



УДК 629.463.65

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Фомін О.В., докт. техн. наук, доцент, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ,
Прокопенко П.М., аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ,
Обуховський В.В., канд. іст. наук, доцент, Державний університет інфраструктури та технологій,
м. Київ, **Швець А.О.**, провідний інженер, Дніпровський національний університет залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпро

Забезпечення безпеки руху є одним з найважливіших вимог до роботи залізниць. Серед аварій і катастроф на залізничному транспорті найбільшу небезпеку становить сходження з рейок, так як це може призвести до тяжких наслідків. Причини сходів вагонів-платформ з рейок пов'язані з несправностями рухомого складу, відхиленнями від норм утримання колії, незадовільна динаміка поїзда також з умовами їх експлуатації.

Ключові слова: вагон-платформа, ходові динамічні випробування, швидкість, коефіцієнт запасу стійкості, сход, несправність, динаміка.

INVESTIGATION OF DYNAMIC INDICATORS OF FLAT WAGON IN OPERATION

O. Fomin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, **P. Prokopenko**, graduate student, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, **V. Obuhovskij**, Candidate of History Sciences, Associate professor, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, **A. Shvets**, Senior Engineer, Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro

Ensuring traffic safety is one of the most important requirements for the operation of railways. Among the accidents and disasters in railway transport, the greatest danger is the ascent from rails, as it can lead to grave consequences. The reasons of the ladders of freight flat wagon from rails are connected with malfunctions of rolling stock, deviations from the rules of maintenance of the track, unsatisfactory dynamics of the train as well as the conditions of their operation.

According to the results of the tests, it has been established that most of the running dynamic parameters of the platform: the coefficients of vertical and horizontal dynamics, the ratio of the lateral force to the static axle load, the value of vertical and horizontal acceleration, the coefficient of stability from lateral rollover satisfies requirements. The only exception is the index of the coefficient of stability of the wheel from the east of the rails of the wagon-platform in idle mode on the straight and curved sections of the railroad in the range of operating speeds, which does not meet the requirements of the normative documentation.

To solve the question of determining the safe speed of the flat wagon, dynamic dynamic tests have been conducted to determine the coefficient of stability of the wheel from the east of the rails in an empty state.

Key words: flat wagon, running dynamic tests, speed, stability factor, runoff, malfunction, dynamics.



Вступ. За результатами проведених випробувань встановлено, що більшість ходових динамічних показників платформи: коефіцієнти вертикальної і горизонтальної динаміки, відношення бокової сили до статичного навантаження на вісь, значення вертикального і горизонтального прискорень, коефіцієнт стійкості від бокового перекидання задовольняють вимоги. Винятком є показник коефіцієнту запасу стійкості колеса зі сходу з рейок вагона-платформи у порожньому режимі на прямих і кривих відрізках залізничної колії у діапазоні експлуатаційних швидкостей, який не відповідає вимогам нормативної документації.

Для вирішення питання з визначення безпечної швидкості руху вагона-платформи проведено ходові динамічні випробування та виконано теоретичні дослідження з визначення коефіцієнту запасу стійкості колеса зі сходу з рейок в порожньому стані.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Необхідно сформулювати необхідність проведення даних ходових динамічних випробувань. Проведені теоретичні та практичні дослідження з визначенням та оцінкою показників динамічних та ходових якостей вагона платформи, визначення коефіцієнту запасу

стійкості колеса від сходу з рейок, що в свою чергу дозволить визначити безпечну швидкість руху вагонів платформ вагонів в порожньому стані. На сьогоднішній день проблемі з визначення безпечної швидкості руху та визначенню коефіцієнту запасу стійкості від сходу вагонів присвячено значну кількість наукових праць.

