУ ГОСТ 33211:2017. Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей (ГОСТ 33211-2014, IDT). Введ. 2017-07-01. Київ: УкрНДНЦ, 2017. 58 с.

Отримано 10.07.2019,
в остаточному варіанті 21.11.2019