

АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ПРОЕКТУВАННЯ ТА МЕТОДІВ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ВАНТАЖНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

*Швець А. О., Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені акад. В. А. Лазаряна*

У статті викладено результати теоретичних та експериментальних досліджень, які спрямовані на вирішення актуальної проблеми оновлення парку вантажних вагонів, що експлуатуються на залізницях України. Мета досліджень полягала в аналізі сучасного стану парку вантажних вагонів та деяких методів удосконалення конструкцій вантажних вагонів. Виконано теоретичні та описано експериментальні дослідження деяких показників вантажного парку. Описано дослідження щодо впливу інерційних характеристик на динамічні показники. Приведено результати експлуатаційних випробувань вагонів-хоперів щодо визначення впливу маси тари та центру ваги вантажного вагона на його динамічні показники.

Ключові слова: вагони-хопери, динамічні показники вагонів-хоперів, інерційні характеристики вагонів, оновлення вантажного рухомого складу, скидання вагонів з клинів.

Парк вантажних вагонів України налічує понад 103 тис. вагонів, при тому в робочому стані знаходиться близько 71 тис. вагонів, а 90,7% вантажних залізничних вагонів, що знаходяться в експлуатації на українських залізницях, мають наднормативний знос (рис. 1). Стан вантажного рухомого складу потребує великого об'єму робіт з оновлення парку вантажних вагонів України. Надзвичайно важливо зупинити тенденцію зменшення кількості вантажних вагонів та локомотивів і почати збільшувати робочий парк. Парк вантажних вагонів планується оновити за рахунок майже 9 тис. одиниць рухомого складу [1, 2].

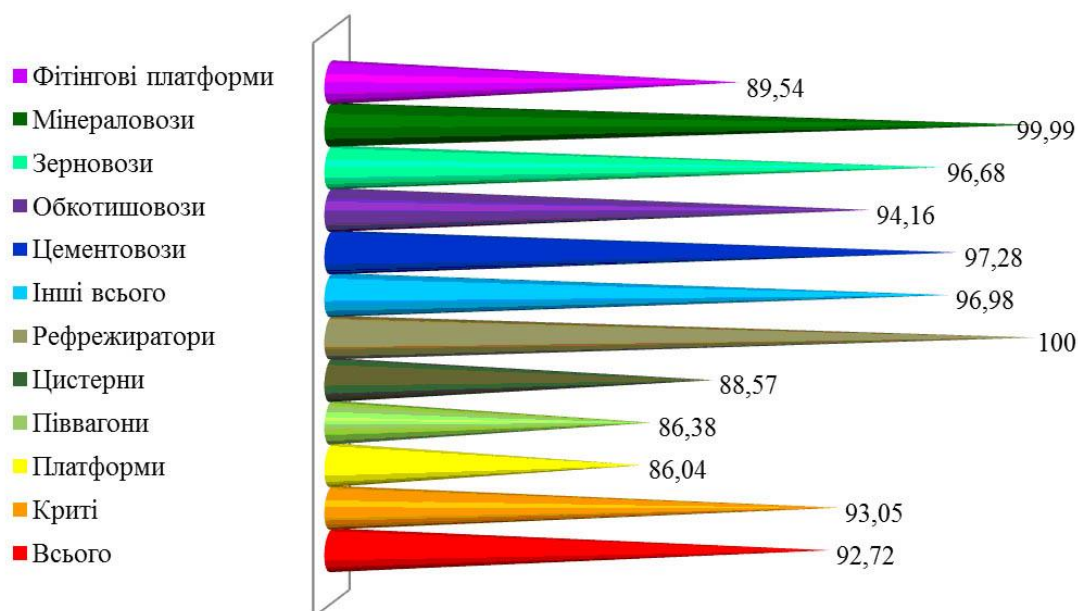


Рис. 1. Знос парку вантажних вагонів

Окрім того, ПАТ «Укрзалізниця» модернізуватиме рухомий склад для продовження терміну експлуатації – окупність інвестицій у модернізацію локомотивів у 3-4 рази швидша, ніж у їх придбання. Найголовніше завдання – уніфікувати рухомий склад, змінити систему його утримання та підвищити ефективність використання вагонів і локомотивів. Учасники транспортного ринку повинні пам'ятати, що $\frac{3}{4}$ рухомого складу – зношені. Тому необхідні великі інвестиції для швидкого оновлення парку. Пріоритетним напрямком інвестиційної діяльності ПАТ «Укрзалізниця» є оновлення залізничного рухомого складу (рис. 2). Правління товариства 29.11.2016 схвалена Програма оновлення рухомого складу до 2021 року. Її мета за 5 років оновити шляхом придбання, модернізації та капітальних ремонтів тяговий рухомий склад, пасажирські та вантажні вагони, електро- та дизель-поїзди і рейкові автобуси на 50% [1, 2].

