



УДК 629.463:004.94

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТІВ ІНЕРЦІЇ КУЗОВІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

***Швець А. О., ст. лаборант каф. «Теоретична та будівельна механіка» Дніпровського
національного університету залізничного транспорту імені акад. В. А. Лазаряна,
м. Дніпро, Україна***

Стаття присвячена особливостям досліджень інерційних характеристик рухомого складу із детальним аналізом методів їх визначення для наступного використання цих даних при моделюванні динамічної навантаженості. Наведена методика визначення інерційних характеристик вантажних вагонів дозволить проведення теоретичного дослідження щодо визначення динамічних якостей різних типів вагонів.



Ключові слова: вантаж, вантажні вагони, зміщення центру ваги, комп'ютерне моделювання, інерційні характеристики, рухомий склад, центр ваги.

Відповідно до Комплексної програми оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки, Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 р., Державної програми «Український вагон» одним з пріоритетних напрямків розвитку залізничної галузі є оновлення вантажного вагонного парку Укрзалізниці конкурентоспроможними моделями вагонів вітчизняного виробництва шляхом удосконалення базових конструкцій. Оскільки транспорт – одна із важливих галузей національної економіки, його ефективна робота є необхідною умовою стабілізації, структурних перетворень, розвитку зовнішньоекономічної діяльності, захисту економічних інтересів України. Це ланка господарства, яка формує інфраструктуру та забезпечує взаємозв'язок всіх її елементів, забезпечує функціонування світового господарства і потреб населення в усіх видах перевезень [1, 2].

Технічний рівень рухомого складу залізничного транспорту безпосередньо впливає на економічні показники транспортної галузі та економіки країни в цілому. Тому посилення потужностей залізничної галузі України є стратегічним напрямком розвитку її економіки. Ключову роль у підвищенні конкурентоспроможності та ефективності залізничного транспорту відіграє рівень техніко-економічних показників (ТЕП) рухомого складу, найбільша частка якого припадає на вантажні вагони. Пріоритетним напрямком поліпшення ТЕП вантажних вагонів є удосконалення їх конструкцій, що доцільно робити за рахунок створення інноваційних конструкцій або модернізації їх окремих складових.

В зв'язку з насиченістю ринку вантажним рухомим складом попитом на ринку залізничних перевезень користуються ті вантажні вагони, які мають поліпшені технічні характеристики, що забезпечують виконання однієї із головних вимог – надійності. Її підвищення дозволяє значно зменшити кількість позапланових відчіпних ремонтів і, отже, збільшує економічну ефективність вантажного рухомого складу, який експлуатується. Підвищення якості створюваного механічного устаткування й конструкцій необхідно пов'язувати, насамперед, із зменшенням їх ваги і вартості, збільшенням надійності та покращенням ряду інших характеристик. Актуальною є проблема поєднання в процесі проектування двох взаємовиключних тенденцій: економії матеріалу, з одного боку, і забезпечення необхідних характеристик міцності конструкцій, з іншого. Все це можна забезпечити за рахунок використання комп'ютерних технологій [1-3].

Як відомо, міцність та ресурс основних несучих елементів рухомого складу залізниць є фундаментальними властивостями, які визначають їх подальшу успішну експлуатацію протягом тривалого періоду часу. Оцінка цих показників тісно пов'язана із забезпеченням вимог безпеки руху на залізничному транспорті, тому проблема наукового обґрунтування оцінок характеристик динаміки, міцності і ресурсу несучих конструкцій є важливою та актуальною як для нового рухомого складу, так й при проведенні робіт з продовження термінів служби рухомого складу, який виробив гарантований заводом-виробником термін.



При виконанні інженерних розрахунків, пов'язаних з аналізом міцності машин, механізмів, конструкцій на практиці застосовують як аналітичні, так і чисельні методи. Використання сучасних комп'ютерних комплексів дозволяє не лише відтворювати дані й відомості тим чи іншим способом, а також надає можливість ефективно та безпосередньо взаємодіяти з інформаційним об'єктом, що створюється або демонструється. Програмні комплекси різного призначення вміло застосовують сучасні комп'ютерні технології на всіх етапах проектування, розробки, експлуатації, для визначення остаточного ресурсу, а саме: попереднього дослідження, вибору принципів дії, розробок ескізного та технічного проектів, їх оптимізації, підготовки конструкторської документації та керуючої інформації для автоматизованих виробництв, всебічного інженерного аналізу тощо [1-3].

Безпека руху вантажних поїздів, значення допустимих швидкостей їх руху й вантажопідйомності, витрати на утримання рухомого складу і колійного господарства та збільшення міжремонтних пробігів вагонів суттєво залежать від конструкції вантажного рухомого складу залізниць. Експлуатація морально застарілого рухомого складу з низькими динамічними властивостями, частка якого на мережі залізниць досягає близько 90%, є однією з причин недостатнього рівня безпеки руху поїздів та високих експлуатаційних витрат, обумовлених збільшенням витрат на ремонтні роботи, а також підвищеним споживанням енергії на тягу поїздів. У свою чергу пред'являються нові вимоги, які ведуть до збільшення рівня сил динамічної взаємодії рухомого складу й колії, що в умовах значного зносу екіпажної частини рухомого складу минулого покоління є неприпустимим. Важливим напрямком для покращення техніко-економічних параметрів рухомого складу є удосконалення їх конструкцій для підвищення міцності, довговічності, осьового навантаження [4, 5].

