

УДК 629.463.004.4:656.211.7

А. О. Ловська, к.т.н.

(доцент кафедри «Вагони», Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків)

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, ЩО ДІЮТЬ НА КУЗОВ НАПІВВАГОНА ПРИ ЗАВАНТАЖЕННІ НА ЗАЛІЗНИЧНИЙ ПОРОМ

Прискорені темпи інтеграції України в систему міжнародних транспортних коридорів зумовлюють необхідність створення комбінованих транспортних систем, однією з найуспішніших серед яких є залізнично-поромні перевезення.

Питанню завантаження/вивантаження вагонів на/з палуби, їх розміщенню на ній та надійності закріплення потрідно приділяти особливу увагу, оскільки саме від цих факторів, головним чином, залежить безпека руху комбінованих перевезень.

Завантаження вагонів на палубу залізничного порому здійснюється через перехідний міст (апарель) на якому прокладені рейкові колії, що взаємодіють з рейковими коліями на палубі залізничного порому. Процес проходження вагона через зону взаємодії перехідного мосту з палубою супроводжується дією на нього динамічних навантажень, зумовлених наявністю зазора між рейковими коліями.

Для забезпечення безпеки процесу завантаження/вивантаження вагонів на/з палуби необхідним є дослідження динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію при переході з апарелі на залізничний пором. Для цього використано математичну модель, яка дозволила отримати уточнені значення прискорень, що діють на вагон при завантаженні/вивантаженні залізничного порому та визначити величину ухилу при якому забезпечується допустима динамічна навантаженість кузова вагона.

Отримані результати сприятимуть підвищенню безпеки процесу завантаження/вивантаження вагонів на/з залізничного порому.

Ключові слова: напіввагон, динаміка, математичне моделювання, навантаженість конструкції, міцність.

Ускоренные темпы интеграции Украины в систему международных транспортных коридоров вызывают необходимость создания комбинированных транспортных систем, одной из самых успешных среди которых являются железнодорожно-паромные перевозки.

Вопросу погрузки/выгрузки вагонов на/с палубы, их размещению на ней и надежности закрепления необходимо уделять особое внимание, так как именно от этих факторов, главным образом, зависит безопасность движения комбинированных перевозок.

Погрузка вагонов на палубу железнодорожного парома осуществляется через переходной мост (аппарель) на котором проложены рельсовые пути для взаимодействия с рельсовыми путями на палубе железнодорожного парома.

© Ловська А. О., 2016

Процес проходження вагона через зону взаємодіяння переходного моста с палубой супроводжується действием на него динамических нагрузок, обусловленных наличием зазора между рельсовыми путями.

Для обеспечения безопасности процесса погрузки/выгрузки вагонов на/с палубы необходимо исследование динамических нагрузок, действующих на несущую конструкцию при переходе с аппарели на железнодорожный паром. Для этого использовано математическую модель, которая позволила получить уточненные значения ускорений, действующих на вагон при погрузке/выгрузке железнодорожного парома и определить величину уклона при которой обеспечивается допустимая динамическая нагруженность кузова вагона.

Полученные результаты будут способствовать повышению безопасности процесса погрузки/выгрузки вагонов на/с железнодорожного парома.

Ключевые слова: полувагон, динамика, математическое моделирование, нагруженность конструкции, прочность.

Постановка проблеми. Для підвищення обсягів перевезень вантажів через міжнародні транспортні коридори дістали поширення комбіновані транспортні системи. Можливість виходу України в міжнародне сполучення через акваторії Чорного та Азовського морів зумовило виникнення та успішне функціонування залізнично-поромних перевезень.

На сьогоднішній день залізнично-поромні маршрути сполучають Україну з Болгарією, Грузією, Туреччиною. Враховуючи прискорені темпи розвитку даного виду комбінованих перевезень прогнозується збільшення кількості залізнично-поромних маршрутів через акваторію Чорного моря і відповідно виникає необхідність удосконалення [1-4] відповідних вантажних вагонів.