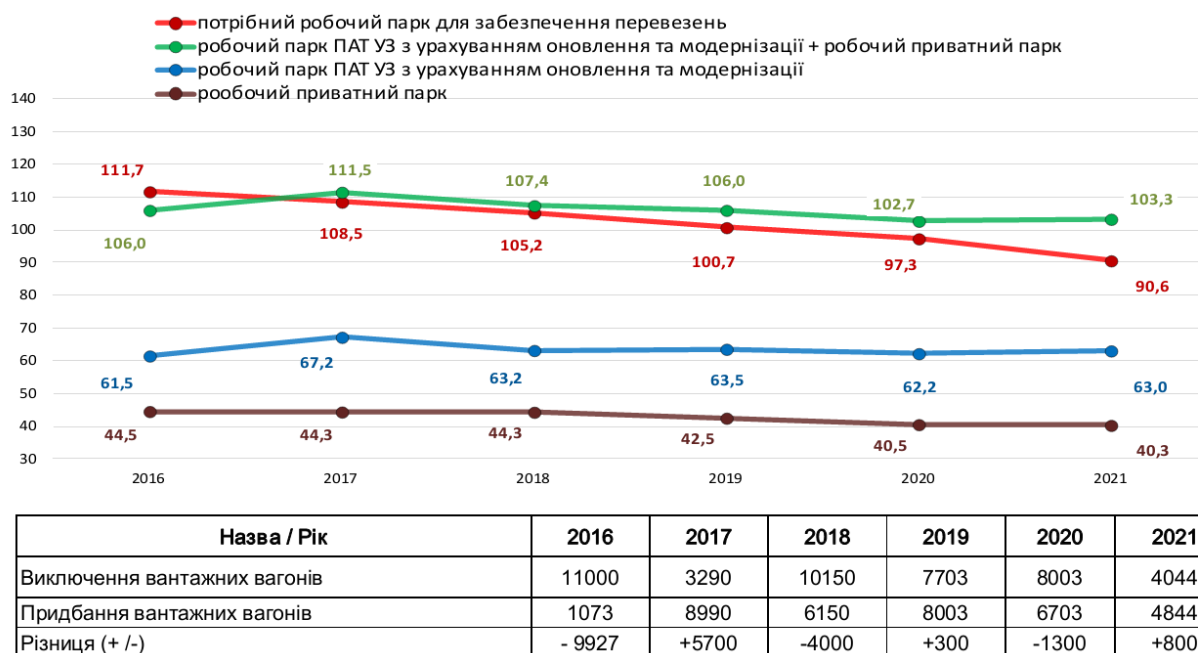


Рис. 2. Парк вантажних вагонів у 2016-2021 рр. з урахуванням оновлення, модернізації та удосконалення експлуатаційної роботи

Підприємства залізничного транспорту України в 2017 року зменшили перевезення вантажів у порівнянні з аналогічним періодом 2013 року на 25% – до 93 млн. тонн, але не зважаючи на це, об'єм вантажообігу у вагонах-хоперах залишається у середньому на рівні 59,7% (рис. 3,а). Крім того, ПАТ «Укрзалізниця» планує придбати 8600 одиниць спеціалізованих вагонів-хоперів (рис. 3,б) [2, 3].

Постановою Кабінету Міністрів України від 30 грудня 2015 р. № 1194 затверджено «Технічний регламент безпеки рухомого складу залізничного транспорту», який визначає основні вимоги до рухомого складу, що виготовляється та модернізується, а також до його складових і запасних частин під час проектування, виробництва, монтажу, налагодження, введення в експлуатацію, експлуатації, ремонту.

Прискорене оновлення рухомого складу є одним із надважливих напрямів модернізації транспорту. Це дасть змогу суттєво покращити обслуговування економіки та населення, підвищити конкурентоспроможність національних перевізників на світових ринках перевезень, забезпечить повною мірою безпеку перевезень та охорону довкілля.

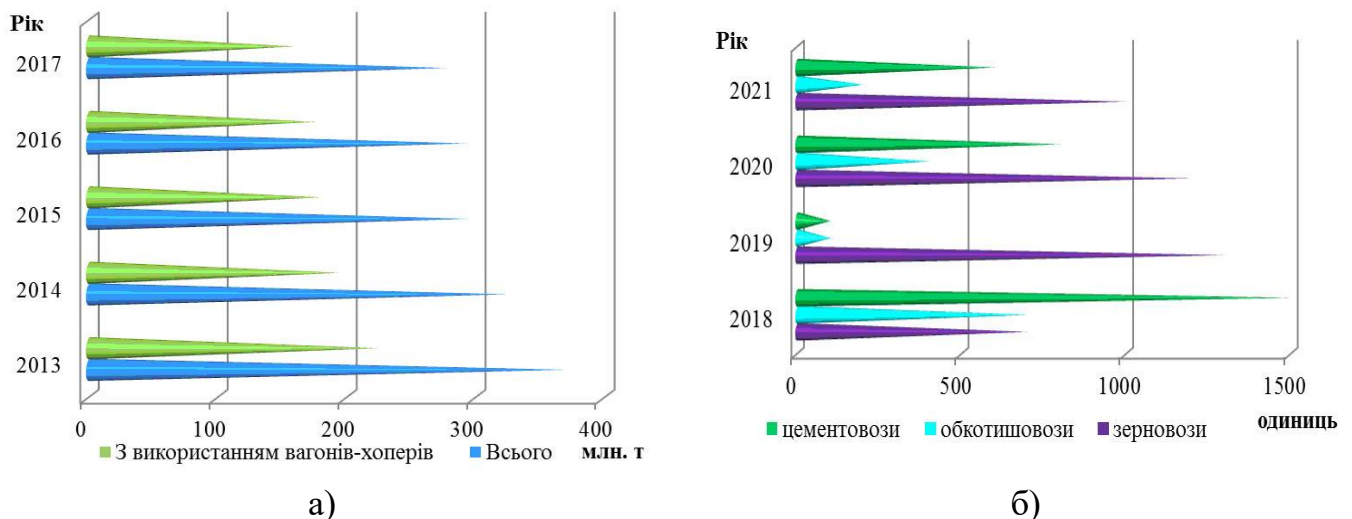


Рис. 3. Статистичні данні:

а) вантажообіг у вагонах-хоперах; б) придбання спеціалізованого рухомого складу.

Основні завдання щодо забезпечення оновлення рухомого складу [4]:

- прискорене та збалансоване впровадження сучасних європейських стандартів безпечного, екологічно сприятливого та енергоефективного транспорту;
- формування раціональної структури парку рухомого складу за потужністю, вантажністю, пасажиромісткістю, спеціалізацією, видами палива тощо відповідно до поточної структури транспортного попиту;
- оновлення та модернізація залізничного рухомого складу з метою збільшення його строку служби, підвищення безпеки та швидкості руху.

Залізничний транспорт займає провідне місце у задоволенні потреб економіки та населення України в перевезеннях, є важливим фактором забезпечення соціально-економічного зростання і зміцнення обороноздатності держави, розвитку її зовнішньоекономічних зв'язків. Тому розробка, освоєння виробництва та впровадження в експлуатацію сучасного рухомого складу нового покоління є актуальною науково-технічною проблемою для економіки України. З урахуванням статистичних даних Програми оновлення рухомого складу до 2021 року стосовно парку вагонів-хоперів основна увага у даному дослідженні приділяється саме цьому виду спеціалізованих вантажних вагонів (рис. 3).

На сьогоднішній день в світі розроблено велику кількість комп'ютерних комплексів і технологій, які використовуються в якості програмних ресурсів підтримки прийняття рішень в області інженерних розрахунків конструкцій рухомого складу [5].

Перевагами комп'ютерних комплексів є звільнення користувача від роботи з дослідження задачі, створення алгоритмів, написання і налагодження програм, що скорочує час на постановку і рішення задач; суттєве скорочення часу машинного дослідження і рішення науково-технічних завдань у порівнянні з традиційною технологією рішення і т.і.