При проектуванні будь-якої конструкції, в тому числі рухомого складу, конструктори повинні знати, чи буде спроектована конструкція володіти необхідними динамічними якостями. Відповідь може бути отримана тільки інтуїтивно шляхом зіставлення основних параметрів даної конструкції з аналогічною, уже існуючою, або після її виготовлення та проведення динамічних ходових випробувань. Однак, цей процес тривалий, тому представляє інтерес проведення попередньої оцінки динамічних якостей вагона на стадії його проектування, що можна здійснити за допомогою математичного моделювання. Моделювання дозволяє визначити динамічні показники вагонів при їх русі по прямолінійним та криволінійним ділянкам залізничної колії з реальними нерівностями в вертикальній й горизонтальній площинах, з урахуванням реальної поверхні кочення колеса і профілю головки рейки.

Як відомо, при русі вагона в складі поїзда по кривих ділянках колії, на сили взаємодії коліс з рейками безпосередній вплив здійснюють поперечні сили (рис. 1, 2), які виникають від дії поздовжніх сил в автозчепленнях вагона у режимах тяги на затяжних ухилах та при гальмуваннях, особливо рекуперативних. Вагон, рухаючись в кривій, під дією поздовжніх сил в автозчепленнях може зайняти різне положення відносно осі колії, що в значній мірі визначить величини бічних горизонтальних сил взаємодії та сили тертя коліс з рейками. У режимі гальмування стискаючи сили

можуть сприяти розташуванню вагонів в колії «ялинкою», що призводить до збільшення кутів набігання коліс на рейки [6, 7].

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 та комп'ютерного моделювання [8, 9].

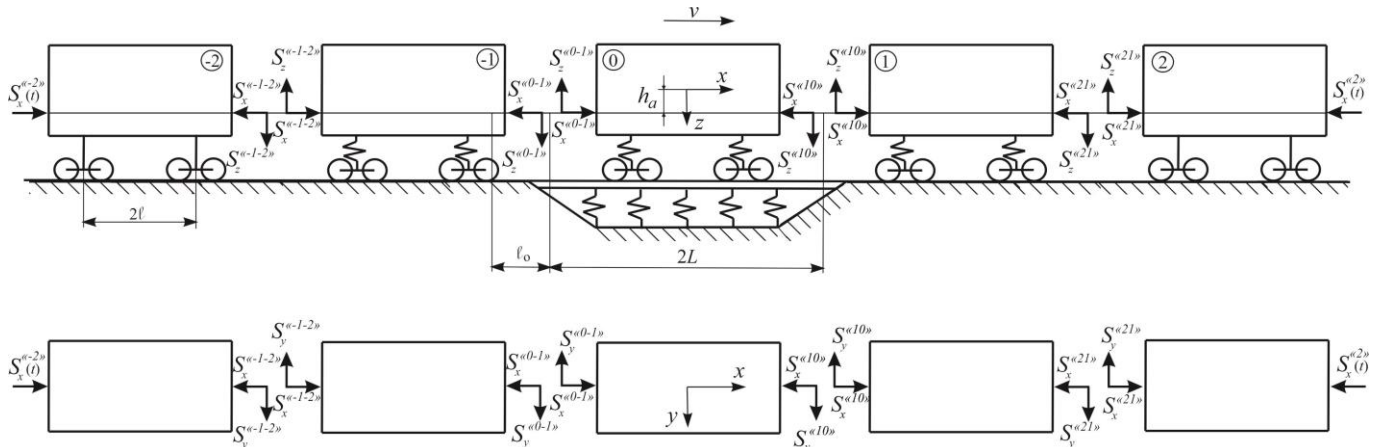


Рис. 1. Сили, які виникають від дії поздовжніх сил в автозчепленнях вагонів

На рис. 2 зображений вагон та додані до нього сили з боку вагонів, що знаходяться спереду й ззаду по ходу руху поїзда.

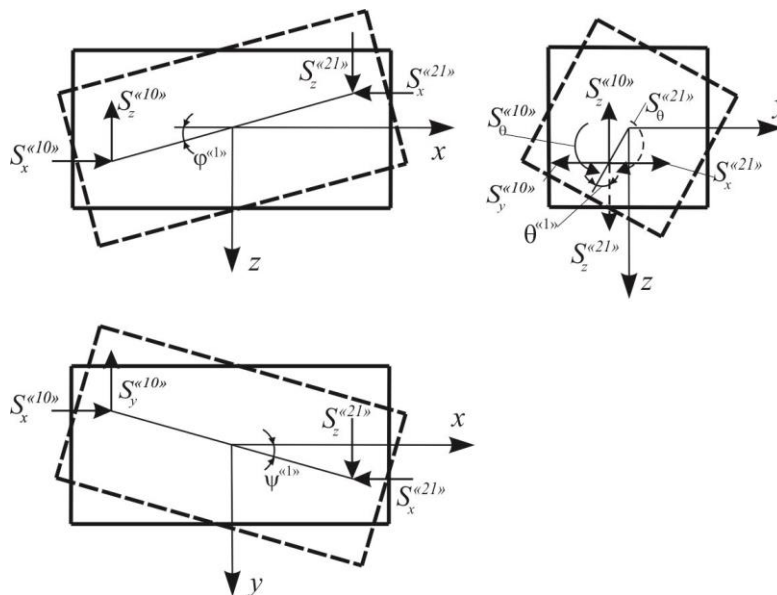


Рис. 2. Вагон та додані до нього сили з боку сусідніх вагонів

Крім того, у процесі перевезення вантажів іноді виникає необхідність в несиметричному розташуванні їх у вагоні. Зсув вантажу відносно центру ваги вагона можливий й під час транспортування. Часто потрібно оцінити вплив такої несиметричності на динамічні якості вагона та встановити допустимі величини зсуву вантажів (рис. 3) [10, 11].

