



УДК 629.463.65:629.4.01

УДОСКОНАЛЕННЯ СТІНИ БОКОВОЇ НАПІВВАГОНІВ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА

Фомін О.В., докт. техн. наук, професор, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, Горбунов М.І., докт. техн. наук, професор, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Сєвєродонецьк, Швець А.О., провідний інженер, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпро, Фоміна А.М., аспірант, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Сєвєродонецьк, Скляр А.В., студент, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, Україна

Fomin O., Doctor of Technical Sciences, Professor, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Gorbunov M.I. Doctor of Technical Sciences, Professor, East Ukrainian Volodymyr Dahl National University, Sievierodonetsk, Shvets A., Senior Engineer, Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Fomina A., Graduate student, East Ukrainian Volodymyr Dahl National University, Sievierodonetsk, Skljjar A., students, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv

Постановка проблеми і аналіз результатів останніх досліджень.

У відповідності до Комплексної програми оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки, яку затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2008 року №1259 одним з пріоритетних напрямків розвитку залізничної галузі є оновлення вантажного вагонного парку Укрзалізниці конкурентоспроможними моделями вагонів вітчизняного виробництва.

Вирішення вищезазначеної задачі потребує удосконалення базових конструкцій вантажних вагонів вітчизняного виробництва за найважливішими технічними, економічними, інтегральними критеріями, які відповідають сучасному рівню техніко-економічних показників (ТЕП). Одним із найважливіших ТЕП є – матеріалоемність (тара) вагонів, зниження якої є одним із пріоритетних напрямків удосконалення їх конструкції [1-5].

Загальновідомими шляхами зниження тари вагонів є: здійснення заходів, що забезпечують зменшення зусиль, які діють на вагон і його частини; надання вагонам і їх частинам оптимальних конструктивних форм; раціональний вибір матеріалів; удосконалення технології виготовлення і ремонту вагонів. При цьому на нинішній час одним з перспективних методів зниження матеріалоемності конструкцій вітчизняних вантажних вагонів є здійснення заходів, які спрямовані на забезпечення раціональних перерізів їх складових.

На сьогоднішній день одними з дефіцитних вантажних вагонів парку Укрзалізниці є універсальні напіввагони, що обґрунтовується необхідністю вивода із експлуатації більшої

частини їх парку по причині досягнення призначеного терміну служби. Це обумовлює потребу у їх поповненні. Державною програмою «Український вагон» (затверджена Міністерством інфраструктури України 04 лютого 2011р.) передбачено у найближчі 3 роки оновити парк універсальних напіввагонів Укрзалізниці [3-7, 12-16]. У якості технічної бази реалізації цієї програми передбачається використати власні вагонобудівні потужності. Базовою моделлю універсальних напіввагонів, які виготовляють ці підприємства є модель 12-9745.

Результати проведених науково-дослідних робіт [3, 4], спрямованих на поліпшення ТЕП напіввагонів моделі 12-9745, свідчать, що одним із перспективних напрямків зниження собівартості виготовлення та підвищення експлуатаційної надійності цих напіввагонів є модернізація елементів конструкційного модуля стіни бокової, а саме обв'язування верхнього та стійки вертикальної (рис.1).