Програмні комплекси різного призначення, вміло застосовують сучасні комп'ютерні технології (математичне моделювання, бази даних та знань, комп'ютерні мережі, експертні системи та системи прийняття рішень, мультимедіа інформаційні технології, інформаційні ресурси мережі Internet) на всіх етапах проектування та розробки, а саме: попереднього дослідження, вибору принципів дії, розробок ескізного та технічного проектів, всебічного інженерного аналізу і оптимізації проекту, підготовки конструкторської документації та керуючої інформації для автоматизованих виробництв.

Використання сучасних комп'ютерних пакетів дозволяє здійснити реалістичну імітацію динамічної поведінки залізничних транспортних засобів. Теоретичні основи математичного моделювання, що використовуються в даний час в програмах спочатку написаних науково-дослідними інститутами, були реалізовані в потужні, перевірені і зручні пакети. Прикладами можуть служити: ADAMS/Rail, Medyna, Nucars, Simpack та Vampire. Крім того, для дослідження методом математичного моделювання динамічної навантаженості вагонів використовується вітчизняний програмний комплекс «Dynamics of Rail Vehicles» («DYNRAIL») [6, 7].

При вивченні динамічних якостей рейкових екіпажів і, особливо, вантажних вагонів важливе місце при формуванні вихідних даних для розрахунку займають масові, геометричні, інерційні характеристики. Незважаючи на те, що названі характеристики тим чи іншим чином пов'язані між собою, особливий інтерес викликають саме інерційні характеристики. Тим більше, що ці характеристики безпосередньо беруть участь у формуванні динамічних показників рейкових екіпажів [7, 8].

Найважливішими розрахунковими динамічними характеристиками є: моменти інерції кузова відносно головних центральних осей інерції без вантажу (для визначення динамічних показників порожнього вагону) та з вантажем, маса кузова і висота центру мас кузова без вантажу та з вантажем над площиною спирання надресорних балок на ресорні комплекти. Для визначення цих динамічних характеристик розроблений спеціальний програмний комплекс. Вихідними даними для якого є параметри всіх елементів вагона – масові характеристики та розміри деталей кузова вагона. Для кожної деталі обчислюються статичні моменти відносно точки, що лежить на перетині поздовжньої та поперечної осей симетрії кузова вагона в площині головок рейок, а також моменти інерції всіх деталей відносно осей, що проходять через зазначену точку вздовж осі колії, поперек осі колії та по вертикалі. За допомогою знайденого статичного моменту визначається висота центру мас кузова вагона без вантажу над рівнем головок рейок. Таким чином, визначаються положення головних центральних осей інерції порожнього кузова та моменти інерції відносно цих осей. Аналогічним чином визначаються динамічні характеристики вантажу після чого, можна отримати результуючі динамічні характеристики кузова вагона з вантажем [9, 10].

Для перевірки результатів обчислень моментів інерції кузова вагона використовують їх експериментальне визначення. Більш простим є метод пружних коливань кузова на ресорах. У цьому випадку завантажений або порожній кузов вагона, який знаходиться на тарованих ресорах, приводиться у коливальний стан шляхом скидання його з підкладених під колеса клинів заданої висоти [11].

Схема установки для скидання вагона з клинів приведена на рис. 4.

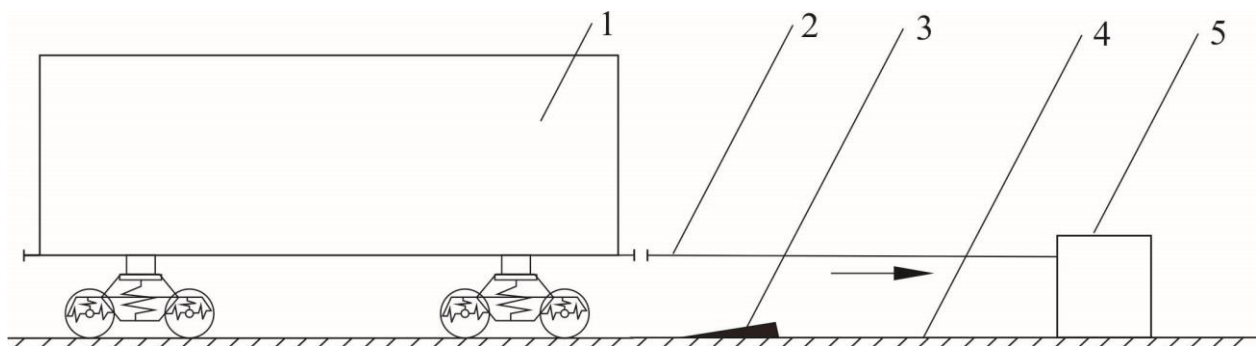


Рис. 4. Схема установки для скидання вагона з клинів
1 – вагон; 2 – трос лебідки; 3 – клин на рейці; 4 – рейкова колія; 5 – лебідка

Установка монтується на горизонтальній ділянці залізничної колії і забезпечується лебідкою для переміщення вагона. На кузов встановлюється віброметр для фіксації коливань, і за допомогою лебідки вагон наочується на клини та падає з них на рейки. В результаті такої ударної взаємодії порушуються вільні коливання, за параметрами яких визначаються динамічні характеристики вагона.

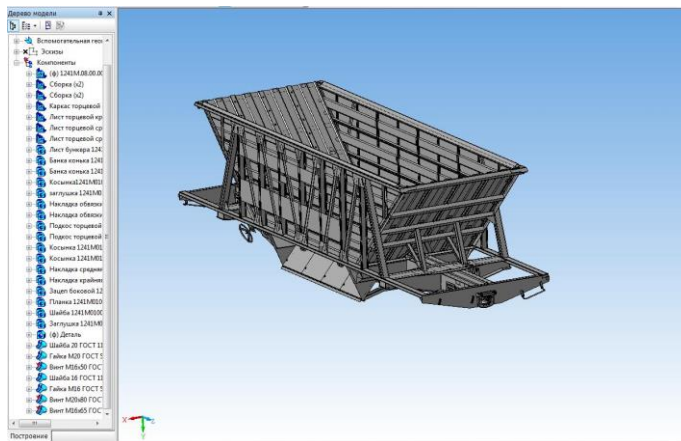
Клини встановлюються по черзі:

- під колеса одного боку вагона (імітація бокової качки);
- під колеса одного боку одного візка та другої сторони іншого (імітація скручування);
- під колеса одного візка (імітація галопування);
- під всі колеса вагона (імітація підстрибування).

Частоти власних коливань випробовуваного вагону та моменти інерції його обресореної маси визначаються перед початком динамічних (ходових) випробувань шляхом вільного перекочування вагона через підкладені під колеса спеціальні клини, які встановлюються в певному порядку для імітації підстрибування, галопування і бокової качки кузова вагона. При падінні коліс з клинів збуджуються власні коливання кузова вагона на ресорному підвішуванні, відповідний аналіз яких дозволяє визначити частоту, декремент затухання амплітуд коливань та момент інерції обресореної маси вагона.