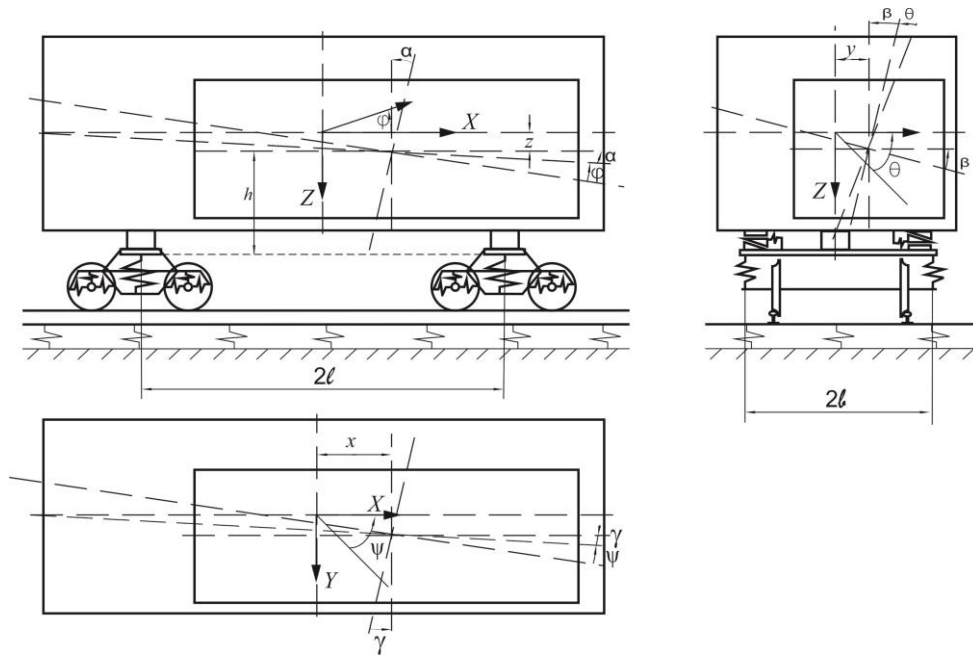


Рис. 3. Розрахункова схема 4-вісного вагона при несиметричному розташуванні вантажу у вагоні

У цьому випадку, момент інерції тіла відносно осі, довільно проведеної через деяку точку тіла, виражається через моменти інерції відносно двох взаємно перпендикулярних осей і відповідні цим осям відцентрові моменти інерції.

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 [8, 9, 12].

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 [13, 14].

Програмою передбачена можливість урахування різної міри завантаження вагонів та різних типів вантажів, що перевозяться. Процес підготовки моделі екіпажу зводиться до створення списку об'єктів та завдання їх параметрів, по яким розраховуються величини моментів інерції залізничного екіпажу. Для створення нової моделі необхідно спочатку вибрати пункт «Кузова». Якщо початкові дані для кузова вагону вже існують, то їх необхідно вибрати із запропонованого програмою списку (рис. 4).

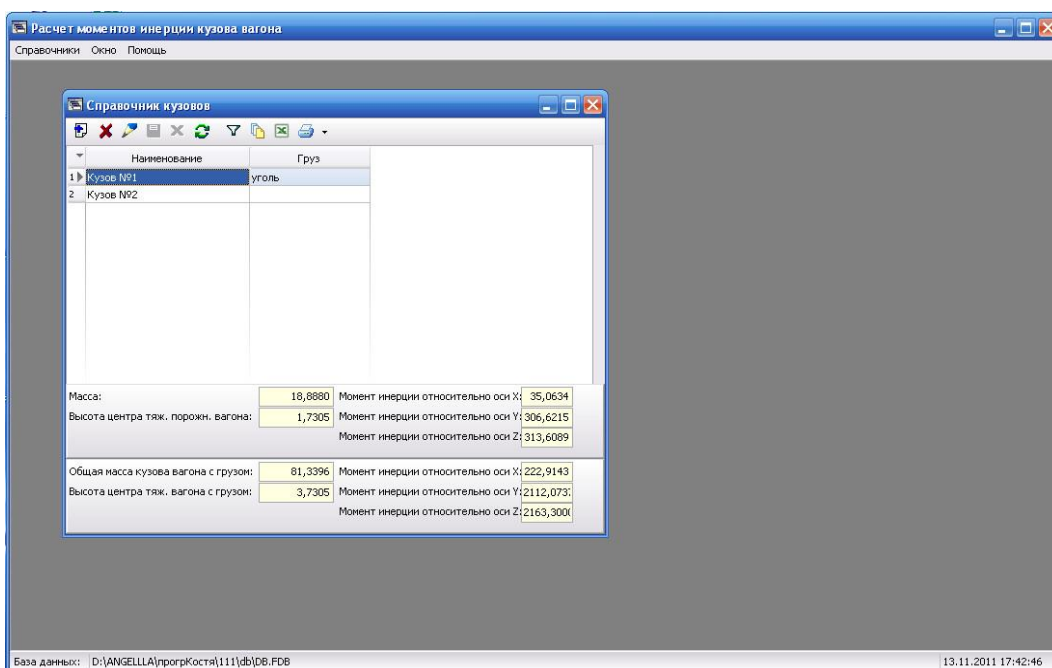


Рис. 4. Вибір початкових даних для кузова вагону

За необхідності можна роздрукувати отримані результати розрахунку по повній або скороченій формі (рис. 5).

