

УДК 629.4.027.2

## ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДИНАМІКИ ТА МІЦНОСТІ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ШЛЯХОМ КОНСТРУКТИВНОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ

Кара С. В.

### IMPROVEMENT OF INDICATORS OF DYNAMICS AND STRENGTH OF FREIGHT CARS BOGIES BY CONSTRUCTIVE CHANGES

Kara S.

*У статті розглянуто питання перспективних ходових частин для вантажних вагонів нового покоління, розроблено доповнення до існуючої класифікації візків, а саме запропоновано впровадження таких типів підвішування: комбіноване буксове підвішування з пружною рамою, комбіноване центральне підвішування з пружною рамою, пружна рама, багатоступінчасте комбіноване: буксове і центральне підвішування з пружною рамою, багатоступінчасте комбіноване: буксове і центральне, коліскове підвішування з пружною рамою, пружна надресорна балка. Проаналізовано основні причини недостатньої міцності бокових рам, та представлено результати експериментальних досліджень автора. Представлено результати теоретичних досліджень засобами моделювання руху вагона в програмному комплексі «Універсальний механізм» по визначенню впливу першого ступеня ресорного підвішування в візках типу 18-100 на енергоефективність (опір руху) і встановлена розрахункова величина зниження опору руху. Підготовлено концепт принципово нової конструкції візка вантажного вагона для швидкісного руху, який засновано на принципово нових технічних рішеннях з пружно-дисипативних несучими елементами, а також розроблена концепція модернізації візків типу 18-100 та аналогів шляхом впровадження буксового підвішування на колії 1520 мм.*

**Ключові слова:** візок вантажного вагону, рама, ресорне підвішування, міцність, динаміка, енергоефективність, класифікація візків.

**Вступ.** Проблема недосконалості ходової частини вагонів, особливо в вантажному русі на залізницях світу широко описана вченими різних країн світу, в тому числі автором статті в попередніх публікаціях [1 - 3]. Найбільш гострою проблема є для вантажних вагонів колії 1520 мм, де найбільш поширеною ходовою частиною є морально застарілий візок (сімейство візків) типу 18-100, термін служби яких становить 40...42 роки (в Україні термін служби візків типу 18-100 для вагонів колійного господарства, випущених з 1975 р. по 01.02.1984 р., становить 42 роки).

Актуальним двоєдиним завданням на сьогоднішній день є розробка нових проривних технологій у вагонобудуванні, а саме створення оригінальних конструкцій і застосування нових матеріалів в ходової частини вантажних вагонів з метою підвищення швидкостей руху, зниження необресорених мас, зниження рівня впливу на колію, підвищення енергоефективності рухомого складу, а також створення способів модернізації існуючих візків для поліпшення їх техніко-економічних характеристик. Дана задача вирішується на міжнародному рівні, в тому числі в рамках програми «Горизонт 2020».

#### Основна частина

#### 1. Дослідження перспективних конструкцій візків вантажних вагонів

Загальноприйняті класифікації візків вантажних вагонів припускають 4 основні види організації ресорного підвішування, як показано на рис. 1: буксове підвішування (а), центральне (б), двоступеневе: буксове і центральне коліскове (в); двоступеневе: буксове і центральне безколіскове (г).

Інноваційні технології проектування модулів несучих і пружних елементів засновані на оригінальних конструкторських рішеннях і нових матеріалах. Наприклад створені автором технічні рішення [4 - 5], новий візок пасажирського вагону "efWING" з використанням CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) мають в своїй конструкції пружно-дисипативний несучий елемент - аналог бічної рами. Такий конструктивний підхід не входить в рамки існуючої класифікації, тому класифікація візків за видами ресорного підвішування автором розширена більш гнучкими типовими схемами. Автором проводяться теоретичні і експериментальні дослідження ряду нових принципових схем з використанням пружних (пружно-дисипативних) несучих елементів, представлених на рис. 2: комбіноване буксове підвішування з пружною рамою (а), комбіноване

центральне підвішування з пружною рамою (б), пружна рама (в), багатоступінчате комбіноване: боуксове і центральне підвішування з пружною рамою (г), багатоступінчате комбіноване: буксове і центральне коліскове підвішування з пружною рамою (д), пружна надресорна балка (е). Візок "efWING" при такій класифікації може бути віднесено до багатоступінчатого комбінованого з буксовим і центральним підвішуванням з пружною рамою.