Отримані характеристики використовуються для визначення динамічних показників вагонів. За виконаними розрахунками проводиться зіставлення динамічних якостей вантажних вагонів, з результатами експериментальних досліджень. Таким чином, доповнення математичних моделей просторових коливань вихідними даними з уточненими інерційними характеристиками елементів вагонів та вантажів дозволяє наблизити результати розрахунків до реального стану об'єктів і тим самим підвищити об'єктивність математичного моделювання [7, 8, 12].

Інерційні та масові характеристики вагонів та окремих їх елементів можна отримати за допомогою систем тривимірного моделювання (КОМПАС-3D, ANSYS, APM WinMachine, Solidworks та ін.) після побудови 3D-моделі (рис. 5) [13, 14].



а)



б)

Рис. 5. Загальний вигляд розрахункової моделі вагона-хопера:

а) для перевезення гарячого агломерату та обкотишів в КОМПАС-3D;

б) моделі 19-9596 в ANSYS

Динамічні поїзні (ходові) випробування є одним з основних етапів відпрацювання конструкції вагона та оцінки його динамічних і міцнісних якостей. Нові типи вагонів після відпрацювання конструкції на дослідних зразках або партіях проходять всебічні випробування. За результатами виготовлення та випробування дослідних зразків і контрольної серії коригується конструкторська документація, перевірена за

технологічним процесом. Періодичний контроль якості будівництва та працездатності вагона проводиться в експлуатації – експлуатаційні випробування. Спеціальні випробування вагона в цілому та його окремих елементів дозволяють заздалегідь за порівняно короткий термін встановити фактичну міцність і довговічність різних частин, оцінити його динамічні якості й вплив на залізничну колію.

Аналіз причин сходів порожніх вагонів показав, що велика частина сходів відноситься до вагонів бункерного типу та цистерн при русі зі швидкістю більше 60 км/год по кривим радіусом менше 850 м. Порожні піввагони сходять з рейок значно рідше. Вагони бункерного типу та цистерни мають в порівнянні з піввагонами відповідно на 0,85 м й на 1,3 м меншу базу. Однак порожні цистерни в порівнянні з порожніми піввагонами мають підвищений на 0,3 м центр ваги, а вагони бункерного типу (вагони-хопери) при однаковій з піввагонами висоті центру ваги мають меншу приблизно на 3 т масу тари [15-17].

Теоретичні дослідження впливу інерційних характеристик на динамічні показники досліджуваних вагонів-хоперів проводились методом математичного моделювання за допомогою програмного комплексу створеного в ГНДЛ ДМРС [12]. Параметри вагонів наведені в табл. 1 та табл. 2.

Таблиця 1

Масові та геометричні характеристики досліджуваних вагонів

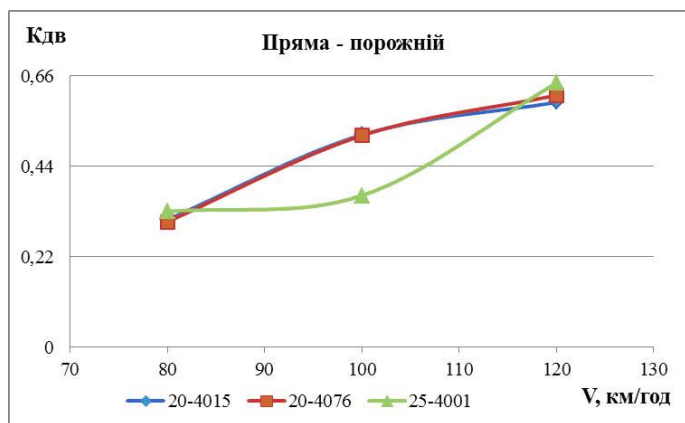
Найменування вагона	№ моделі	Маса кузова з вантажем M_0 і M , т		База вагона $2L$, м	Висота центру мас над РГР h , м	
		порожн	завант		порожн	завант
Вагон-хопер для перевезення окатишів	20-4015	14,2	84,95	7,78	1,73	2,06
Вагон-хопер для перевезення бокситів	20-4076	13,2	84,0	7,78	1,69	2,5
Вагон-хопер для перевезення техвуглецю	25-4001	16,4	84,1	13,37	2,0	2,7

Таблиця 2

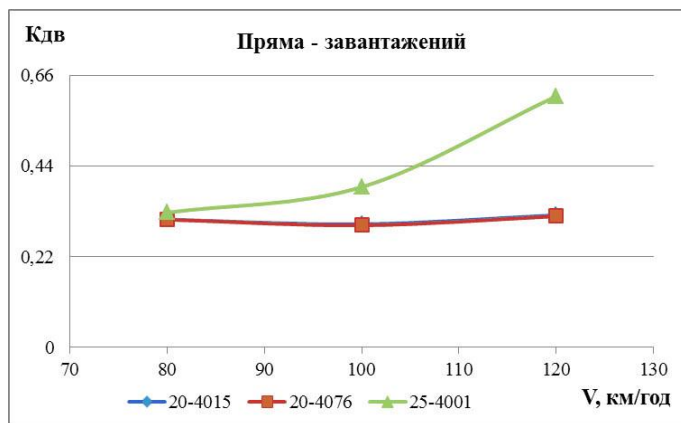
Інерційні характеристики досліджуваних вагонів

Найменування вагона	Моменти інерції кузова відносно центральних осей					
	продольної I_x , тм ²		поперечної I_y , тм ²		вертикальної I_z , тм ²	
	порожн	завант	порожн	завант	порожн	завант
Вагон-хопер для перевезення окатишів 20-4015	21,3	107,4	153,0	437,4	155,5	489,3
Вагон-хопер для перевезення бокситів 20-4076	20,5	147,7	157,5	497,5	158,5	524,7
Вагон-хопер для перевезення техвуглецю 25-4001	44,2	197,8	494,9	1788,5	477,1	1716,9

Розрахунки виконані при русі вагонів по прямолінійним ділянках колії з типовими візками, типовими ковзунами зі швидкостями 80, 100 й 120 км/год в двох варіантах завантаження: порожній та завантажений. З усіх показників виділені найбільш істотні, які зазвичай визначають при проведенні експериментальних досліджень: коефіцієнти вертикальної динаміки по обресореній частини вагона (рис. 6); коефіцієнти горизонтальної динаміки по не обресореній частини вагона (рис. 7); коефіцієнти стійкості від вповзання колеса на рейку (рис. 8).