Для безпеки руху вагонів при комбінованих перевезеннях необхідним є дослідження динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію кузовів та урахування їх уточнених величин на стадії проектування вагонів нового покоління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження динамічних навантажень, що діють на кузова вантажних вагонів при перевезенні залізничним поромом проводиться у [5]. В роботі наведено математичну модель для визначення динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію кузова вагона в умовах основних видів коливального процесу залізничного порому. Отримані теоретичні результати досліджень перевірено шляхом комп'ютерного моделювання коливань залізничного порому з вагонами на його борту. Проведені дослідження дозволили отримати уточнені значення прискорень, що діють на кузова вагонів при перевезенні залізничним поромом.

Оцінка зовнішніх зусиль, які діють на вагони при перевезенні залізничним поромом наведена в [6]. При цьому прискорення, які діють на кузова вагонів в умовах хвилювання моря визначені на підставі розрахунку хитавиці залізничного порому, яка відбувається з шістьма ступенями вільності при нерегулярному тривимірному хвилюванні та русі зі швидкістю 6,5 вузлів.

Важливо зазначити, що в розглянутих працях не приділяється уваги питанню дослідження динамічних навантажень, які діють на кузова вагонів при завантаженні на залізничний пором, а саме при їх проходженні зони взаємодії переходного моста та залізничного порому.

Методика визначення динамічних навантажень, які діють на кузова вагонів при перевезенні залізничним поромом наведена в [7]. При цьому визначення прискорень, що діють на вагон проводилося на підставі диференціювання закону руху морської хвилі. Розрахунки проведені стосовно залізничного порому «Советский Азербайджан», який сполучав Азербайджан з Дагестаном та Туркменістаном (Баку з Махачкалою, Баку з Туркменбаши). Отримані при цьому результати наведені в п. 2.18 «Нормы

для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» [8]. Необхідно зауважити, що у зв'язку з інтенсифікацією розвитку залізнично-поромних перевезень, створенням нових залізничних поромів, різних гідрометеорологічних характеристик акваторій плавання залізничних поромів необхідним є розширення п. 2.18 «Норм...». Крім того, дослідження динамічних навантажень, які діють на вагон при накочуванні на залізничний пором в роботі не проводиться.

Виклад основного матеріалу дослідження. Процес завантаження вагонів на залізничний пором здійснюється шляхом їх накочування через перехідний міст на палубу (рис. 1).



Рис. 1. Перехідний міст для завантаження/вивантаження вагонів на/з залізничного порому
а) на станції «Крим»; б) на станції «Іллічівськ-Поромна»

Для дослідження динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію кузова вагона при проходженні зони взаємодії перехідного моста з залізничним поромом використано математичну модель, наведену у [9]. Модель описує процес коливань вагона при проходженні нерівності та враховує транспортне запізнення збурюючої дії на елементи конструкції вагона. У моделі також враховано вплив вітру на торцеву стіну кузова вагона. Чисельне значення тиску вітру прийнято 1,47 кПа (для акваторії Чорного моря), відповідно до [7].

Розрахункову схему напіввагона при переході зони взаємодії рейкових колій перехідного мосту та залізничного порому наведено на рис. 2.

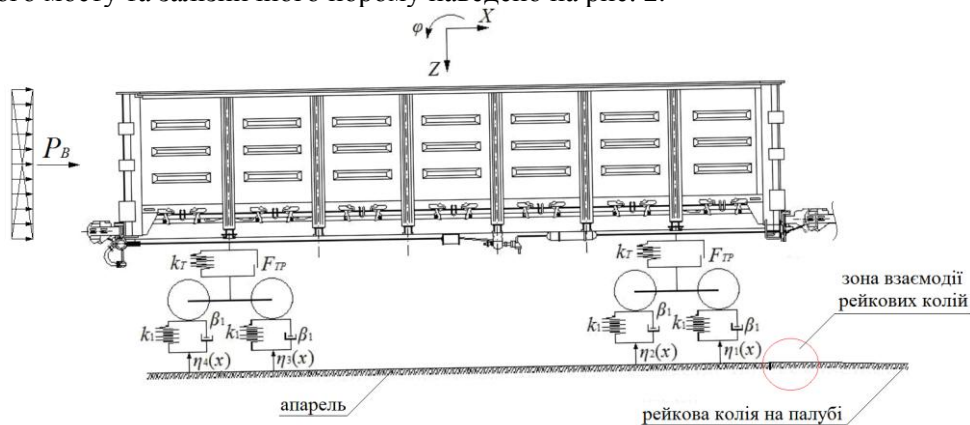


Рис. 2. Розрахункова схема напіввагона при переході зони взаємодії рейкових колій перехідного мосту та залізничного порому