Расчет моментов инерции кузова вагона

Справочники Окно Помощь

Данные по элементам кузова вагона Кузов №1						
№	Наименование	Масса, т	Геом.размеры, м			Расст. от ц.т. до осей, м
			вдоль оси X	вдоль оси Y	вдоль оси Z	вдоль оси X
1	Обвязка верхняя	0,0665	0,105	3	0,155	-6,25
2	Лист обшивки	0,101	0,004	3,18	0,965	-6,25
3	Обвязка нижняя	0,09	0,005	3,29	0,315	-5,815
4	лист обшивки	0,148	0,005	3,18	1,18	-5,93
5	Стойка правая	0,01	0,1	0,14	0,82	-6,2
6	центральная	0,01	0,1	0,14	0,82	-6,2
7	левая	0,1	0,1	0,14	0,82	-6,2
8	Стойка правая	0,009	0,1	0,14	0,685	-6,033
9	центральная	0,009	0,1	0,14	0,685	-6,033
10	левая	0,009	0,1	0,14	0,685	-6,033
11	ребро правое	0,001	0,122	0,01	0,18	-6,21
12	ребро левое	0,001	0,122	0,01	0,18	-6,21
13	Стойка угловая правая	0,008	0,063	0,06	1,325	-6,215
14	Стойка угловая левая	0,08	0,063	0,06	1,325	-6,215
15	Стенка торцевая правая; обвязка верхняя	0,0665	0,105	3	0,155	6,25

Масса: 18,8880 Момент инерции относительно оси X: 35,0634

Высота центра тяж. порожн. вагона: 1,7305 Момент инерции относительно оси Y: 306,6215

Момент инерции относительно оси Z: 313,6089

База данных: D:\ANGELLA\progr\Костя\111\db\D8.FDB

13.11.2011 18:23:55

Рис. 5. Результати розрахунку

Важливе значення для оцінювання динамічних показників залізничного рухомого складу мають інерційні характеристики вагонів з урахуванням вантажу. В головному вікні програми необхідно обирати пункт «Вантаж». В таблиці вказуються: найменування вантажу, розміри основного паралелепіпеду, в який вписується кузов вагона, питома вага вантажу, відстань від РГР до центру ваги кузову вагона, висота візка (розміри в метрах) (рис. 6).

Расчет моментов инерции кузова вагона

Справочники Окно Помощь

Справочник грузов

Наименование	Внешние размеры, м			Плотность груза, т/м ³	Высота кузова вагона над УГР, м	Высота тележки над УГР, м
	длина	высота	ширина			
1 уголь	12,492	3,024	3,212	0,91	2,488	0,976

Зоны, на которые разбивается уголь

Форма	Геометрические размеры, м			Расст. от ц.т. до центр. осей, м	Расст. от ц.т. до центр. осей, м	Ориентация
	вдоль оси X	вдоль оси Y	вдоль оси Z			
1 Треугольная призма	5,028	0,16	0,27	2,356	3,08	1,543 - Вдоль осей (y,z)
2 Треугольная призма	5,028	0,16	0,27	2,356	3,08	1,543 - Вдоль осей (y,z)
3 Треугольная призма	5,028	0,16	0,27	2,356	3,08	1,543 - Вдоль осей (y,z)
4 Треугольная призма	5,028	0,16	0,27	2,356	3,08	1,543 - Вдоль осей (y,z)
5 Треугольная призма	5,028	0,16	0,825	1,139	3,08	1,543 - Вдоль осей (y,z)
6 Треугольная призма	5,028	0,16	0,825	1,139	3,08	1,543 - Вдоль осей (y,z)
7 Треугольная призма	5,028	0,16	0,825	1,139	3,08	1,543 - Вдоль осей (y,z)
8 Треугольная призма	5,028	0,16	0,825	1,139	3,08	1,543 - Вдоль осей (y,z)
9 Треугольная призма	5,028	1,436	2,13	1,686	3,08	0,478 - Вдоль осей (y,z)
10 Треугольная призма	5,028	1,436	2,13	1,686	3,08	0,478 - Вдоль осей (y,z)
Треугольная призма	5,028	1,436	2,13	1,686	3,08	0,478 - Вдоль осей (y,z)

База данных: D:\ANGELLA\progr\Костя\111\db\D8.FDB 13.11.2011 17:44:22

Рис. 6. Таблица набора данных по зонам

Методика визначення моментів інерції мас елементів рухомого складу ґрунтується на тому, що кузов вагона умовно «розбивають» на елементи так, щоб

кожну частину можна було представити у вигляді простих фігур та визначити їх моменти інерції мас (рис. 7). При обчисленні динамічних характеристик необхідно для кожного елемента (зони або складової частини) визначити об'єм, масу, положення центра ваги, а також у перерізі цього тіла – площу, геометричні характеристики відносно головних центральних осей інерції, довжину на рівні центра тяжіння тощо [9, 15].