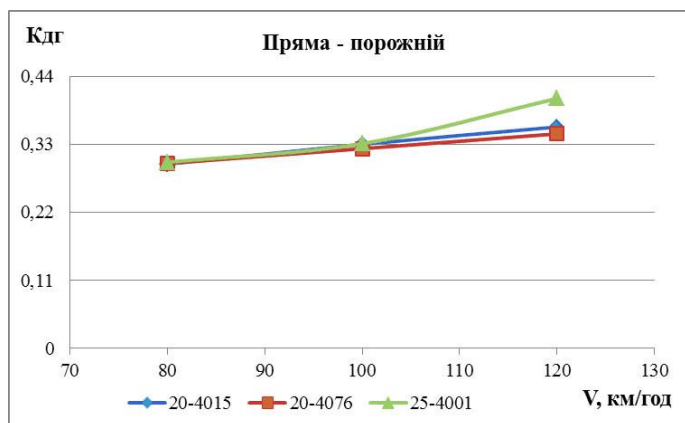


а)

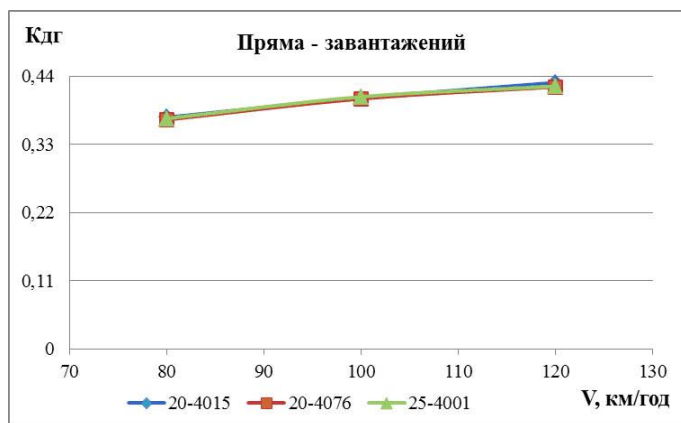


б)

Рис. 6. Коefіцієнти вертикальної динаміки по обресореній частині вагона:
а) порожній режим; б) завантажений режим

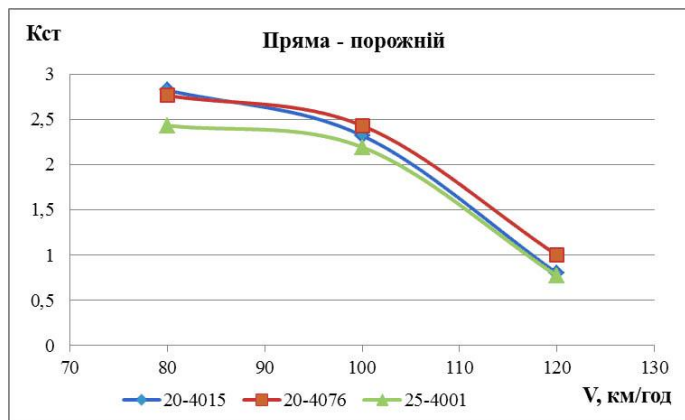


а)

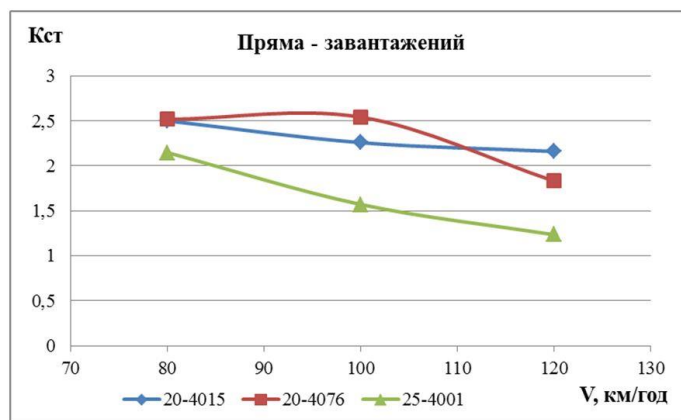


б)

Рис. 7. Коefіцієнти горизонтальної динаміки по не обресореній частині вагона:
а) порожній режим; б) завантажений режим



а)



б)

Рис. 8. Коefіцієнти стійкості від вповзання колеса на рейку:
а) порожній режим; б) завантажений режим

Аналіз отриманих графіків (рис. 6-8) відповідно до [18, 19] показує, що динамічні показники досліджуваних вагонів-хоперів відповідають встановленим нормам, забезпечується стійкість руху та запас стійкості проти сходу коліс з рейок в діапазоні експлуатаційних швидкостей до 120 км/год як у порожньому, так і у завантаженому стані [12].

Для оцінки впливу висоти центру ваги та маси тари на безпеку руху порожніх вагонів були проведені ходові динамічні випробування при поїздках в кривих ділянках колії радіусом 350 й 650 м з наступними чотиривісними порожніми вагонами [15]:

- критим вагоном-хопером (умовне позначення варіанту – X);
- критим вагоном-хопером, довантаженим на раму вагона блоками масою 3 т (умовне позначення варіанту – X-Б);
- критим вагоном-хопером, довантаженим на дно кузова щебенем масою 3 т (умовне позначення варіанту – X-Щ).

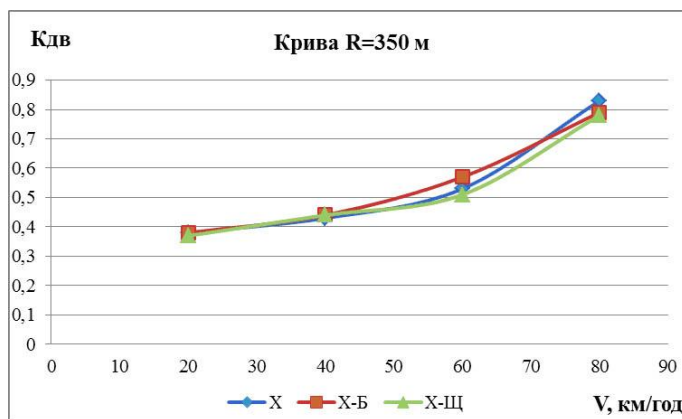
Параметри вагонів наведені в табл. 3.