Сучасні дослідження, присвячені питанням зниження вартості вантажних вагонів, в основному спрямовані на поліпшення їх конструкцій за рахунок вдосконалення процедур їх проектування або впровадження нових матеріалів. Зокрема, стаття [4] присвячена висвітленню запропонованих інновацій для конструкцій піввагонів «залізничного простору 1520 мм» і особливостей їх проектування, однак в ній обмежено представлені можливості застосування таких інновацій для піввагонів-хоперів. Автори роботи [5] відображають певні ними перспективні напрямки конструювання кузовів залізничних напіввагонів з метою поліпшення техніко-економічних показників, але не розкривають економічного потенціалу ділового використання спеціального дорогого вагонного прокату немірної довжини. У роботах [8, 9] представлені нові підходи до вдосконалення динамічних розрахунків вагонних конструкцій і отримані на їх основі більш точні результати. Так, в роботі [8] описані характерні риси та результати динамічних характеристик вагонів-платформ. А робота [9] присвячена представленням запропонованих методів визначення динамічних характеристик для різних виконань несучих вагонних конструкцій. Ряд сучасних публікацій присвячені конструкціям вантажного вагонобудування нового покоління, які спроектовані з використанням передових матеріалів та технологій. Наприклад, в [5] автори відображають результати комп'ютерного моделювання прототипу вантажного вагона з основними несучими елементами, виконаними без надлишкових зв'язків. Однак представлені в роботах [5, 8, 9] підходи орієнтовані на використання цілісних профілів і не дозволяють з достатньою точністю розрахувати впровадження стикованих варіантів виконання балок в різних вузлах вантажних вагонів. В роботі [6] представлені особливості запропонованих авторами інновацій в модулі ходової частини, також відображено їх вплив на модуль кузова

але без урахування варіації його виконань. У статті [7] опубліковані результати робіт з генерування перспективних конфігурацій профілів, які можуть бути використані у виробництві різних видів рухомого складу. Але автори не пропонують даних про можливості створення перспективних профілів в стикованих по довжині виконаннях. Робота [10] висвітлює запропоновані методи аналізу залізничних конструкцій майбутнього і способи розширення їх функціональності, проте в ній, так само як і в статті [5], відсутні дані про підвищення ділової функціональності немірних спеціальних профілів. Також важливу роль в сучасному вагонобудуванні грають відповідні підходи в проектуванні, наприклад в статті [11] представлений розроблений методологічний апарат для прийняття оптимальних рішень. Але він так само не надає вичерпних можливостей щодо формування оптимальних по довжині і конфігурації зчленованих балок. У роботі [12] представлені особливості та результати проведених досліджень з визначення конструктивних складових вантажних вагонів для створення спрямованого напружено-деформованого стану (на основі принципу попередніх напружень).

З урахуванням вищесказаного можна зробити висновок, що результати аналізу інформаційних джерел з досліджуваного питання свідчать про відсутність достатніх методичних і практичних матеріалів про визначення коефіцієнту стійкості колеса від сходу з рейок.

Мета роботи проведення ходових динамічних випробувань з визначенням та оцінкою показників ходових динамічних якостей вагона-платформи моделі 13-4012 при русі з різними швидкостями по характерних ділянках залізничної колії, а також визначення умов експлуатації на залізницях колії 1520 мм.

Для досягнення поставленої мети було визначено та вирішено наступні задачі:

- вибір дослідного зразка та аналіз його технічного стану;
- проведення ходових динамічних випробувань з визначенням показників динамічних якостей вагона при його русі на залізничній колії з різними експлуатаційними швидкостями.

Основна частина. Об'єктом випробувань є вагон-платформа моделі 13-4012 в порожньому стані, виготовлений у відповідності до вимог нормативної технічної документації. (Рис. 1).



Рис. 1. Дослідний вагон-платформа

Ідентифікація вагону виконується за нормативною документацією, зовнішнім видом, конструкцією (складом), комплектністю й маркуванням перед початком випробувань.

Відібраний вагон повинен бути ідентифікований за такими ознаками:

- найменування об'єкта;
- заводський номер;
- підприємство виготовлювач;
- дата виготовлення;
- дата, вид та підприємство, яке виконувало останній плановий ремонт.