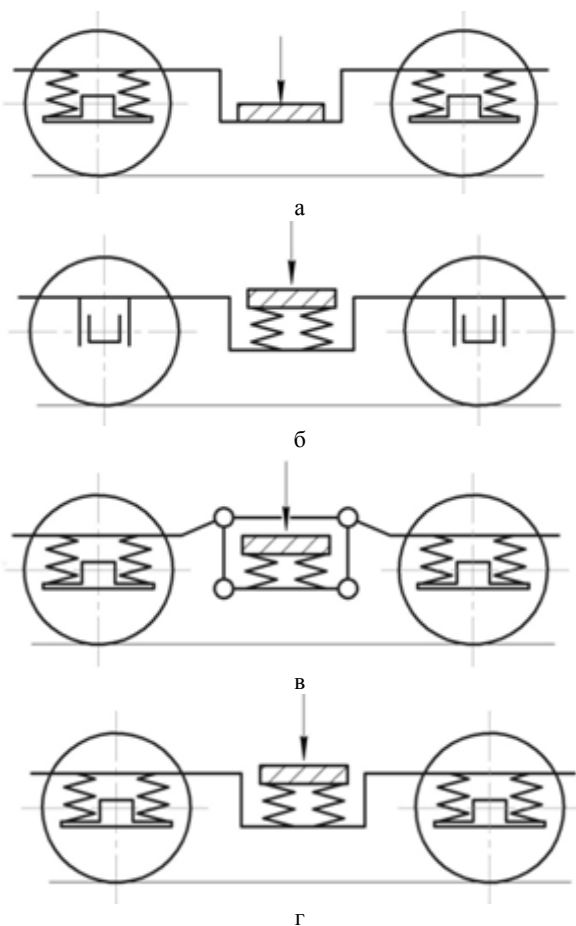


Рис. 1. Види ресорного підвішування вагонів:  
а – буксове підвішування, б – центральне,  
в – двоступеневе: буксове і центральне коліскове;  
г – двоступеневе: буксове і центральне безколіскове

Автором ведеться розробка конструкцій візків з використанням пружно-дисипативних елементів, в якості основного такого компонента як приклад пропонується застосування листових ресор. На рис. 3 – 5 показано схеми візків вагонів, які розроблено у співтворстві з автором. Перший варіант (рис. 3) містить бічну раму 1, виконану у вигляді листових ресор 2, закріплених хомутом 3 посередині, і установлену з можливістю переміщення у вертикальному, поздовжньому і поперечному напрямках, що спирається на букси 4 колісних пар 5 через центральне підвішування 6, на якому розташована надресорна балка 7, на яку через під'ятник спирається кузов вагона (на кресленні не показаний), буксове ресорного підвішування 8 та гальмового обладнання 14;