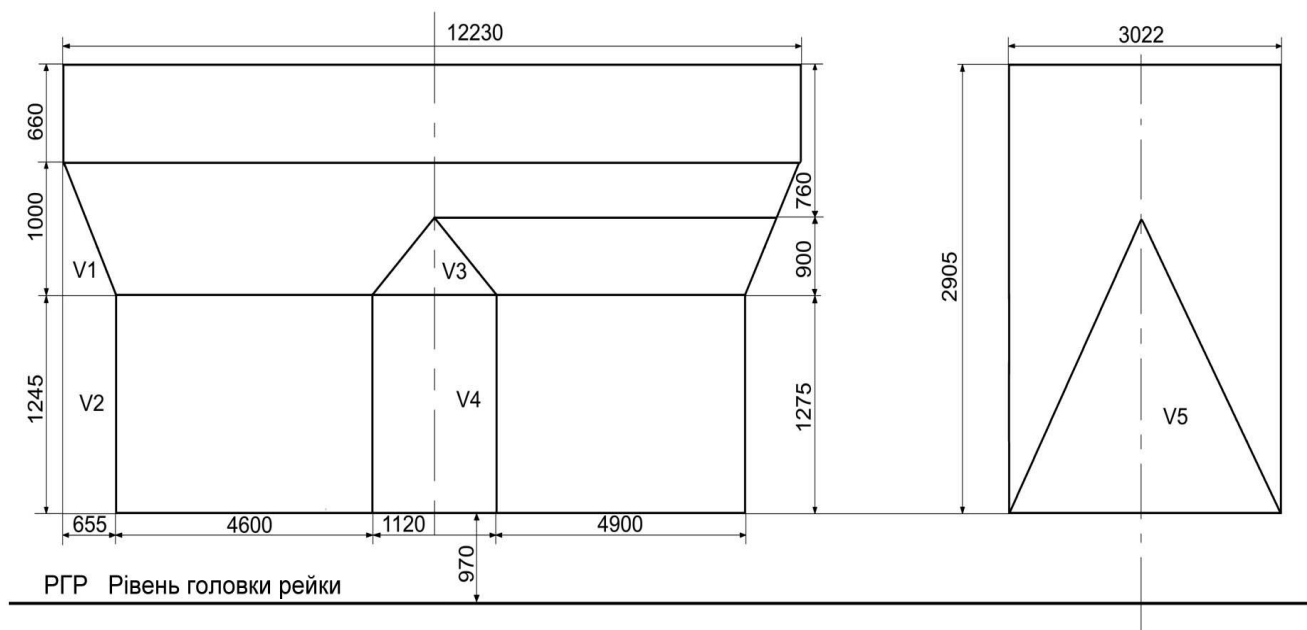


Рис. 7. Розрахункова схема кузова вагона-хопера для перевезення вугілля 12-4034

Динамічні характеристики для зон прямокутного та трикутного поперечного перерізів обчислюються наступним чином [9, 12, 15]:

- прямокутний переріз (рис. 8):

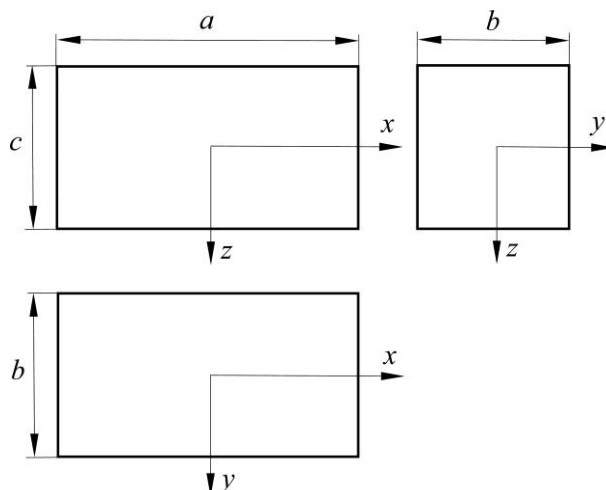


Рис. 8. Розрахункові схеми прямокутного перерізу

$$I_x = \frac{m}{12} \cdot (b^2 + c^2), \quad I_y = \frac{m}{12} \cdot (a^2 + c^2), \quad I_z = \frac{m}{12} \cdot (a^2 + b^2), \quad (1)$$

де a , b , c – розміри поперечного перерізу елемента;

- трикутний переріз (рис. 9):

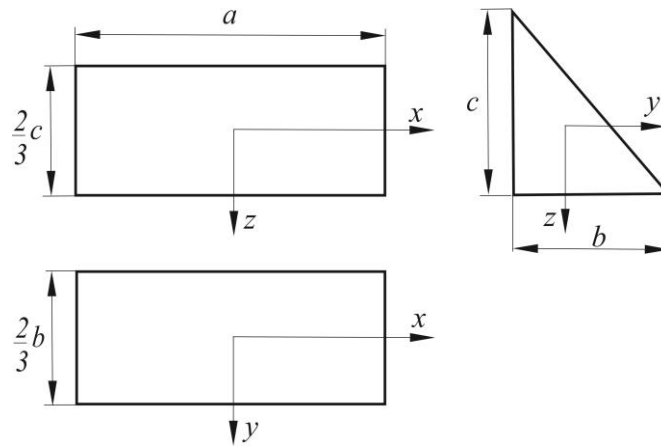


Рис. 9. Розрахункові схеми трикутного перерізу

$$A_{yz} = \frac{1}{2}c \cdot b, I_y^r = \frac{b \cdot c^3}{36}, L_y = \frac{2}{3}b, L_z = \frac{2}{3}c,$$

$$I_x = m \cdot \left(\frac{L_y^2}{12} + \frac{I_y^r}{A_{yz}} \right), I_y = \frac{m}{12} \cdot (L_y^2 + a^2), I_z = \frac{m}{12} \cdot (L_z^2 + a^2), \quad (2)$$

де A_{yz} – площа поперечного перерізу елемента вздовж осей yz , м²; I_y^r – геометричний момент інерції поперечного перерізу елемента вздовж осей yz , м⁴; L_y – приведена ширина елемента трикутного перерізу, м; L_z – приведена висота елемента трикутного перерізу, м.