Система нелінійних диференціальних рівнянь, якою описуються коливання вагона при проходженні зони взаємодії рейкових колій перехідного мосту та залізничного порому має вигляд:

$$M_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2} \cdot q_1 + C_{1,1} \cdot q_1 + C_{1,3} \cdot q_3 + C_{1,5} \cdot q_5 = -F_{TP} \cdot \left(\text{sign} \left(\frac{d}{dt} \cdot \delta_1 \right) + \text{sign} \left(\frac{d}{dt} \cdot \delta_2 \right) \right), \quad (1)$$

$$M_2 \cdot \frac{d^2}{dt^2} \cdot q_2 + C_{2,2} \cdot q_2 + C_{2,3} \cdot q_3 + C_{2,5} \cdot q_5 = F_{TP} \cdot l \cdot \left(\text{sign} \left(\frac{d}{dt} \cdot \delta_1 \right) - \text{sign} \left(\frac{d}{dt} \cdot \delta_2 \right) \right) + P_B \cdot \frac{h_k}{2}, \quad (2)$$

$$M_3 \cdot \frac{d^2}{dt^2} \cdot q_3 + C_{3,1} \cdot q_1 + C_{3,2} \cdot q_2 + C_{3,3} \cdot q_3 + B_{3,3} \cdot \frac{d}{dt} \cdot q_3 = F_{TP} \cdot \text{sign} \left(\frac{d}{dt} \cdot \delta_1 \right) + k_1 \cdot (\eta_1 + \eta_2) + \beta_1 \cdot \left(\frac{d}{dt} \cdot \eta_1 + \frac{d}{dt} \cdot \eta_2 \right), \quad (3)$$

$$M_4 \cdot \frac{d^2}{dt^2} \cdot q_4 + C_{4,4} \cdot q_4 + B_{4,4} \cdot \frac{d}{dt} \cdot q_4 = -k_1 \cdot a \cdot (\eta_1 - \eta_2) - \beta_1 \cdot a \cdot \left(\frac{d}{dt} \cdot \eta_1 - \frac{d}{dt} \cdot \eta_2 \right), \quad (4)$$

$$M_5 \cdot \frac{d^2}{dt^2} \cdot q_5 + C_{5,1} \cdot q_1 + C_{5,2} \cdot q_2 + C_{5,5} \cdot q_5 + B_{5,5} \cdot \frac{d}{dt} \cdot q_5 = F_{TP} \cdot \text{sign} \left(\frac{d}{dt} \cdot \delta_2 \right) + k_1 \cdot (\eta_3 + \eta_4) + \beta_1 \cdot \left(\frac{d}{dt} \cdot \eta_3 + \frac{d}{dt} \cdot \eta_4 \right), \quad (5)$$

$$M_6 \cdot \frac{d^2}{dt^2} \cdot q_6 + C_{6,6} \cdot q_6 + B_{6,6} \cdot \frac{d}{dt} \cdot q_6 = -k_1 \cdot a \cdot (\eta_3 - \eta_4) - \beta_1 \cdot a \cdot \left(\frac{d}{dt} \cdot \eta_3 - \frac{d}{dt} \cdot \eta_4 \right) \quad (6)$$