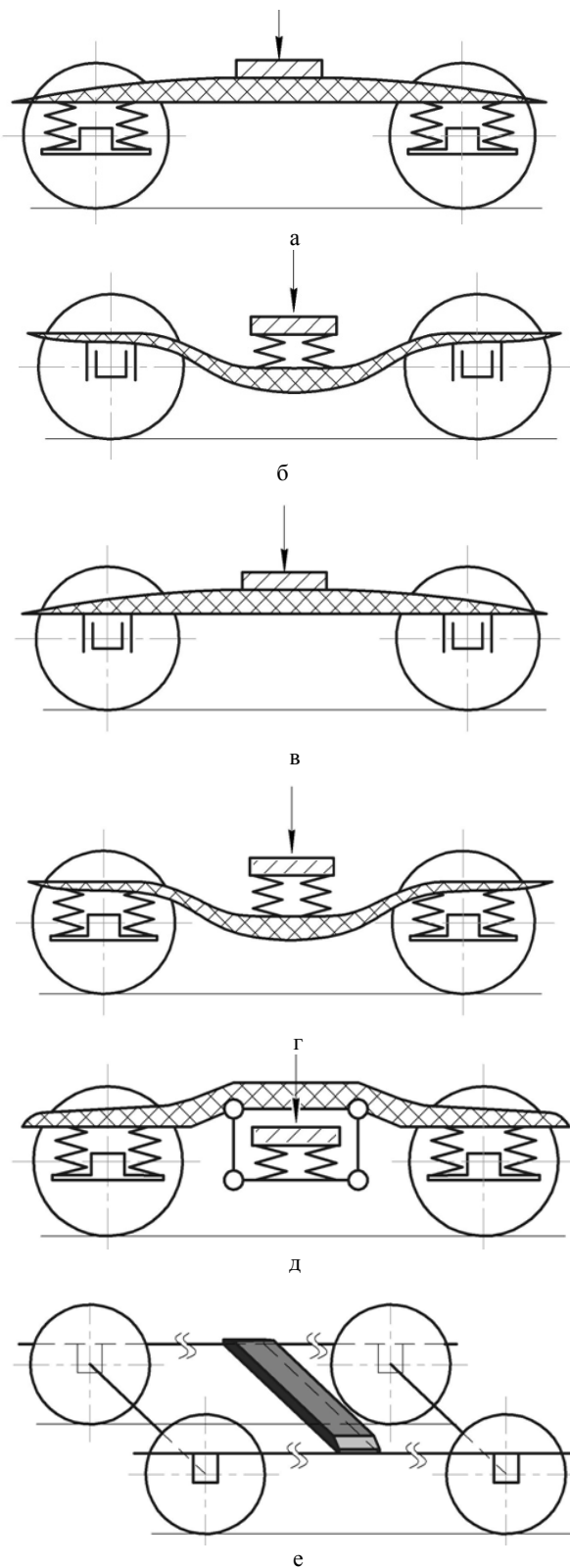


Рис. 2. Перспективні види ресорного підвішування вагонів:  
комбіноване буксове підвішування з пружною рамою (а),  
комбіноване центральне підвішування з пружною рамою (б), пружна рама (в), багатоступінчате комбіноване: боуксове і центральне підвішування з пружною рамою (г), багатоступінчате комбіноване: буксове і центральне коліскове підвішування з пружною рамою (д), пружна надресорна балка (е)

центральне підвішування 6 шарнірно підвішене до бічної рами 1; буксове ресорне підвішування 8, включає в себе однорядні пружини 9, що спираються на корпус букси 4 і через рамку 10 пов'язані з додатковим комплектом однорядних пружин 11, що спираються на бічну раму 1 зверху, і листову ресору 12, закріплену хомутом 13 на піддоні центрального підвішування 6, а краями - з можливістю переміщення на буксах 4 колісних пар 5 [4]. На рис. 4 показано інший варіант візка, що складається з рами 1, виконаної у вигляді листових ресор 2, закріплених хомутом 3 посередині, що опирається на букси 4 колісних пар 5 через центральне ресорне підвішування 6, що складається із двох еліптичних ресор системи Галахова (або ін.) 7, на яких розташована надресорна балка (на схемі не показана) та через під'ятник опирається кузов вагона (також не показаний), покладених на штампований підресорний зв'язок 8, що спирається на підлюлечні балки 9, підвішені шарнірно до рами 1, буксове ресорне підвішування 10, що містить однорядні пружини 11, що спираються на корпус букси 4, гальмового обладнання 12, виконаного із двостороннім натисканням. При цьому вузли обпирання 13 однорядних пружин 11 буксового ресорного підвішування 10 закріплені на листових ресорах 2, а центральне ресорне підвішування 6 кріпиться хомутом 14 до листової ресори. [5].

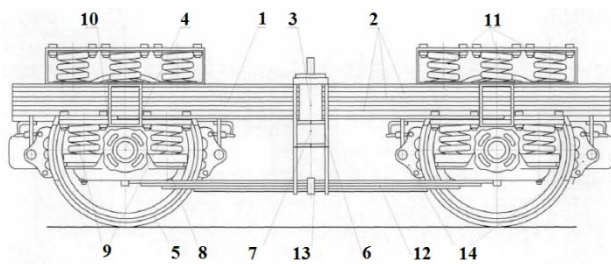


Рис. 3. Розроблена схема візка з пружно-дисипативними елементами [4]

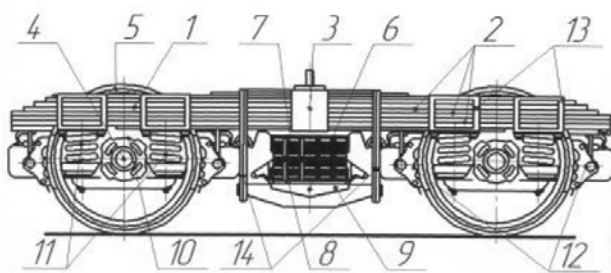


Рис. 4. Розроблена схема візка з пружно-дисипативними елементами [5]

**2. Дослідження резервів вдосконалення існуючих візків вантажних вагонів.**

До основних недоліків візків типу 18-100 та аналогів в першу чергу відносяться незадовільні показники динаміки та міцності [1 – 3].