- трапецевидний переріз (рис. 10):

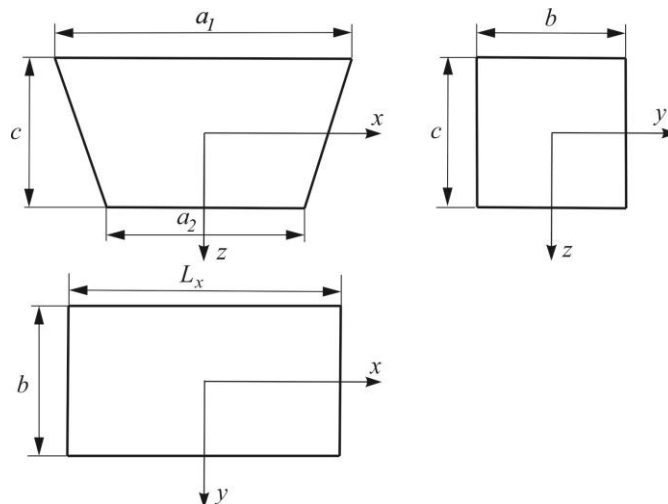


Рис. 10. Розрахункові схеми трапецевидного перерізу

$$A_{xz} = \frac{1}{2}(a_1 + a_2) \cdot c, I_x^r = \frac{c^3}{36} \cdot \frac{a_1^2 + a_2^2 + 4a_1a_2}{a_1 + a_2}, L_x = \frac{2}{3} \cdot \frac{a_1^2 + a_2^2 + a_1a_2}{a_1 + a_2},$$

$$I_x = \frac{m}{12} \cdot (c^2 + b^2), \quad I_y = m \cdot \left(\frac{L_x^2}{12} + \frac{I_x^\Gamma}{A_{xz}} \right), \quad I_z = \frac{m}{12} \cdot (L_x^2 + b^2), \quad (3)$$

де A_{xz} – площа поперечного перерізу елемента вздовж осей xz , m^2 ; I_x^Γ – геометричний момент інерції поперечного перерізу елемента вздовж осей xz , m^4 ; L_x – приведена довжина елемента трапецевидного перерізу, m .

Виразів (1) – (3) достатньо для визначення динамічних характеристик не тільки вантажу, але й всього вагона або рейкового екіпажу в цілому. Для спрощення розрахунку моментів інерції мас, кузова деяких моделей рухомого складу складної конфігурації вписуються до загального паралелепіпеду, з якого віднімаються (неіснуючі) або додаються зони у залежності від їх розташування. Для кожної фігури визначаються інерційні характеристики відносно їх власних центральних осей та координати центру мас кожної фігури над рівнем головки рейки (РГР), обчислюється загальна висота вантажу над РГР центру мас $h_{\text{вант}}$:

$$x_{\text{вант}} = \frac{\sum m_i \cdot x_i}{\sum m_i}, \quad y_{\text{вант}} = \frac{\sum m_i \cdot y_i}{\sum m_i}, \quad h_{\text{вант}} = \frac{\sum m_i \cdot h_i}{\sum m_i}, \quad (4)$$

де x_i , y_i , h_i – відповідно координати у поперечному і повздовжньому напрямках та висота центру мас кожної фігури над рівнем головки рейки, m .

Координати центрів мас окремих елементів у новій системі координат утворюються відніманням з попередніх координат координати центру мас системи, а саме:

$$a_{xi} = x_i - x_{\text{вант}}, \quad a_{yi} = y_i - y_{\text{вант}}, \quad a_{zi} = h_i - h_{\text{вант}}. \quad (5)$$

Моменти інерції та загальні моменти інерції мас вантажу кожної фігури відносно загальних центральних осей визначаються відповідно:

$$\begin{aligned} I_{xcc} &= I_{xi} + m \cdot (a_{yi}^2 + a_{zi}^2), \\ I_{ycc} &= I_{yi} + m \cdot (a_{xi}^2 + a_{zi}^2), \\ I_{zcc} &= I_{zi} + m \cdot (a_{yi}^2 + a_{xi}^2), \end{aligned} \quad (6)$$

$$I_x = I_{xcc} + \sum_i I_{xcc}, \quad I_y = I_{ycc} + \sum_i I_{ycc}, \quad I_z = I_{zcc} + \sum_i I_{zcc}, \quad (7)$$

де I_{xcc} , I_{ycc} , I_{zcc} – моменти інерції мас загального паралелепіпеду з урахуванням всіх отворів.