При проведенні технічного діагностування особу увагу привертають несучим елементам конструкції, а саме хребтовій та шворневій балкам та повній комплектності вагона.

Ходові динамічні випробування проводились у складі дослідного зчепу (рисунок 3) та у складі поїзда (рисунок 4), який був сформований з двох вагонів-платформ моделі 13-4012, локомотива, динамометричного вагона, які за складом прямих і кривих ділянок, відповідали вимогам до колії для проведення ходових випробувань.

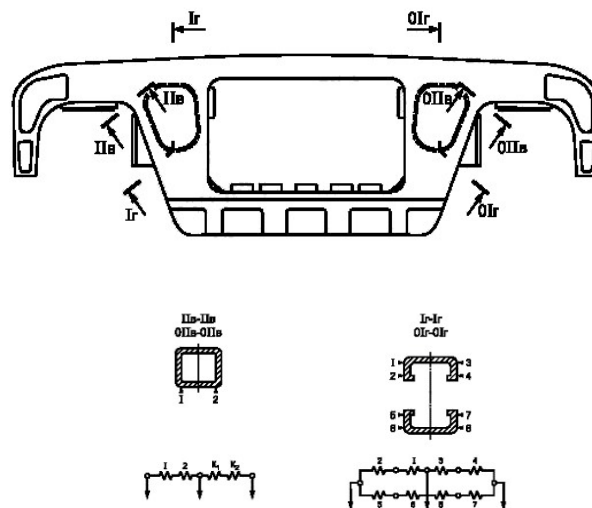


Рис.2. Схема установки і з'єднання тензорезисторів для вимірювання горизонтальних і вертикальних сил



Рис. 3. Дослідний зчеп



Рис. 4. Дослідний зчеп у складі поїзда

Для реєстрації показань тензорезисторів та віброперетворювачів використовується програмно – апаратний комплекс, який складається з контролера cRIO NI 9012 з модулями АЦП NI 9237 та спеціалізованого програмного забезпечення, розробленого в програмному пакеті LabVIEW.

Стійкість колеса від сходу колеса з рейки визначали для найбільш небезпечних випадків поєднання великої поперечної сили взаємодії колеса, що набігає, з рейкою та малим вертикальним навантаженням на це колесо. При одночасній, протягом деякого часу, дії такого поєднання екстремальних сил можливе вкочування гребеня колеса, що набігає, на головку рейки і подальший схід вагона з рейки.

Обробка даних ходових динамічних випробувань вагонів передбачає розшифровку, ідентифікацію та систематизацію параметрів зареєстрованих динамічних процесів. При обробці враховуються показники якості ходу вагона - до 20 Гц. Частота квантування при обробці дослідних даних на ЕОМ повинна бути не менше 100 Гц.

Дослідні дані груповані за діапазонами швидкостей руху (10-20 км/год), характерних особливостей ділянок колії (пряма, крива, стрілки і ін.).

Для оцінки ходових якостей за величинами вимірних динамічних показників вагона, з використанням співвідношень з урахуванням тарувальних даних визначаються ймовірні максимальні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки обресорених $K_{до}$ і необресорених $K_{дн}$ мас вагона, бічні (рамні) сили, значення коефіцієнтів запасу стійкості від сходу з рейок $K_{ус}$.

Максимальні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки і рамних сил визначені з довірчою ймовірністю 0,97 (за амплітудним значенням) і 0,97 (по миттєвим значенням), а мінімальні значення коефіцієнтів запасу стійкості від сходу з рейок, з довірчою ймовірністю не більше 0,0001. За величину бокового (рамного) зусилля H_p приймається сума рамних зусиль, що діють в один і той самий момент часу, на раму від кожної букси однієї колісної пари.