де M_1 – маса кузова; M_2 – момент інерції кузова; $M_{3,5}$ – відповідно, маса першого з боку дії збурення візка та другого; $M_{4,6}$ – відповідно, момент інерції першого з боку дії збурення візка та другого; $C_{1,1-6,6}$ – ненульові елементи матриці пружних коефіцієнтів; $B_{1,1-6,6}$ – дисипативні коефіцієнти; d – амплітуда стикової нерівності; k_1 – жорсткість колії; F_{TP} – сила сухого тертя, яка діє в підвішуванні візка; a – половина бази візка; l – половина бази вагона; β_1 – коефіцієнт демпфірування колії; $\delta_{1,2}$ – деформації пружних елементів ресорного підвішування; $\eta_{1,4}$ – нерівність колії; P_B – тиск вітру на торцеву стіну кузова вагона; h_k – висота кузова вагона; $q_{1,2}$ – узагальнені координати, що визначають, відповідно, поступальне та кутове переміщення кузова; $q_{3,4}$ – узагальнені координати, що визначають, відповідно, поступальне та кутове переміщення першого з боку збурення візка; $q_{5,6}$ – узагальнені координати, що визначають, відповідно, поступальне та кутове переміщення другого з боку збурення візка.

Вхідними параметрами математичної моделі є геометричні та масові характеристики кузова напіввагона, візків, колії, а також вітрове навантаження, яке діє на торцеву стіну кузова напіввагона.

Модель враховує, що вагон рухається пружно-в'язкою колією, при цьому реакція колії пропорційна як її деформації, так і швидкості цієї деформації [9].

Також в моделі прийнято припущення, що вантаж розподілений рівномірно відносно горизонтальної площини, тобто без «шапки», а також відсутні переміщення вантажу відносно кузова напіввагона.

Розв'язання диференціальних рівнянь здійснено за допомогою метода Рунге-Кутта в середовищі програмного забезпечення MathCad [10, 11]. Початкові переміщення та швидкості прийняті рівними нулю.

Результати досліджень дозволили визначити величину ухилу у зоні взаємодії перехідного мосту з залізничним поромом, яка дозволяє забезпечити допустиму динамічну навантаженість несучої конструкції кузова напіввагона відповідно до [4]. Величина ухилу на 1 м складала $1^{\circ}1'12''$.

Прискорення напіввагона при переході зони взаємодії рейкових колій перехідного мосту та залізничного порому наведені на рис. 3.