Аналіз досліджень і публікацій показав, що в останні роки проведено значну кількість науко-дослідних робіт з проблеми зламів бічних рам в зо-

нах радіусних переходів R55. Виходячи з опрацьованих робіт автором виділено основні гіпотези причини руйнувань:

1) Високі повздовжні сили від букс, що діють на зовнішні щелепи бічних рам при ударах після скатування з сортувальних гірок. Згідно [6] величина повздовжньої сили може досягати 100 кН на одну щелепу.

В рамках даної гіпотези за участю автора проведено експериментальне дослідження напружень в зоні радіусного переходу R55 бокової рами візка 18-100 при ударних випробуваннях (випробування проведено на базі філії «ДВРЗ» ПАТ «Укрзалізниця» в період 23.06.2017 – 28.07.2017, у якості досліджуваних вагонів використано зерновози моделі 19-752) – рис. 5 а), б). Встановлено, що максимальні напруження в зоні R55 бокової рами при ударі на швидкості 15 км/год становлять 80 МПа.



Рис. 5. Ударні випробування: місця наклейки тензорезисторів (а); загальний вигляд дослідного вагону (б)

2) Високі діючі моменти сил на зону буксового отвору внаслідок забігання бічних рам, які в свою чергу мають велике значення через незадовільний технічний стан візків (та колії). Дана гіпотеза була представлена компанією «Амстед-Рейл» (Протокол ПАТ «Укрзалізниця» ЦЦТех №5/26).

3) Дефекти матеріалу [7]. Частою причиною зламів рам є ливарні чи інші дефекти в матеріалі, які пов'язані з порушенням технології виготовлення та недосконалістю методів дефектоскопії.

4) Зміна конструкції, яка полягає у переході до 18-100 типу 4 з квадратним профілем в небезпечній зоні замість двотаврового. Така гіпотеза описується різними науковцями, але на даний час немає чіткого наукового обґрунтування.

Автором висувається 5-та гіпотеза, яка є поєднанням 1-ї та 2-ї, а саме: найбільші напруження в бокових рамах можливі при ударних навантаженнях поєднаних з перекосами колісних пар. Еквівалентне розрахункове напруження при такому навантаженні досягає 200 МПа.

Актуальним завданням є покращення показників динаміки візків. В рамках дослідницьких робіт автором розроблено прототип візка вантажного вагону на основі 18-100 з використанням буксового ступеню ресорного підвищення, як показано на рис. 6, де 1 – надресорна балка, 2 – центральне підвищення, 3 – фрикційні елементи, 4 – бокова рама, 5 – колісні пари, 6 – підбуксова струнка, 7 – букса (адаптер), 8 – подовжені елементи букс, що проходять крізь під буксову струнку, 9 – пружні елементи буксового ступеню підвищення (пружини, ресори).

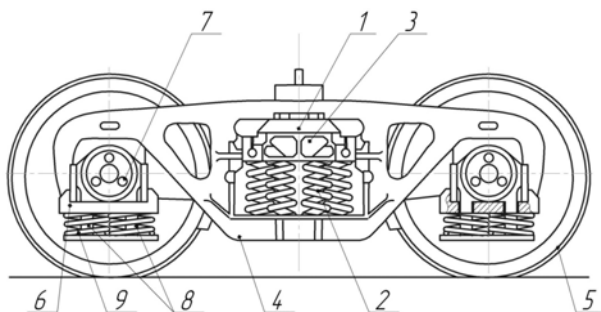


Рис. 6. Візок з буксовим ступенем ресорного підвищення

У даній частині статті розглядаються результати моделювання динаміки вантажного вагону, а саме розрахунок опору руху для кожного з восьми коліс в умовних одиницях. Моделювання проводилося в програмному комплексі «Універсальний механізм 6.0.0» на прямому ділянці доріг без кривих та відхилень, нерівномірність шляхів, сформованих на основі даних вагонів-колес вимірювачів ПАТ «Укрзалізниця», швидкості для моделювання - 30, 60 і 90 км/год. Моделювання проводилося для одиночного вагону, оснащеного візками типу 18-100 (без буксової ступені підвищення) в нормальному технічному стані (далі існуючий вагон) і для вагону, оснащеного візками типу 18-100 з прогином буксового ступеню – 40 мм (далі вагон з двома ступенями підвищення). Час моделювання – 23 с. Для значень протидії руху прийняті наступні позначення: 1L – колесо першої по ходу руху колісної пари, лівого колеса, 2L – колесо другої по ходу руху колісної пари, лівого колеса та ін. 1R – колесо першої по ходу руху колісної пари, правого колеса та ін.