Розрахунок коефіцієнта запасу стійкості вагона проти сходу з рейок виконують за формулою:

$$K_{yc} = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu tg\beta} \cdot \frac{Q_{ш}(1,03 - 1,17K_{д}'' + K_{д}''') + 0,515q_{кп} + 0,305H_p}{Q_{ш}(0,242 + 0,042K_{д}'' - 0,285K_{д}''') + 0,121q_{кп} + 0,92H_p}, \quad (1)$$

де $Q_{ш}$ - сила тяжіння надресорних частин вагона, діюча на шийку осі колісної пари, кН, визначена, за формулою:

$$Q_{ш} = \frac{Q - nq_{кп}}{2n_0}, \quad (1)$$

Q - сила ваги вагона, кН,

$q_{кп}$ - сила тяжіння необресорених частин, яка припадає на колісну пару, кН;

n_0 - число осей вагона;

$K_{д}''$ - коефіцієнт вертикальної динаміки на набігаючому колесу;

$K_{д}'''$ - коефіцієнт вертикальної динаміки на ненабігаючому колесу;

H_p - горизонтальна бічна рамна сила.

Значення H_p прийнято позитивними в разі направлення її в сторону набігання колеса, а $K_{д}''$ і $K_{д}'''$ - в разі розвантаження коліс.

На рисунку 5 наведено розрахункова залежність коефіцієнту запасу стійкості ввагона проти сходу від швидкості руху.

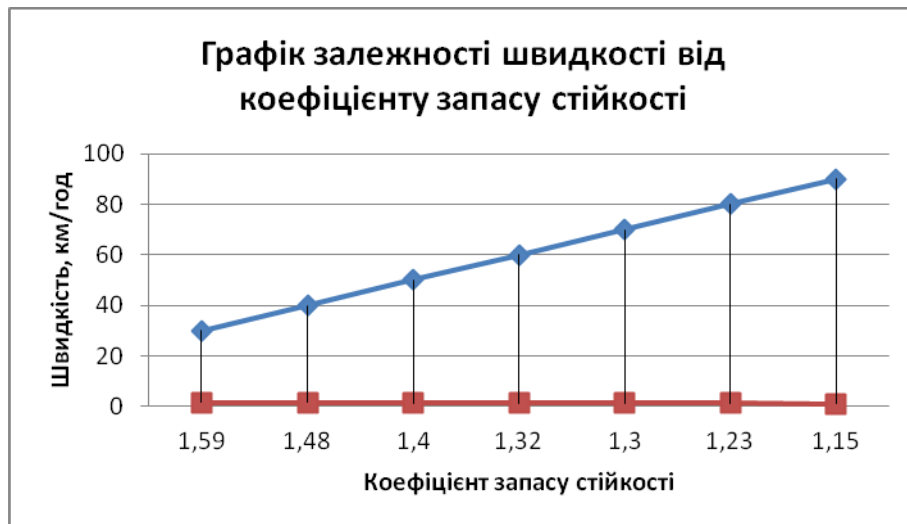


Рис. 5. Залежність швидкості від коефіцієнту запасу стійкості

Матеріали даної публікації отримано при виконання проекту ДФФД.

Висновки та пропозиції. Аналіз катастроф і аварій за 2016-2018 роки показує, що основна частка катастроф і аварій (понад 67%) припадає на колійне господарство та вагонне. Із загальної кількості аварій, сходів в зазначений період, понад 64% становили випадки, пов'язані зі сходами порожніх вагонів. Найбільше часто сходили з рейок легковагові вантажні вагони.

Вході проведення практичних досліджень з визначення показника коефіцієнту запасу

стійкості колеса зі сходу з рейок у діапазоні експлуатаційних швидкостей було встановлено що він змінюється в негативну сторону в залежності від зменшення тари більше як на 10% від нормативної, поганого технічного стану несучих та екіпажних частин вагона та розташування вагонів у голові та середині поїзда. Таким чином отримані праткичні результати дозволять оцінити вплив зменшення тари, поганого технічного стану та місця розташування у поїзді, на стійкість вагона від перекидання та встановити безпечну швидкість руху вагонів-платформ у порожньому стані та місце постановки їх у поїзді.