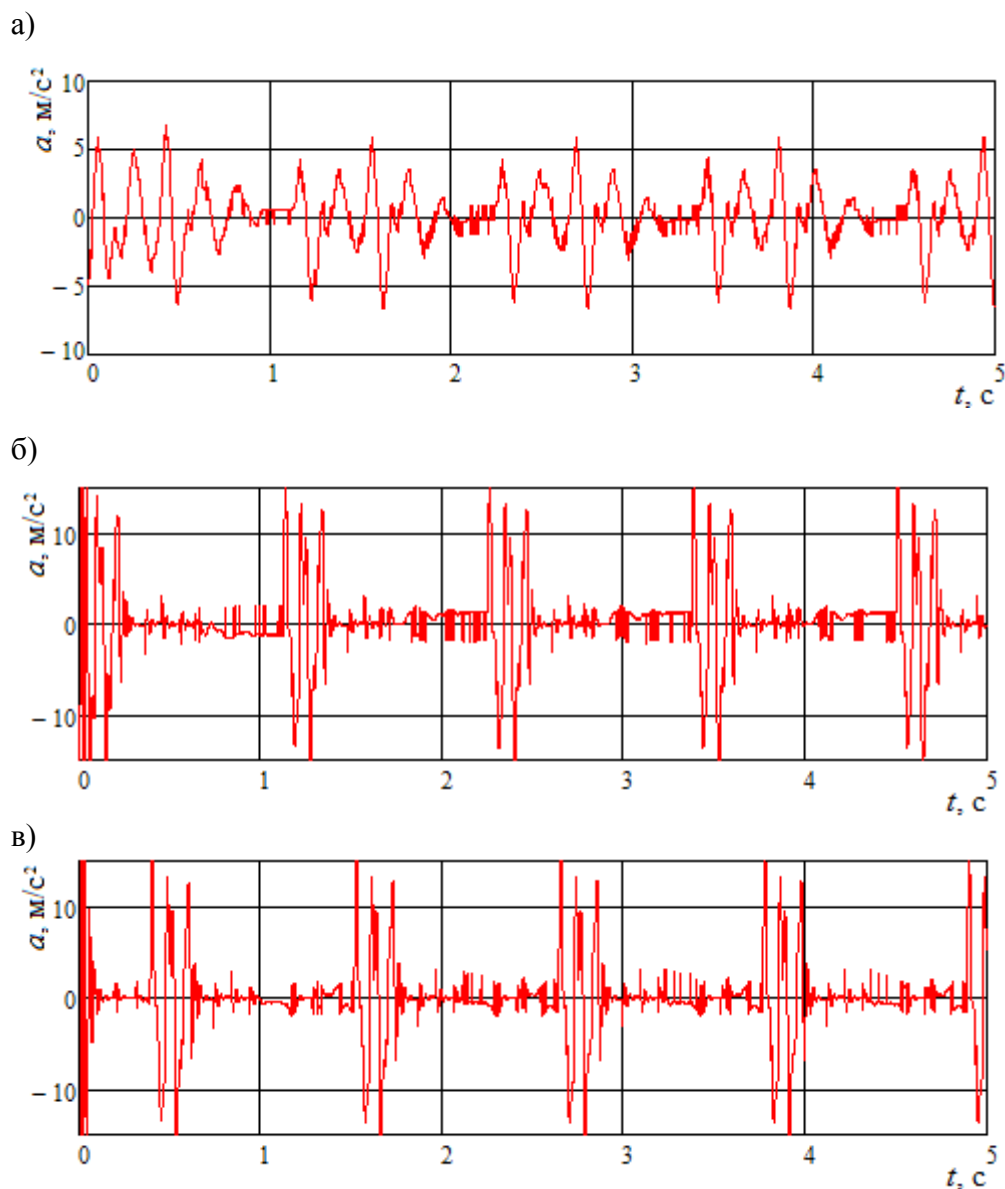


Рис. 3. Прискорення напіввагона при переході зони взаємодії рейкових колій перехідного мосту та залізничного порому
 а) кузов вагона; б) перший з боку дії збурення візок;
 в) другий з боку дії збурення візок

Аналізуючи отримані залежності можна зробити висновок, що максимальна величина прискорень, які діють на несучу конструкцію кузова напіввагона при завданій величині ухилу складає 8 м/с^2 , на перший з боку дії збурення та другий візок – близько 11 м/с^2 .

Висновки та пропозиції. На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Проведені дослідження дозволили визначити величину ухилу в зоні взаємодії перехідного мосту з залізничним поромом при накочуванні вагонів на палубу, який забезпечує допустиму динамічну навантаженість кузова на піввагона.

2. Отримані результати сприятимуть підвищенню безпеки процесу завантаження/вивантаження вагонів на/з залізничного порому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271.
2. Фомін, О.В. Підвищення ступеня ідеальності вантажних вагонів та прогнозування стадій їх еволюції / О.В. Фомін // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – № 3. – С. 68-76
3. Fomin, O. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43.
4. Фомін, О.В. Визначення перспективних напрямків проектування несучих систем у вантажному вагонуобудуванні / О.В. Фомін// Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків. –№ 3/7(57), 2012. – С. 32-35 – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3\(7\)_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
5. Lovska Alena. Research of dynamic loads acting on the supporting structures of car bodies in train ferries / Alena Lovskaya // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – №4. – P. 34 – 41.
6. Наставление по креплению груза для т/х «Петровск» ПР. № 002CNF001 – ЛМПЛ – 805. – Офіц. изд. – Одесса: МИБ, 2005. – 52 с.
7. Землезин И. Н. Методика расчета и исследования сил, действующих на вагон при транспортировке на морских паромках / И. Н. Землезин – М.: Транспорт, 1970. – 104 с.
8. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
9. Дьомін Ю. В. Основи динаміки вагонів: навч. посіб / Ю. В. Дьомін, Г. Ю. Черняк. – К.: КУЕЕТ, 2003. – 270 с.
10. Дьяконов В. MATHCAD 8/2000: специальный справочник / В. Дьяконов. – СПб: Питер, 2000. – 592 с.
11. Кирьянов Д. В. Mathcad 13 / Д.В. Кирьянов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2006. – 608 с.