Таблиця 3

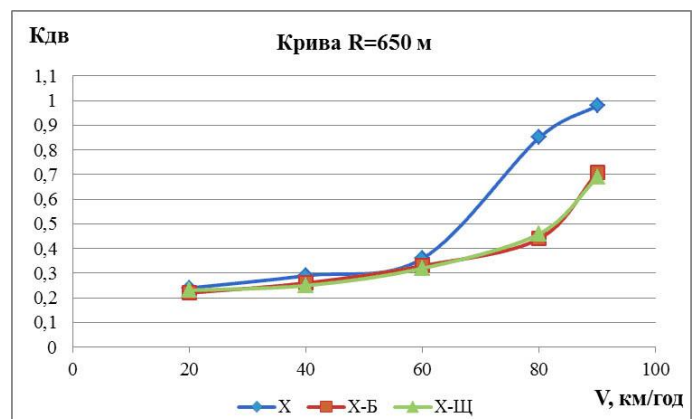
Масові та геометричні характеристики досліджуваного вагона-хопера при проведенні ходових динамічних випробувань

Вагон-хопер*	Маса вагона, т	Висота центру ваги вагона, м	База вагона, м
Порожній X	19,8	1,25	7,8
Завантажений блоками 3 т X-Б	$19,8 + 3,0 = 22,8$	1,25	
Завантажений щебенем 3 т X-Щ	$19,8 + 3,0 = 22,8$	1,06	

* – номер моделі досліджуваного вагона-хопера авторами [13] не вказано



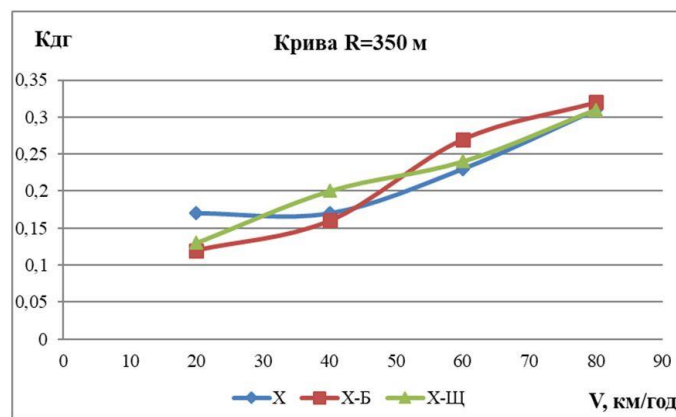
а)



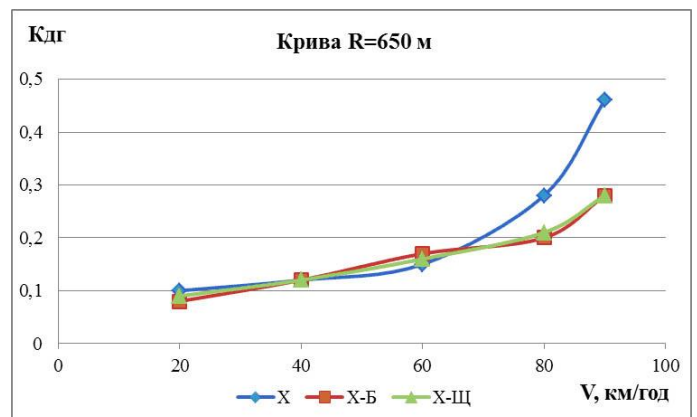
б)

Рис. 9. Коефіцієнти вертикальної динаміки по обрешеченій частині вагона:

а) крива R=350 м; б) крива R=650 м



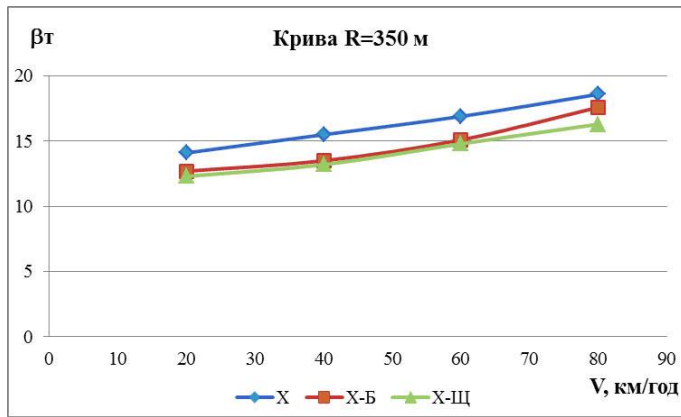
а)



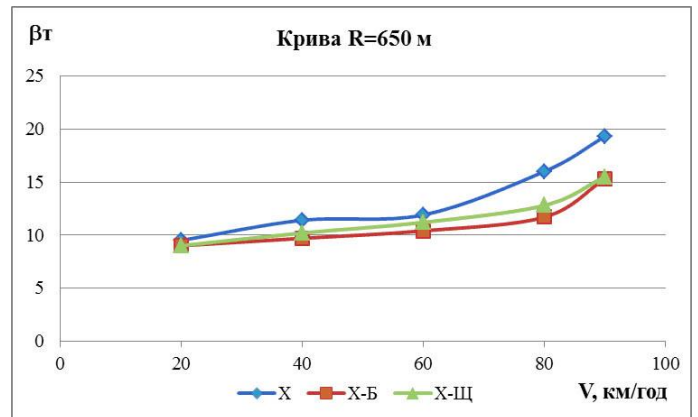
б)

Рис. 10. Коефіцієнти горизонтальної динаміки по не обрешеченій частині вагона:

а) крива R=350 м; б) крива R=650 м



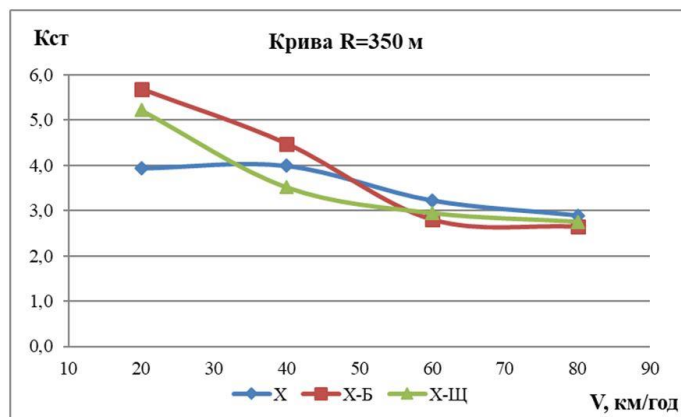
а)