На рис. 7 – 9 показані результати моделювання опору руху кожного колеса існуючого вагону при швидкостях 30, 60 і 90 км/ч. В таблиці 1 зведено середні значення опору руху існуючого вагону.

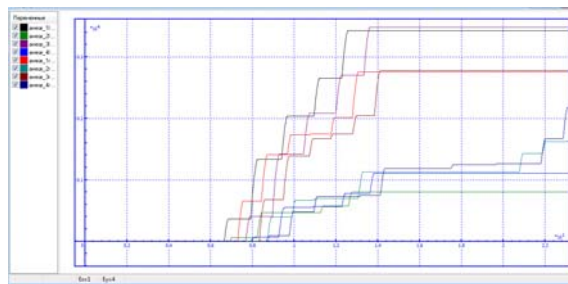


Рис. 7. Опір руху кожного колеса існуючого вагону при швидкості  $V = 30$  км/год

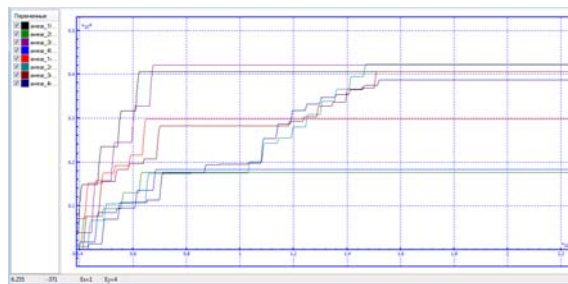


Рис. 8. Опір руху кожного колеса існуючого вагону при швидкості  $V = 60$  км/год

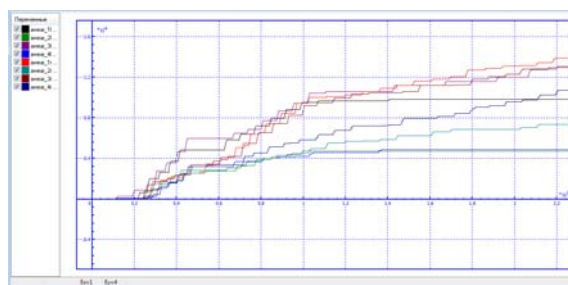


Рис. 9. Опір руху кожного колеса існуючого вагону при швидкості  $V = 90$  км/год

Аналогічно проведено моделювання для вагону з двома ступенями підвищення. Порівняння результатів представлено у вигляді діаграмами (рис. 10).

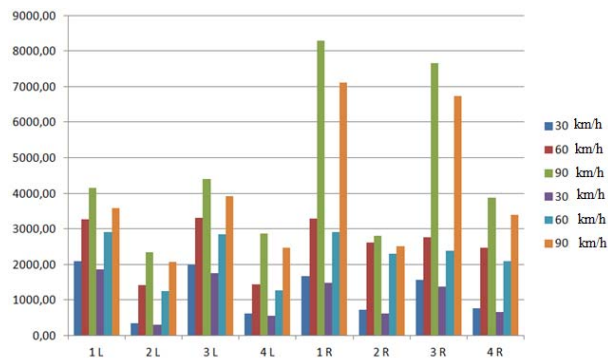


Рис. 10. Гістограма значень середнього значення опору руху існуючого вагону (синій, червоний і зелений кольори) і вагону з двома ступенями підвищення (фіолетовий, блакитний і помаранчевий кольори) при швидкостях 30...90 км/год

Як видно з рис. 10 зниження опору руху навантаженого вагона з використанням буксового ступеня ресорного підвішування зі статичним прогином 40 мм становить в середньому 11 - 15% ( $13 \pm 2\%$ ).