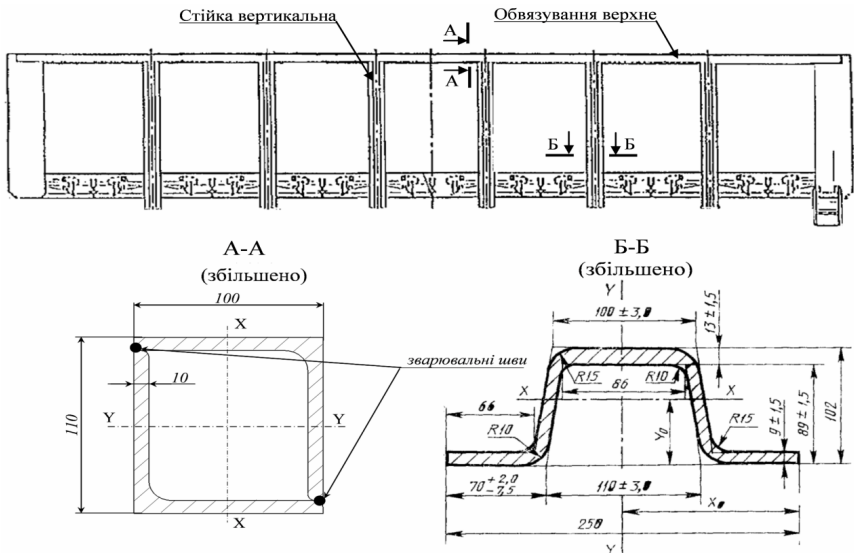


Рис. 1. Конструкція стіни бокової напіввагону моделі 12-9745

Вирішення вищезазначеної задачі на сучасному рівні потребує проведення оптимізаційного проектування елементів стіни бокової за критерієм мінімальної матеріалосності. Але аналіз науково-технічної літератури з профілю досліджуваного питання засвідчив про відсутність проведення досліджень з модернізації зазначених елементів.

Мета статті та викладення основного матеріалу. В статті представлено особливості та результати проведених робіт з наукового обґрунтування основних параметрів профілів, які запропоновані для модернізації обв'язування верхнього та стійки вертикальної стіни бокової універсальних напіввагонів вітчизняного виробництва.

Перерізи досліджуваних елементів існуючої конструкції стіни бокової напіввагону моделі 12-9745 представлено на рис.1. Загальна конструкція обв'язування верхнього (рис.1 переріз А-А) виконана з двох кутків $100x100x10-B$ (ДСТУ 2551, сталь 295-09Г2С ГОСТ 29281), які зварюються між собою в указаних місцях. При цьому погонна маса такого профілю дорівнює $m_{\text{пог}}^{\text{існ}} = 30 \text{ кг/м}$, умовна загальна довжина на вагон $l_{\text{заг}} = 26 \text{ м}$, осьовий момент опору $W_{\text{існ}} = 115,5 \text{ см}^3$. Стійки вертикальні конструкції напіввагону моделі 12-9745 виготовляються у відповідності до ГОСТ 5267.6 із сталі марки 295-09Г2 ГОСТ 29281. Вони мають профіль поперечного перетину, який показано на рис.1 (переріз Б-Б). При цьому осьовий момент опору такого профілю складає $W_{x \text{ існ}} = 116,5 \text{ см}^3$. Погонна маса дорівнює $m_{\text{пог}}^{\text{існ}} = 28,7 \text{ кг/м}$. Довжина стійки $l = 2,22 \text{ м}$. Умовна загальна довжина усіх стійок вертикальних такого профілю в конструкції напіввагону складає $l_{\text{заг}} = 26,67 \text{ м}$.

Для модернізації досліджуваних профілів були проведені пошукові дослідження [5, 6, 15-18] в ході яких варіювались різні геометричні форми (наприклад: два зварених швелера, труби квадратного перетину, гнуті замкнуті профілі та інш.) та конструкційні матеріали (різні марки сталі, сплави на основі алюмінію і інш.). Було встановлено, що для виготовлення обв'язування верхнього та стійки вертикальної доцільно використовувати гнутий замкнутий профіль зі сталі марки 09Г2. Виготовлення такого профілю з листа відповідної товщини може здійснюватись за технологіями, які засвоєні на виробничих базах та обладнанні вітчизняних вагонобудівників. Це додатково забезпечить зменшення собівартості виготовлення обв'язування верхнього, стійки вертикальної та конструкції кузова напіввагону в цілому. З урахуванням наведеного було проведено дослідження з вибору оптимальних геометричних параметрів їх перерізів.

На рис.2 наведено форму поперечного перерізу запропонованого профілю, основними геометричними параметрами якого є: δ – товщина листа; b – зовнішня ширина профілю та його висота – h .

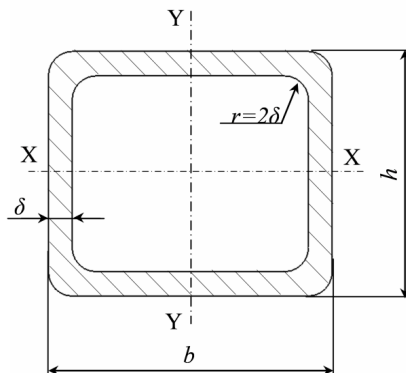


Рис. 2 Переріз запропонованої конструкції обв'язування верхнього та стійки вертикальної стіни бокової напіввагонів моделі 12-9745

Кінцевою метою дослідження є пошук значень параметрів (δ^*, h^*, b^*) , при яких буде забезпечена найменша маса обв'язування верхнього та стійки вертикальної стіни бокової $m_{\min}^{обв.е.}$, $m_{\min}^{ст.е.}$ при виконанні умови міцності $(\sigma_{e\max} \leq [\sigma])$.

