

О.В. ФОМІН, О.В. БУРЛУЦЬКИЙ, М.І. ГОРБУНОВ, О.А. ЛОГВІНЕНКО, А.М. ФОМІНА

ТЕРМІЧНА ПРАВКА ТЕХНОЛОГІЧНО-ДЕФОРМОВАНИХ ВЕРХНІХ ОБВ'ЯЗУВАНЬ ПІВВАГОНІВ

Зазначена важлива роль залізничного транспорту в дорожньо-транспортному комплексі України. Відмічено, що в сучасних умовах господарювання, конкуренції зі сторін інших видів транспорту та закордонних залізничних компаній перед вітчизняними залізницями гостро стоїть проблема постійного підвищення ефективності використання їх рухомого складу, переважна більшість якого приходить на вантажний вагонний парк. Обґрунтована актуальність підвищення надійності вітчизняного парку вантажних вагонів. Зазначена роль зварювального виробництва при створенні нових та модернізації існуючих вантажних вагонів. Відмічена доцільність заміни методу холодної правки післязварних деформацій, які виникають при виготовленні технологічно-деформованих верхніх обв'язувань піввагонів на метод теплової безударної правки. Наведені результати математичне моделювання процесу термічної правки технологічно-деформованих верхніх обв'язувань піввагонів.

Ключові слова: залізничний транспорт, рухомий склад, вагонний парк, піввагон, несучі системи, технологічно-деформоване верхнє обв'язування, термічна правка, математична модель, допоміжні графіки.

Выделена важная роль железнодорожного транспорта в дорожно-транспортном комплексе Украины. Отмечено, что в современных условиях хозяйствования, конкуренции со стороны других видов транспорта и зарубежных железнодорожных компаний перед отечественными железными дорогами остро стоит проблема постоянного повышения эффективности использования подвижного состава, подавляющее большинство которого приходится на грузовой вагонный парк. Обоснована актуальность повышения надежности отечественного парка грузовых вагонов. Выделена роль сварочного производства при создании новых и модернизации существующих грузовых вагонов. Обоснована целесообразность замены метода холодной правки послесварных деформаций, которые возникают при изготовлении технологически-деформированных верхних обвязок полувагонов, на метод тепловой безударной правки. Приведены результаты математического моделирования процесса термической правки технологически-деформированных верхних обвязок полувагонов.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, подвижной состав, вагонный парк, полувагон, несущие системы, технологически-деформированная верхняя обвязка, термическая правка, математическая модель, вспомогательные графики.

An important role of railway transport in the road transport complex of Ukraine is highlighted. It is noted that in the current conditions of management, competition from other modes of transport and foreign railway companies, the problem of constant increase in the efficiency of rolling stock use, the overwhelming majority of which falls on the freight wagon fleet, is acute before the domestic railways. The urgency of increasing the reliability of the domestic fleet of freight cars is substantiated. The role of welding production in the creation of new and modernization of existing freight cars is singled out. The expediency of replacing the method of cold dressing of post-welded deformations that arise in the manufacture of technologically deformed upper girders of open-top wagons is substantiated, the method of thermal unstressed straightening. The results of mathematical modeling of the process of thermal straightening of technologically deformed top girders of open-top wagons are presented.

Keywords: railway transport, rolling stock, car fleet, gondola car, load-bearing systems, technologically deformed upper strapping, thermal correction, mathematical model, auxiliary graphs.

Вступ. Залізничний транспорт України є провідною галуззю в дорожньо-транспортному комплексі країни. За довжиною мережі залізниць Україна посідає третє місце в Європі (22,05 тисяч кілометрів залізниць). Його стабільне та ефективне функціонування є необхідною умовою для забезпечення обороноздатності, національної безпеки і цілісності держави, підвищення рівня життя населення [1-8]. На даний час залізниця, в основному, задовольняють потреби суспільного виробництва та населення у перевезеннях. Проте стан виробничо-технічної бази залізниць і технологічний рівень перевезень за багатьма параметрами не відповідає зростаючим потребам суспільства та європейським стандартам якості надання транспортних послуг [1-3, 8], що найближчим часом може стати перешкодою для подальшого соціально-економічного розвитку держави. Проведення ринкових перетворень на залізничному транспорті сприятиме прискоренню темпів європейської інтеграції, налагодженню більш тісного міжнародного економічного співробітництва та підвищенню конкурентоспроможності українських

залізниць на ринку транспортних послуг, дасть можливість ефективно використовувати вигідне геополітичне розташування України, а також збалансувати інтереси залізниць та споживачів їх послуг.