Alyona O. Lovskaya, PhD (Technical Sciences)
(Associate Professor of Wagons Chair, The Ukrainian State University of Railway Transport)

INVESTIGATION INTO THE DYNAMIC FORCE INFLUENCING THE BODY OF OPEN BOXCARS DURING THEIR LOADING ON TRAIN FERRIES

Increased rates of Ukraine's integration into the system of international transport corridors suggest the need to create combined transport systems, among which one of the most successful is rail-ferry transportation.

The issue of loading and unloading on and from the deck, placement and reliable fastening requires a special attention because these are the factors which mainly provide safety of combined transportation.

The loading of wagons on the deck of train ferries is being conducted through a loading ramp with rails on intended for jointing with rails located on the ferry's deck. When the wagon passes through the zone where the ramp connects with the deck, the wagon is under the influence of dynamic loads exerted by joints in rail tracks.

So that to provide safe loading and unloading processes on and from the deck there is a need for research into dynamic loads influencing the supporting structure while it passes from the ramp to the train ferry. To conduct this research a mathematical model has been used; it has allowed obtaining improved values of accelerations influencing the wagon while loading and unloading the train ferry, and defining the gradient at which the admissible dynamic load of the wagon body is provided.

The results obtained will improve safety of the loading and unloading processes on and from train ferries.

Keywords: open boxcar, dynamics, mathematical simulation, structure loading, stability.

REFERENCES

1. Fomin, O.V. Koncepcija ideal'nih kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267-271.
2. Fomin, O.V. Pidvishhennja stupenja ideal'nosti vantazhnikh vagoniv ta prognozuvannja stadij ih evoljucii [Increased ideal freight cars and forecasting stages of their evolution] [Text] / O.V. Fomin // Scientific Bulletin of National Mining University. – Dnepropetrovsk: NSU, 2015. – №3. – P. 68-76 – Access: <http://nvngu.in.ua/index.php/uk/golovna/1049-ukrcat/arkhiv-zhurnalu/2015/zmist-3-2015/geotekhnichna-i-girnichna-mekhanika-mashinobuduvannya/2975-pidvishchennya-stupenya-idealnosti-vantazhnikh-vagoniv-ta-prognozuvannya-stadij-jikh-evolyutsiji>.
3. Fomin, O.V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars/ O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43.
4. Fomin, A. V. The determination of the perspective directions of designing of bearing systems in cargo wagon building/ A. V. Fomin// East European journal of advanced technologies. – Kharkiv. –№ 3/7(57), 2012. – 32-35 p. – access Mode: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3\(7\)_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vejpte_2012_3(7)_9.pdf).
5. Lovska Alena. Research of dynamic loads acting on the supporting structures of car bodies in train ferries / Alena Lovskaya // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – №4. – P. 34 – 41.
6. *Nastavlenie po krepleniyu gruzu dlya t/h «Petrovsk» PR. № 002SNF001 – LMPL – 805.* – Ofits. izd. – Odessa: MIB, 2005. – 52 p.
7. Zemlezin I. N. Metodika rascheta i issledovaniya sil, deystvuyuschih na vagon pri transportirovke na morskikh paromah / I. N. Zemlezin – M.: Transport, 1970. – 104 p.
8. *Normy dlya rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznyih dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyih).* – M.: GosNIIV – VNIIZhT, 1996. – 319 p.
9. Domin Yu. V. Osnovi dinamiki vagoniv: navch. posib / Yu. V. Domin, G. Yu. Chernyak. – K.: KUEET, 2003. – 270 p.
10. Dyakonov V. MATHCAD 8/2000: spetsialnyiy spravochnik / V. Dyakonov. – SPb: Piter, 2000. – 592 p.
11. Kiryanov D. V. Mathcad 13 / D.V. Kiryanov. – SPb.: BHV – Peterburg, 2006. – 608 p.