В наведеній постановці проектування обв'язування верхнього та стійки вертикальної може розглядатись як задача багатомірної оптимізації з обмеженнями [7, 12-17]:

$$\begin{aligned} m_{\min}^{i\ddot{a}\ddot{a}.}, m_{\min}^{\ddot{y}\ddot{o}.}(\bar{X}) \rightarrow \min \\ \bar{X} \in \ddot{A}_x \in \ddot{A} \end{aligned} \quad (1)$$

де $m_{\min}^{обв.е.}$, $m_{\min}^{ст.е.}$ – відповідно маса обв'язування верхнього чи стійки вертикальної стіни бокової (основні критеріальні показники);

\bar{X} – вектор керованих змінних параметрів, складовими якого розглядаються – δ, h і b , інтервали варіювання яких визначають область можливих рішень D , в якій функціональними обмеженнями $[\sigma]$ виділяється область допустимих рішень D_x .

Особливості оптимізаційних робіт з удосконалення обв'язування верхнього та стійки вертикальної стіни бокової напіввагонів моделі 12-9745 представлено у роботах [5, 6, 10-13]. Проведені розрахунки дозволили визначити величини δ^*, h^*, b^* для елементів, що розглядаються, при цьому погонна маса обв'язування верхнього нової конструкції буде складати $m_{\text{поз.}}^{обв.е.} = 24 \text{ кг/м}$ ($m_{\text{поз.}}^{існ} = 30 \text{ кг/м}$), а осьовий момент опору $W = 115,81 \text{ см}^3$ ($[W] = 115,5 \text{ см}^3$). Погонна маса стійки вертикальної нової конструкції буде складати $m_{\text{поз.}}^{ст.е.} = 26,64 \text{ кг/м}$ ($m_{\text{поз.}}^{існ} = 28,7 \text{ кг/м}$), а осьовий момент опору $W_x = 118,56 \text{ см}^3$ ($[W] = 116,5 \text{ см}^3$).

У результаті впровадження запропонованих підходів і методів визначення та використання конструкційних резервів зниження матеріалоемності складових елементів стіни бокової напіввагонів моделі 12-9745 їх тару було знижено більше ніж на 200кг при забезпеченні умов міцності.

Ця публікація виконана по результатам виконання проєкту: «Розроблення концептуальних засад для відновлення ефективного функціонування застарілих вантажних вагонів (*Development of conceptual frameworks for restoring the efficient operation of obsolete freight cars*)» (Реєстраційний номер проєкту: 2020.02/0122), фінансування якого здійснюється Національним фондом досліджень України за кошти державного бюджету.

Висновки і рекомендації щодо подальшого використання. Наведені у статті матеріали свідчать про доцільність впровадження запропонованого підходу до оптимізаційного проектування елементів конструкції кузова вітчизняних напіввагонів з метою поліпшення їх техніко-економічних та експлуатаційних показників. Його практична реалізація забезпечить досягнення суттєвого економічного ефекту при їх виготовленні та експлуатації.



Запропонований підхід може бути використаний для інших елементів конструкцій кузовів універсальних та спеціалізованих вантажних вагонів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. *Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets* / Fomin O., Kulbovsky I., Sorochinska E., Sapronova S., Bambura O. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 5, Issue 1 (89). P. 11–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109588>
3. Фомін, О.В. Варіаційне описання конструктивних виконань вантажних вагонів [Текст] / О.В. Фомін, А.В. Гостра // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Київ: ДЕТУТ, 2015. – Вип.26-27. – С.137–147.
4. 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.
5. Turpak, S.M. *Logistic technology to deliver raw material for metallurgical production* / S.M. Turpak, I.O. Taran, O.V. Fomin, O.O. Tretiak // *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2018, Issue 1, p.162-169 DOI: 10.29202/nvngu/2018-1/3
6. Мороз, В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності [Текст] / В.І. Мороз // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – С. 121 – 131.
7. 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.
8. Lovska A. *The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision* [Text] / A. A. Lovska, A. Rybin // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – № 3 – p. 4 – 8.
9. Sapronova, S., Tkachenko, V., Fomin, O., Hachenko, V., Maliuk, S. (2017). *Research on the safety factor against derailment of railway vehicles*. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (90)), 19–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.116194>
10. 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.
11. Fomin, O. *Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry* [Text] / O. Fomin, A. Lovska, V. Masliyev, A. Tsymbaliuk, O. Burlutski // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2019. – Vol. 7, Issue 1 (97). – P. 33–40. doi: 10.15587/1729-4061.2019.154282
12. Fomin, Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna



Fomina, and Vladimir Hauser. "Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry." *Communications-Scientific letters of the University of Zilina* 21, no. 1 (2019): 28-34.