За дослідженням динаміки платформи визначено, що умови безпеки руху порушуються. Так коефіцієнти запасу стійкості від сходження колісних пар з рейок відповідно швидкостям руху 40-80 км/год становили: 1,48; 1,40; 1,32; 1,30; 1,23 при мінімально допустимому 1,3. Таким чином, коефіцієнт запасу стійкості нижче допустимого рівня для платформи з номінальними параметрами – в 1,1 рази, для платформи зі зменшеною тарою – в 1,13, для платформи зі зменшеною тарою і фактичними профілями коліс – в 1,25 раз, для платформи з фактичними параметрами – в 1,26 раз, для платформи з фактичними параметрами, але покращеним станом колії – в 1,04 рази. Отже більш суттєвий вплив на рівень показників безпеки руху здійснює стан колії та стан коліс платформи. Подібним чином стан колії і стан коліс відбивається на інших показниках динамічних якостей платформи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Макаренко, М. В. Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагону [Текст] / М. В. Макаренко // Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». – К.: ДНДЦ УЗ. – 2014. – №. 5. – С. 107.
2. Фомін О.В. Математичні моделі зміни основних показників базових несучих елементів кузовів напіввагонів / О.В. Фомін, О.А. Логвіненко, Р.Ю. Дьомін, Г.П. Бородай, В.В. Фомін, О.В. Бурлуцький // Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». – Київ: ДНДЦ УЗ, 2013. – № 5/6(102/103). – С. 95–104.
3. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності [Текст] / О.В. Фомін // Науковий журнал – «Технологический аудит и резервы производства». – Харків, 2015. – № 4/1(24) – С. 83-89.
4. Tadeusz, Niezgoda. Simulations of motion of prototype railway wagon with rotatable loading floor carried out in MSC Adams software / Tadeusz Niezgoda, Wieslaw Krason, Michal Stankiewicz // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2012. – Vol. 19, No. 4. – P. 495 – 502.
5. Мороз, В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоємності [Текст] / В.І. Мороз // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – С. 121 – 131.
6. Динамика грузовых вагонов с учетом поперечного смещения тележек / Н. И. Луханин, С. В. Мямлин, Л. А. Недужая, А. А. Швец // Зб. наук. праць Донецького інституту заліз. тр-ту. – Донецьк, 2012. – Вип. 29. – С. 234–241.
7. Фомін, О.В. Поліпшення несучої здатності вагона-хопера для перевезення зерна з метою підвищення опору динамічним зусиллям / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І. Сапронова С.Ю. // Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету

імені Володимира Даля. – Сєверодонецьк: СНУ ім. В.Даля, 2017. – № 5(235) – С. 88-99;

8. *Research into a possibility to prolong the time of operation of universal open top wagon bodies that have exhausted their standard resource / Okorokov A., Fomin O., Lovska A., Vernigora R., Zhuravel I., Fomin V. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 3, Issue 7 (93). P. 20–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131309>*

9. *Lovska A. O. Computer simulation of wagon body bearing structure dynamics during transportation by train ferry // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2015. Vol. 3, Issue 7 (75). P. 9–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.43749>*

10. *Швець, А. О. Вплив поздовжнього та поперечного зміщення центру ваги вантажу в піввагонах на їх динамічні показники / А. О. Швець // Наука та прогрес транспорту. – 2018. – № 5(77). – С. 115–128. doi: 10.15802/stp2018/146432*

11. *Фомін, О.В. Модернізація елементів стіни бокової універсальних напіввагонів вітчизняного виробництва [Текст]/ О.В. Фомін // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип.№26.- С.111-115.*

12. *The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties / Fomin O. V., Lovska A. O., Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P. // Scientific Bulletin of National Mining University. 2017. Issue 6. P. 89–96.*