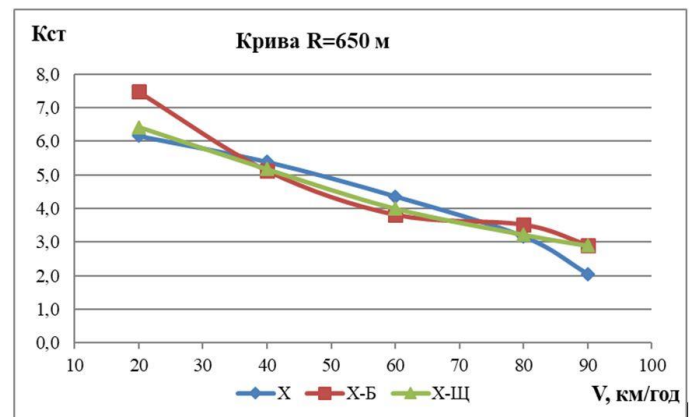
б)

Рис. 11. Кут повороту візка відносно кузова вагона:

а) крива R=350 м; б) крива R=650 м



а)



б)

Рис. 12. Коефіцієнти стійкості від вповзання колеса на рейку:

а) крива R=350 м; б) крива R=650 м

Аналіз даних показав (рис. 9-12), що в результаті довантаження вагона-хопера баластовим вантажем масою 3 т відбулося поліпшення його динамічних характеристик за рахунок збільшення статичного прогину ресорного підвішування, покращення зв'язаності боковин та зменшення схильності візків до виляння [15].

При зниженні висоти центру ваги вагона-хопера на 19 см за рахунок переміщення 3 т баластного вантажу з рами вагона на дно кузова помітних змін динамічних характеристик не відбулося. При русі в прямих ділянках колії, по кривих радіусом 350 і 650 м довантажування порожнього вагону-хопера баластовим вантажем масою 3 т призвело до істотного поліпшення його динамічних показників [15].

Висновки: Аналіз наведених результатів вказує на те, що у порожніх вагонів на динамічні показники, які визначають безпеку руху, більш значний вплив робить маса тари вагона, а не висота центру ваги. Для покращення динамічних якостей вагонів-хоперів в порожньому стані при швидкості руху понад 60 км/год рекомендується проектувати їх з осьовим навантаженням 25 тс, так як це збільшить їх тару і базу.

Аналіз результатів розрахунків показав, що динамічні показники досліджуваних вагонів-хоперів відповідають встановленим нормам, забезпечується стійкість руху і запас стійкості проти сходження коліс з рейок в діапазоні експлуатаційних швидкостей до 120 км/год як у порожньому, так і у завантаженому стані.

Перелік використаних джерел:

1. ПАТ «Укрзалізниця» планує суттєво збільшити інвестиції в оновлення рухомого складу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/448552/. – Назва з екрана. – Перевірено : 27.01.2018.
2. Вагонний парк ПАТ «Укрзалізниця» та взаємодія з приватними власниками рухомого складу / Департамент розвитку і технічної політики (ЦТЕХ) ; кер. ПАТ «Укрзалізниця». – Харків, 2017. – 11 с.
3. Перевезення вантажів залізничним транспортом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/tr.htm/. – Назва з екрана. – Перевірено : 27.01.2018.
4. Моніторинг сучасного рівня розвитку безпеки руху вітчизняної інфраструктури / О. В. Фомін, Н. Г. Мурашова, А. О. Швець, Н. О. Щупик, А. Х. Полежаєва // Вісник сертифікації залізничного транспорту. – 10/2017. – №05(45). – С. 6–22.
5. Недужа, Л. О. Застосування програмного комплексу АРМ WinMachine при проектуванні та розрахунках у машинобудуванні / Л. О. Недужа, А. О. Швець // Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. – Вип. 2 (62). – 2016. – С. 129–147. doi 10.15802/stp2016/67328.
6. Iwnicki, S. & Bezin, Yann (2001). Simulation as a tool for assessing the match between track and vehicle standards. In: Infrarail 2001: developments in the railway industry. ICE Publishing, pp. 19–23. ISBN 9780727742407.
7. Мямлин, С. В. Формирование исходных данных при моделировании динамических параметров грузовых вагонов / С. В. Мямлин, Л. А. Недужая, А. А. Швец // Подъемно-транспортная техника. – № 4. – 2009. – С. 152–160.
8. 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». – Kaunas, 2010. – P. 325–328.
9. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 42224 (Україна). Комп'ютерна програма «Програмний комплекс для визначення моментів інерції кузовів вагонів» / Мямлін С. В., Недужа Л. О., Тен О. О., Швець А. О. (Україна) ; заявник та патентовласник Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – заявл. 13.02.2012.
10. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 42263 (Україна). Алгоритм розрахунку до комп'ютерної програми «Програмний комплекс для визначення моментів інерції кузовів вагонів» / Мямлін С. В., Недужа Л. О., Швець А. О. (Україна) ; заявник та патентовласник Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – заявл. 15.02.2012.
11. Соколов, М. М. Контроль динамики железнодорожного подвижного состава: учебное пособие для работников железнодорожного транспорта / М. М. Соколов, А. В. Третьяков, И. Г. Морчиладзе. – Москва : ИБС-Холдинг, 2007. – 358 с.
12. Динамические показатели некоторых типов вагонов / В. А. Литвин, С. В. Мямлин, А. А. Малышева, Л. А. Недужая // Механика транспорта: вес поезда, скорость, безопасность движения / Межвуз. сб. науч. тр. – Днепропетровск : ДИИТ, 1994. – С. 95–104.
13. Вагон-хоппер для перевозки горячего агломерата и окатышей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://edu.ascon.ru/main/competition/gallery/items/?bm_id=58200. – Назва з екрана. – Перевірено : 27.01.2018.
14. Рахимов Р. В. Исследования напряженно-деформированного состояния кузова вагона-хоппера для перевозки цемента // Молодой ученый. – 2015. – №13. – С. 178–182.
15. Кажяев, А. Н. Влияние высоты центра тяжести и массы порожних вагонов на скорость их безопасного движения / А. Н. Кажяев, В. С. Плоткин // Вестник ВНИИЖТ. – 2009. – Вып. 4. – С. 24–26.
16. Некоторые аспекты определения устойчивости порожних вагонов от выжимания их продольными силами в грузовых поездах / А. А. Швец, К. И. Железнов, А. С. Акулов [и др.] // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 4 (58). – С. 175–189. doi: 10.15802/stp2015/49281.