Моменти інерції та висота центру ваги вагона з вантажем над РГР визначаються у відповідності з наступними залежностями:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{заг}} &= I_{\text{вант}} + m_{\text{вант}} \cdot (x_{\text{вант}} - x)^2 + I_{\text{кк}} + m_{\text{к}} \cdot (x_{\text{к}}^{\text{пор}} - x)^2, \\
 I_{\text{узаг}} &= I_{\text{увант}} + m_{\text{вант}} \cdot (y_{\text{вант}} - y)^2 + I_{\text{ук}} + m_{\text{к}} \cdot (y_{\text{к}}^{\text{пор}} - y)^2, \\
 I_{\text{ззаг}} &= I_{\text{звант}} + m_{\text{вант}} \cdot (h_{\text{вант}} - h)^2 + I_{\text{зк}} + m_{\text{к}} \cdot (h_{\text{к}}^{\text{пор}} - h)^2, \\
 x &= \frac{x_{\text{к}}^{\text{пор}} \cdot m_{\text{к}} + x_{\text{вант}} \cdot m_{\text{вант}}}{m_{\text{к}} + m_{\text{вант}}}, \quad y = \frac{y_{\text{к}}^{\text{пор}} \cdot m_{\text{к}} + y_{\text{вант}} \cdot m_{\text{вант}}}{m_{\text{к}} + m_{\text{вант}}}, \\
 h &= \frac{h_{\text{к}}^{\text{пор}} \cdot m_{\text{к}} + h_{\text{вант}} \cdot m_{\text{вант}}}{m_{\text{к}} + m_{\text{вант}}},
 \end{aligned} \tag{8}$$

$$\tag{9}$$

де $x_{\text{к}}^{\text{пор}}$, $y_{\text{к}}^{\text{пор}}$, $h_{\text{к}}^{\text{пор}}$ – відповідно координати у поперечному і повздовжньому напрямках та висота центру мас порожнього кузова вагона, м;

$m_{\text{к}}$ – маса кузова вагона, т;

$x_{\text{вант}}$, $y_{\text{вант}}$, $h_{\text{вант}}$ – відповідно координати у поперечному і повздовжньому напрямках та висота центру мас вантажу, який транспортується у вагоні, м;

$m_{\text{вант}}$ – маса вантажу, т.

У програмному комплексі існує можливість вибору – «Довідник вагонів». Цей пункт меню дає можливість виконувати розрахунок з урахуванням усіх можливих елементів – різних моделей кузовів та візків вагонів, а також завантаженості вагона. Окрім цього, в програмі передбачено завдання та подальше використання в розрахунках:

- маси й координат центру ваги на всіх напрямках різних типів візків, що підкочуються під існуючий рухомий склад;
- різних параметрів та конфігурації вантажу;
- можливість визначення інерційних характеристик кузова вагону з різними типами візків й мірою завантаження для порівняння динамічних показників залізничного екіпажу.

Програмний комплекс для визначення інерційних характеристик вантажних вагонів дозволить проведення теоретичного дослідження щодо визначення динамічних якостей різних типів вагонів, результати досліджень дозволять шляхом зіставлення отриманих даних з допустимими значеннями, наведеними в нормах, встановити допустимі швидкості руху [8, 9, 15].

Висновки: Таким чином, запропонована методика дозволить:

- отримати результати розрахунків, що дозволять об'єктивно оцінити вплив інерційних характеристик кузова вагона й вантажу на динамічні якості рухомого складу;
- врахувати особливості визначення моментів інерції кузовів рухомого складу;
- виконати порівняння динамічних якостей деяких типів вантажних вагонів з результатами експериментальних досліджень і т.і.

Результати розрахунків можуть сприяти підвищенню безпеки руху вантажних вагонів та дозволять покращити техніко-економічні показники роботи залізничного транспорту.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Недужа, Л. О. Теоретичні та експериментальні дослідження міцнісних якостей хребтової балки вантажного вагона / Л. О. Недужа, А. О. Швець // *Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна*. – Вип. 1 (73). – 2018. – С. 131–147. doi 10.15802/stp2018/123457.
2. Недужа, Л. О. Визначення міцнісних якостей елемента вантажного вагона / Л. О. Недужа, А. О. Швець // *Науково-технічне забезпечення розвитку залізничних перевезень у міжнародному сполученні : матеріали междунар. конф., 19-20 квітня 2018 р. / Мин-во инфраструктуры Украины, Днепротр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна*. – Днепротр. : ДНУЖТ, 2018. – С. 15–18.
3. Недужа, Л. О. Використання сучасного пакета програм при розв'язанні інженерних задач на залізничному транспорті / Л. О. Недужа, А. О. Швець // *Локомотив-інформ*. – 2016. – №5/6. – С. 42–44.
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*. – 2017. – №05(45). – С. 6–22.
5. Швець, А. О. Аналіз засобів проектування та методів удосконалення конструкцій вантажного рухомого складу / А. О. Швець // *Вісник сертифікації залізничного транспорту*. – 2018. – №02(48). – С. 61–73.
6. Данович, В. Д. Математическая модель пространственных колебаний сцепа пяти вагонов, движущихся по прямолинейному участку пути / В. Д. Данович, А. А. Малышева // *Транспорт. Нагруженность и прочность подвижного состава : Сб. науч. тр.* – Днепротр. : «Наука и образование», 1998. – С. 62–69.
7. Определение допустимых сил при оценке устойчивости грузовых вагонов от выжимания в поездах / А. А. Швец, К. И. Железнов, А. С. Акулов [и др.] // *Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна*. – 2016. – № 1 (61). – С. 180–192. doi: 10.15802/stp2016/61045.
8. Мямлин, С. В. Формирование исходных данных при моделировании динамических параметров грузовых вагонов / С. В. Мямлин, Л. А. Недужая, А. А. Швец // *Подъёмно-транспортная техника*. – № 4. – 2009. – С. 152–160.
9. Мямлин, С. В. Определение инерционных характеристик подвижного состава при моделировании динамической нагруженности / С. В. Мямлин, Л. А. Недужая, А. А. Тен, А. А. Швец // *Збірник наукових праць ДонІЗТ*. – № 25. – 2011. – С. 137–144.
10. Львов, А. А. Динамика четырехосного полувагона при несимметричном его нагружении / А. А. Львов, В. А. Музыкин // *Всесоюз. научно-исследоват. и-та железнодорож. трансп.* – Москва, 1965. – Вып. 4. – С. 8–12.
11. Малышева, А. А. Влияние загрузки кузова и смещения центра масс на износ колес и рельсов / А. А. Малышева // *Проблемы взаимодействия пути и подвижного состава : Тезисы докладов Международная научно-практическая конференция*,