#### Висновки

1. Трьохелементні візки типу 18-100 та аналоги не відповідають новітнім вимогам щодо показників динаміки та міцності. Актуальним двоєдиним завданням на сьогоднішній день є розробка нових проривних технологій, а саме створення оригінальних конструкцій ходової частини вантажних вагонів з метою підвищення швидкостей руху, зниження необресорених мас, зниження рівня впливу на колію, підвищення енергоефективності рухомого складу, а також створення способів модернізації існуючих візків для поліпшення їх техніко-економічних характеристик.

2. Загальноприйнятій класифікації візків вантажних вагонів мають бути доповнені перспективними видами організації ресорного підвішування. Автором розроблено наступні типи для доповнення класифікації: комбіноване буксове підвішування з пружною рамою, комбіноване центральне підвішування з пружною рамою, пружна рама, багатоступінчате комбіноване: буксове і центральне підвішування з пружною рамою, багатоступінчате комбіноване: буксове і центральне коліскове підвішування з пружною рамою, пружна надресорна балка.

3. У якості пружно-дисипативної несучої рами візка вантажного вагону ефективно використовувати листові ресори.

4. До основних причин зламів бокових рам типу 18-100 в зоні радіусного переходу R55 відносяться: високі повздовжні сили від букс, що діють на зовнішні щелепи бічних рам при ударах після скатування з сортувальних гірок; високі діючі моменти сил на зону буксового отвору внаслідок забігання бокових рам; дефекти матеріалу; недосконалі конструкція бокової рами та перекося колісних пар при повздовжніх ударних навантаженнях.

5. За результатами комп'ютерного моделювання зниження опору руху навантаженого вагона з використанням буксового ступеня ресорного підвішування зі статичним прогином 40 мм становить  $13 \pm 2\%$ .

#### Література

1. Горбунов Н.И. К вопросу создания тележки грузового вагона / Н.И. Горбунов, С.Д. Мокроусов, Е.С. Ноженко, Е.А. Кравченко, С.В. Кара // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля 2013, №18 (207) – С. 91-97.
2. Горбунов М.І. Обґрунтування технічних рішень щодо підвищення міцності візка вантажного вагона / Горбунов М.І., Ноженко О.С., Кара С.В. та ін. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Во-

лодимира Даля № 1 (218) Ч. 1. Вид-во СНУ ім. В. Даля м. Сєвєродонецьк, 2015 – С. 200 – 203.

3. Горбунов М. І. Перспективні напрями підвищення міцності бокових рам візків вантажних вагонів / М. І. Горбунов, С. В. Кара О. С. Ноженко, А. Д. Анофрієв // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 26- 27. К.: ДЕТУТ, 2015 – С. 148 – 154.
4. Деклараційний патент України на корисну модель № 114020 Візок вагона / Горбунов М. І.; Герліці Ю.; Лак Т.; Ноженко О.С.; Кара С.В.; Хаусер В.; Кравченко К.О.; Просвірова О.В. - 27.02.2017, бюл. № 4.
5. Деклараційний патент України на корисну модель № 117942 Візок вагона / Горбунов М. І.; Герліці Ю.; Лак Т.; Ноженко О.С.; Кравченко К.О.; Кара С.В.; Ноженко В.С.; Просвірова О.В. - 10.07.2017, бюл. № 13.
6. Сенько В.И. Анализ причин повреждения и возможности продления срока службы боковых рам тележек грузовых вагонов / В.И. Сенько, М.И. Пастухов, С.В. Макеев, И.Ф. Пастухов //Вестник ГГТУ им. П.П.Сухого. – №4, 2010. – С. 13-18.
7. Огневой. В.Я. Фрактографические особенности разрушения литых боковых рам тележек грузовых вагонов / В.Я. Огневой // Ползуновский альманах. – 2011. – №4. – С. 36-41.