17. *Determination of the issue concerning the lift resistance factor of lightweight car* / A. A. Shvets, K. I. Zheliezov, A. S. Akulov [и др.] // *Наука та прогрес транспорту*. – 2015. – № 6 (60). – С. 134–148. doi: 10.15802/stp2015/57098.
18. ДСТУ ГОСТ 33211:2017. Вагони вантажні. Вимоги до міцності та динамічних якостей (ГОСТ 33211-2014, IDT). – Введ. 2017-07-01. – Київ : ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»), 2017. – 58 с.
19. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. – Введ. 2016-06-30. – Москва : Изд-во стандартов, 2016. – 55 с.

Analysis of design tools and methods to improve designs of freight rolling stock

**Shvets A.O., Dneprovsky National University of Railway Transport
named after acad. V.A. Lazaryan**

The article presents the results of theoretical and experimental studies aimed at solving the actual problem of updating the fleet of freight cars operated on the Ukrainian railways. The purpose of the research was to analyze the current state of the fleet of freight cars and some methods of improving the design of freight cars. Theoretical studies have been performed and experimental studies of some indicators of the freight fleet have been described. Studies on the effect of inertial characteristics on dynamic parameters are described. The results of operational tests of hopper cars are given to determine the effect of the tare weight and the center of gravity of the freight car on its dynamic performance.

Keywords: wagon-hoppers, dynamic indicators of hopper cars, inertial characteristics of wagons, renewal of freight rolling stock, dumping wagons from wedges.

REFERENCES:

1. JSC «UZ» plans to significantly increase investment in rolling stock. Retrieved from http://www.uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/448552/. (in Ukrainian)
2. Vagonnyj park PAT «Ukrzaliznycja» ta vzajemodija z pryvatnymi vlasnykamy ruhomogo skladu. (2017). Kharkiv: Department of Development and Technical Policy; manager PJSC «Ukrzaliznytsya». (in Ukrainian)
3. Transportation of goods by rail. Retrieved from http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/tr.htm/. (in Ukrainian)
4. Fomin O. V., Murashova N. G., Shvets A. O., Shchupik N. O., & Polezhaeva A.H. (2017). Monitoryng suchasnogo rivnja rozvytku bezpeky ruhu vitchyznjanoi' infrastruktury. Bulletin of Certification of Railway Transport, 05(45), 6–22. (in Ukrainian)
5. Neduzha, L. O., & Shvets, A. A. (2016). Application of apm WinMachine software for design and calculations in mechanical engineering. Science and Transport Progress, 2(62), 129-147. doi: 10.15802/stp2016/67328. (in Ukrainian)
6. Iwnicki, S., & Bezin, Yann (2001). Simulation as a tool for assessing the match between track and vehicle standards. In: *Infrarail 2001: developments in the railway industry*. ICE Publishing, pp. 19-23. ISBN 9780727742407.
7. Myamlin, S., Neduzha, L., & Shvets A. (2009). Formirovanie iskhodnykh dannykh pri modelirovanii dinamicheskikh parametrov gruzovykh vagonov [Preparation of initial data for modeling the dynamic parameters of freight cars]. Transport handling machinery. Issue 4, 152-160. (in Russian)
8. Myamlin, S., Neduzha, L., Ten, O., & Shvets, A. (2010). Spatial Vibration of Cargo Cars in Computer Modelling with the Account of Their Inertia Properties. *Mechanika 2010: Proc. of 15th Intern. Conf.*, 325-328.
9. Myamlin, S. V., Neduzha, L.O., Ten, O. O., & Shvets, A.O. Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir No. 42224 Ukraina. *Kompiuterna prohrama «Programnyj kompleks dlja vyznachennja*

- momentiv inercii' kuzoviv vagoniv» [Computer program «The Programmatic complex for determination of moments of inertia of car bodies»]. Certificate UA, no. 42224, 2012. (in Ukrainian)*
10. Myamlin, S. V., Neduzha, L.O., & Shvets, A.O. Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir No. 42263 Ukraina. Algorytm rozrahunku do komp'juternoi' programy «Programnyj kompleks dlja vyznachennja momentiv inercii' kuzoviv vagoniv» [Product research and practical «Algorithm to calculate of computer programs «The Programmatic complex for determination of moments of inertia of car bodies»»]. Certificate UA, no. 42263, 2012. (in Ukrainian)
 11. Sokolov, M. M., Tretyakov, A. V., & Murchiladze, I. G. (2015). Kontrol dinamiki zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava: uchebnoe posobie dlja rabotnikov zheleznodorozhnogo transporta. Moscow: IBS-Holding. (in Russian)
 12. Litvin, V., Myamlin, S., Malysheva, A., & Neduzhaja, L. (1994). Dinamicheskie pokazateli nekotorykh tipov vagonov [Dynamic parameters of some cars types]. Mechanics of transport: train weight, speed, safety of movement. Interuniversity collect. of sc. papers. Dnepropetrovsk, DIIT, 95-104. (in Russian)
 13. Vagon-hopper dlja perevozki goryachego aglomerata i okatyshej. Retrieved from: http://edu.ascon.ru/main/competition/gallery/items/?bm_id=58200. (in Russian)
 14. Rakhimov, R. V. (2015). Issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kuzova vagona-khoppera dlja perevozki tsementa. Young scientist, 13, 178-182. (in Russian)
 15. Kazhaev, A. N., & Plotkin, V. S. (2009). Vliyanie vysoty tsentra tyazhesti i massy porozhnykh vagonov na skorost ikh bezopasnogo dvizheniya. Bulletin VNIIZhT, 4, 24-26. (in Russian)
 16. Shvets, A. A., Zheliezov, K. I., Akulov, A. S., Zabolotnyi, A. N., & Chabaniuk, Ye. V. (2015). Nekotoryye aspekty opredeleniya ustoychivosti porozhnykh vagonov ot vyzhimaniya ikh prodolnymi silami v gruzovykh poyezdakh [Some aspects of the definition of empty cars stability from squeezing their longitudinal forces in the freight train]. Nauka ta prohres transportu–Science and Transport Progress, no. 4 (58), pp. 175–189. doi: 10.15802/stp2015/49281. (in Russian)
 17. Shvets, A. A., Zheliezov, K. I., Akulov, A. S., Zabolotnyi, A. N., & Chabaniuk Ye. V. (2015). Determination of the issue concerning the lift resistance factor of lightweight car. Nauka ta prohres transportu–Science and Transport Progress, no. 6 (60), pp. 134–148. doi: 10.15802/stp2015/57098. (in Russian)
 18. Vagony vantazhni. Vymogy do micnosti ta dynamichnyh jakostej, 58 DSTU 33211:2017 (2017). (in Ukrainian)
 19. Vagony gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam, 55 GOST 33211-2014 (2016). (in Russian)