- посвященная 40-летию отраслевой научно-исследовательской путепытательной лаборатории, 01-02 ноября 1998 г. / Мин-во инфраструктуры Украины, Днепротр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепротетровск : ДНУЖТ, 1998. – С. 52–54.
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. – Днепротетровск : ДИИТ, 1994. – С. 95–104.
13. Свідомство 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 Дніпротетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – заявл. 13.02.2012.
14. Свідомство 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 Дніпротетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – заявл. 15.02.2012.
15. Теоретические исследования ходовых качеств вагона для угля модели 12-4034 : отчет по НИР / Днепротетр. нац. ун-т ж. д. трансп. им. акад. В. Лазаряна ; рук. Данович В. Д. ; исполн.: Мямлин С. В., Малышева А. А. – Днепротетровск, 1995. – 59 с. – Инв. № 406.

Specifics of determining the moments of inertia a freight wagons bodies
Shvets A. O., Dneprovsky National University of Railway Transport named after acad.
V.A. Lazaryan

The article is devoted to the peculiarities of research of inertial characteristics of the rolling stock with a detailed analysis of the methods of their determination for the subsequent use of these data in modeling dynamic loading. The resulted technique of definition of inertial characteristics of freight cars will allow carrying out of theoretical research on definition of dynamic qualities of various types of cars.

Keywords: cargo, freight cars, displacement of the center of gravity, computer modeling, inertial characteristics, rolling stock, center of gravity.

REFERENCES:

1. Neduzha, L. O., & Shvets, A. O. (2018). Theoretical and experimental research of strength properties of spine beam of freight cars. *Science and Transport Progress*, 1(73), 131-147. doi: 10.15802/stp2018/123457. (in Ukrainian)
2. Neduzha, L. O., & Shvets, A. O. (2018). Vyznachennja micnisnykh jakostej elementa vantazhnogho vaghona. *Integratsiya Ukrainy v mezhdunarodnuyu transportnuyu*



- sistemu: Tezisy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 19-20 kvitnja 2018, Dnepropetrovsk, 15-18. (in Ukrainian)
3. Neduzha, L. O., & Shvets, A. O. (2016). Vykorystannja suchasnogho paketa proghram pry rozv'jazanni inzhenernykh zadach na zaliznychnomu transporti. Lokomotyv-Inform, 5-6, 42-44. (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. Shvets, A. O. (2018). Analiz zasobiv proektuvannia ta metodiv udoskonalennia konstruksii vantazhnoho rukhomoho skladu. Bulletin of Certification of Railway Transport, 02(48), 61–73. (in Ukrainian)
 6. Danovich, V. D., & Malysheva, A. A. (1998). Matematicheskaya model prostranstvennykh kolebaniy stsepa pyati vagonov, dvizhushchikhsya po pryamolineynomu uchastku puti [Mathematical model of spatial oscillations five cars connection moving along a straight track section]. Transport. Stress loading and durability of a rolling stock: collect. of sc. papers, DGTURT, Dnepropetrovsk: «Science and education», 62-69. (in Russian)
 7. Shvets A. A., Zheliezov K. I., Akulov A. S., Zabolotnyi A. N., & Chabaniuk, Ye. V. (2016). Opryedyeleniye dopustimyykh sil pri otsyenyke ustoychivosti gruzovykh vagonov ot vyzhimaniya v poyezdakh [Determination the permissible forces in assessing the lift resistant factor of freight cars in trains]. Nauka ta prohres transportu–Science and Transport Progress, 1 (61), 180–192. doi: 10.15802/stp2016/61045. (in Russian)
 8. 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)
 9. Myamlin, S., Neduzhaja, L., Ten, A., & Shvets, A. (2011) Opredelenie inertsionnykh kharakteristik podvizhnogo sostava pri modelirovanii dinamicheskoy nagruzhennosti [Definition specifics of inertia moments of freight cars bodies]. Proc. Donetsk Railway Transport Institute. Edition 25, 137-144. (in Russian)
 10. Lvov, A. A., & Muzykin, V. A. (1965). Dinamika chetyrekhosnogo poluvagona pri nesimmetrichnom ego nagruzhении. Bulletin of All-Union Scientific Research Institute of Railway Transport, 4, 8-12. (in Russian)
 11. Malysheva, A. A. (1998). Vliyanie zagruzki kuzova i smeshcheniya centra mass na iznos koles i rel'sov. Integratsiya Ukrainy v mezhdunarodnuyu transportnuyu sistemu: Tezisy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 01-02 noyabrya 1998, Dnepropetrovsk, 52-54. (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. 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)
14. 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)
15. Danovich, V. D., Myamlin, S. V., & Malysheva, A. A. (1995). Teoreticheskie issledovaniya hodovyh kachestv vagona dlya uglya modeli 12-4034. Dnipropetrovsk: Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. (in Russian)