13. Fomin, O. Determining the dynamic loading on a semi-wagon when fixing it with a viscous coupling to a ferry deck [Text] / O. Fomin, A. Lovska, I. Kulbovskiy, H. Holub, I. Kozarchuk, V. Kharuta // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2019. – Vol. 8, Issue 2/7 (98). – P. 6–12. doi: 10.15587/1729-4061.2019.160456

14. 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.

15. 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>

16. Tkachenko, V. Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway [Text] / V. Tkachenko, S. Sapronova, I. Kulbovskiy, O. Fomin // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109791

17. 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.

18. Kondratiev A. Method for determining the thickness of a binder layer at its non-uniform mass transfer inside the channel of a honeycomb filler made from polymeric paper [Text] / A. Kondratiev, M. Slivinsky. – *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – Vol 6/5 (96). – Pp. 42 – 48. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.150387

References

1. 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]

2. Fomin, O., Kulbovsky, I., Sorochinska, E., Sapronova, S., Bambura, O. (2017). Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (89)), 11–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109588>

3. Fomin, O.V., Gostra, A. V. (2015) Variacijne opisannja konstruktivnih vikonan' vantazhnih vagoniv [Variations describe the structural designs of freight cars] *Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series "Transport systems and technologies"*, Vol. 26-27, 137-147 [in Ukrainian].

4. 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].*

5. Turpak, S.M. *Logistic technology to deliver raw material for metallurgical production / S.M. Turpak, I.O. Taran, O.V. Fomin, O.O. Tretiak // Scientific Bulletin of National Mining University . 2018, Issue 1, p.162-169 DOI: 10.29202/nvngu/2018-1/3*

6. 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].*

7. 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)*

8. Lovska A., Rybin A. (2015). *The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 3, 4–8.*

9. Saponova, S., Tkachenko, V., Fomin, O., Hachenko, V., Maliuk, S. (2017). *Research on the safety factor against derailment of railway vehicles. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (7 (90)), 19–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.116194>*

10. Lukhanin N. I., Myamlin S. V., Neduzhaya L. A., Shvets A. A. *Freight cars dynamics taking into account transversal displacement of the bogies. Proc. of the Donetsk Railway Transport Institute, 2012, issue 29, pp. 234-241. (in Russian).*

11. Fomin, O. *Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from round pipes when transported by a railroad ferry [Text] / O. Fomin, A. Lovska, V. Masliyev, A. Tsybaliuk, O. Burlutski // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 7, Issue 1 (97). – P. 33–40. doi: 10.15587/1729-4061.2019.154282*

12. Fomin, Oleksij, Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko, Pavlo Prokopenko, Anna Fomina, and Vladimir Hauser. *"Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry." Communications-Scientific letters of the University of Zilina 21, no. 1 (2019): 28-34.*

13. Fomin, O. *Determining the dynamic loading on a semi-wagon when fixing it with a viscous coupling to a ferry deck [Text] / O. Fomin, A. Lovska, I. Kulbovskiy, H. Holub, I. Kozarchuk, V. Kharuta // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 8, Issue 2/7 (98). – P. 6–12. doi: 10.15587/1729-4061.2019.160456*

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

15. 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>

16. Tkachenko, V. *Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway [Text]* / V. Tkachenko, S. Saprionova, I. Kulbovskiy, O. Fomin // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109791

17. 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-prakticheskyy zhurnal «Zal'iznichniy transport Ukraїni»*. - Kiy: DNDTS UZ, 2013. - № 5/6 (102/103). - S. 95-104.

18. Kondratiev A. *Method for determining the thickness of a binder layer at its non-uniform mass transfer inside the channel of a honeycomb filler made from polymeric paper [Text]* / A. Kondratiev, M. Slivinsky. – *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – Vol 6/5 (96). – Pp. 42 – 48. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.150387