#### References

1. Horbunov N.Y. the question of the creation of a freight wagon / N.Y. Horbunov, S.D. Mokrousov, E.S. Nozhenko, E.A. Kravchenko, S.V. Kara // Visnyk Shkhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia 2013, №18 (207) – S. 91-97.
2. Horbunov M.I. Rationale technical solutions to improve the strength of freight wagon bogie / Horbunov M.I., Nozhenko O.S., Kara S.V. ta in. // Visnyk Shkhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia № 1 (218) Ch. 1. Vyd-vo SNU im. V. Dalia m. Sievierodonetsk, 2015 – S. 200 – 203.
3. Horbunov M. I. Perspective directions of increase strength side frame freight car bogies / M. I. Horbunov, S. V. Kara O. S. Nozhenko, A. D. Anofriiev // Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko-tekhnologichnoho universytetu transportu Ministerstva osvity i nauky Ukrainy: Serii «Transportni systemy i tekhnologii». – Vyp. 26- 27. K.: DETUT, 2015 – S. 148 – 154.
4. Deklaratsiinyi patent Ukrainy na korysnu model № 114020 Bogie of the wagon / Horbunov M. I.; Herlitsi Iu.; Lak T.; 27.02.2017. № 4.
5. Deklaratsiinyi patent Ukrainy na korysnu model № 117942 Bogie of the wagon / Horbunov M. I.; Herlitsi Iu.; Lak T.; Nozhenko O.S.; Kravchenko K.O.; Kara S.V.; Nozhenko V.S.; Prosvirova O.V. - 10.07.2017, biul. № 13.
6. Senko V.Y. Analysis of the causes of damage and the possibility of extending the life of the side frames of freight wagons / V.Y. Senko, M.Y. Pastukhov, S.V. Makeev, Y.F. Pastukhov //Vestnyk NHTU ym. P.P.Sukhoho. – №4, 2010. – S. 13-18.
7. Ohnevoi. V.Ia. Fractography especially fracture cast side frames freight car bogies / V.Ia. Ohnevoi // Polzunovskiy almanakh. – 2011. – №4. – S. 36-41.



**Кара С.В. Улучшения показателей динамики и прочности ходовой части грузовых вагонов путем конструктивного совершенствования**

*В статье рассмотрены вопросы перспективных ходовых частей для грузовых вагонов нового поколения, разработано дополнение к существующей классификации тележек, а именно предложено внедрение таких типов подвешивания: комбинированное буксовое подвешивание с упругой рамой, комбинированное центральное подвешивание с упругой рамой, упругая рама, многоступенчатое комбинированное: буксовое и центральное подвешивание с упругой рамой, многоступенчатое комбинированное: буксовое и центральное, люльчатое подвешивание с упругой рамой, упругая наддресорная балка. Проанализированы основные проблемы недостаточной прочности боковых рам, и представлены результаты экспериментальных исследований автора. Представлены результаты теоретических исследований средствами моделирования движения вагона в программном комплексе «Универсальный механизм» по определению влияния первой степени рессорного подвешивания в тележках типа 18-100 на энергоэффективность (сопротивление движению) и установлена расчетная величина снижения сопротивления движению. Подготовлено концепт принципиально новой конструкции тележки грузового вагона для скоростного движения, основанный на принципиально новых технических решениях с упруго-диссипативными несущими элементами, а также разработана концепция модернизации тележек типа 18-100 и аналогов путем внедрения буксового подвешивания на жд пути 1520 мм.*

**Ключевые слова:** тележка грузового вагона, рама, рессорное подвешивание, прочность, динамика, энергоэффективность, классификация тележек.

**Kara S. Improvement of indicators of dynamics and strength of freight cars bogies by constructive changes**

*The article deals with the issues of perspective moving parts for the new generation of freight wagons, an addition to the existing classification of bogies was developed, namely, the introduction of such types of suspensions was proposed: a combined box hanging with an elastic frame, a combined central hanging with an elastic frame, an elastic frame, a multi-stage combined: central hanging with elastic frame, multi-stage combined: box and central, hollow suspension with elastic frame, elastic on dressing beam. The main problems of insufficient strength of lateral frames are analyzed, and the results of experimental studies of the author are presented. The results of theoretical investigations by means of modeling of the carriage movement in the software complex "Universal Mechanism" on the definition of the effect of the first stage of spring suspension in 18-100 type trucks on energy efficiency (resistance to motion) are presented, and the calculated value of reduction of resistance to motion is established. The conception of a fundamentally new construction of a truck for high-speed traffic was prepared, based on fundamentally new technical solutions with elastic-dissipative carrier elements, as well as a concept for the modernization of 18-100 and analogue carts by introducing a boom suspension on a 1520 mm track.*

**Key words:** freight truck bogie, frame, spring suspension, strength, dynamics, energy efficiency, classification of bogies.

**Кара Сергій Віталійович** – аспірант каф. ЗАТ та ПТМ ЧНУ ім. В. Даля, e-mail: Kara\_SV@i.ua, тел. +38(066)4455778.

Рецензент: д.т.н., проф., **Горбунов М.І.**

Стаття подана 31.03.2017.