REFERENCES

1. *Makarenko, M. V. (2014) Kompleksnyi analiz ekonomichnoho efektu vid zhyttievoho tsykladu suchasnoho napivvagonu [Comprehensive analysis of the economic impact of the life cycle of a modern gondola]. Naukovo-praktychnyi zhurnal «Zaliznychnyi transport Ukrainy» - Scientific and Practical Journal "Railway Transport of Ukraine", Vol 5, 107 [in Ukrainian].*

2. *Fomin O.V. Matematicheskiye modeli osnovopolagayushchikh pokazaniy bazovykh nesushchikh elementov kuzova / O.V. Fomin, O.A. Logvinenko, R.YU. D'omin, G.P. Boroday, V.V. Fomin, O.V. Burluts'kiy // Naukovo-prakticheskiy zhurnal «Zaliznichniy transport Ukraïni». - Kiïv: DNDTS UZ, 2013. - № 5/6 (102/103). - S. 95-104.*

3. *Fomin, O. V. (2015) Vprovadzhennya kruglih trub v nesuchI sistemi napIvvagonIv z zabezpechenniam ratsIonalnih pokaznikIv mItsnostI [Introduction of round pipes in the carrier systems of gondolas with the provision of rational indicators of strength]. Naukoviy zhurnal – «Tehnologicheskiiy audit i rezervyi proizvodstva» – Sceince magazine - "Technological audit and production reserves", Vol. 4/1(21), 83-89 [in Ukrainian].*

4. *Tadeusz Niezgoda, Wieslaw Krason, Michal Stankiewicz. (2012). Tadeusz, Niezgoda. Simulations of motion of prototype railway wagon with rotatable loading floor carried out in MSC Adams software. Journal of KONES Powertrain and Transport, 19 (4), 495–502.*

5. *Moroz, V.I. (2009) Matematychnyy zapys zadachi optymizatsiynoho proektuvannya piv-vahoniv za kryteriyem minimal'noyi materialoyemnosti [Mathematical notation of problem of optimizing design of open goods wagons by criterion of the minimum material capacity]. Zbirnyk naukovykh prats - Collection of scientific papers, Vol. 111, 121-131 [in Ukrainian].*

6. *Lukhanin N. I., Myamlin S. V., Neduzhaya L. A., Shvets A. A. Dinamikagruzovykhvagonov s uchetom poperechnog osmeshcheniyatelezhek [Freight cars dynamics, taking into account transversal*

displacement of the bogies]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho institutu zaliznychnoho transportu* [Proc. of the Donetsk Railway Transport Institute], 2012, issue 29, pp. 234-241. (in Russian)

7. Fomin O.V., Prokopenko P.M., Horbunov M.I. Sapronova S.YU. (2017). Polipshennya nesuchoyi zdatnosti vahona-khopera dlya perevezennya zerna z metoyu pidvyshchennya oporu dynamichnym zusylyam // *Naukovyy zhurnal – Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya*. – Syeverodonets'k: SNU im. V.Dalya, – № 5(235) – S. 88-99

8. Okorokov, A., Fomin, O., Lovska, A., Vernigora, R., Zhuravel, I., Fomin, V. (2018). Research into a possibility to prolong the time of operation of universal open top wagon bodies that have exhausted their standard resource. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (93)), 20–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131309>

9. Lovska, A. O. (2015). Computer simulation of wagon body bearing structure dynamics during transportation by train ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (75)), 9–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.43749>

10. Shvets, A. O. (2018). Influence of the longitudinal and transverse displacement of the center of gravity of the load in gondola cars on their dynamic indicators. *Science and Transport Progress*, 5(77), 115-128. doi: 10.15802/stp2018/146432 (in Ukrainian)

11. Fomin, O.V. (2011) Modernization of elements wall lateral of universal freight gondola domestic production// *Scientific-and-technical (Sci.-Tech.) collected works – Donetsk: DonIZT.*. – Vol. No. 26.- pp.111-115 [in Ukrainian]

12. Fomin, O. V., Lovska, A. O., Plakhtii, O. A., Nerubatskyi, V. P. (2017). The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 6, 89–96.