Постановка проблеми. В сучасних умовах господарювання, конкуренції зі сторін інших видів транспорту та закордонних залізничних компаній перед вітчизняними залізницями гостро стоїть проблема постійного підвищення ефективності використання їх рухомого складу, переважна більшість якого приходить на вантажний вагонний парк. Тому підвищення надійності вітчизняного парку вантажних вагонів є актуальною та комплексною проблемою, вирішення якої потребує розв'язання наступних основних завдань: розробка та створення більш досконалої їх конструкції; удосконалення технології виробництва, удосконалення систем ремонту та технічного обслуговування; використання в експлуатації сучасних високоефективних пристроїв контролю технічного стану вагонів та підвищення їх довговічності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що великого значення в створенні нових та модернізації існуючих вантажних вагонів набуває зварювальне виробництво, як один з провідних технологічних процесів у створенні зварних металоконструкцій, застосування якого забезпечує значну економію матеріалів та трудових ресурсів [6,7].

В той же час не зважаючи на переваги зварювання в порівнянні з іншими типами нероз'єднаних з'єднань, високотемпературне нагрівання зварних металоконструкцій, яке має місце при цьому технологічному процесі, призводить до зміни як фізичних так і механічних характеристик їх матеріалу. При цьому в зварних елементах виникають післязварювальні залишкові напруження та деформації, які можуть суттєво знижувати якість зварних металоконструкцій. Отже жоден з існуючих способів зварювання не забезпечує гарантованого бездефектного зварного з'єднання. Тому в останні роки велика увага у всьому світі приділяється післязварювальним методам обробки зварних з'єднань, а саме методам правки, які дозволяють відновити геометричні форми деталей після їх зварювання.

Метою статті є розгляд процедури правки технологічно-деформованих верхніх об'язувань піввагонів шляхом створення внутрішнього напруженого стану термічним впливом.

Викладення основного матеріалу дослідження.

У відповідності до формалізованих описань піввагонів, на долю яких приходить понад третину залізничних вантажоперевезень [4, 8], в якості основного складового елемента їх несучих систем можна виділити об'язування верхнє, виготовлення якого пов'язано з технологічною операцією зварювання. В результаті її виконання по довжині об'язування виникає вертикальний прогин Δy (рис. 1), який на даний час усувається з використанням методу холодної правки [9]. Недоліком вказаного методу правки є нестійка форма виправленого верхнього об'язування, причиною якої є неоднорідні залишкові деформації, що виникають в перерізах об'язування, які в свою чергу викликані результатом нерівномірного деформування металу. В той же час відбувається погіршення його властивостей основного металу, а саме: знижується ударна в'язкість, підвищується межа текучості.

Авторами статті було встановлено, що усунення вказаних недоліків можливо, за рахунок заміни процедури холодної правки технологічно-деформованого верхнього об'язування піввагону, яке показана на рис. 1, на процедуру теплової безударної правки, яка отримала назву методу прогрівання «клинів» і реалізується шляхом створення внутрішнього напруженого стану термічним впливом. Цей метод передбачає короткочасне нагрівання трикутників («клинів») рис. 2 у відповідних зовнішніх місцях бокових (вертикальних) стінок профілю, поперечний переріз якого наведений на рис. 3.

Процедура правки технологічно-деформованого верхнього об'язування піввагону з використанням

вищезазначеного методу реалізується наступним чином. Два газорізальники одночасно та симетрично за допомогою нагрівального обладнання (при термічній правці нагрів проводиться газокисневим полум'ям або електричною дугою) виконують прогрівання рівнобічних трикутників («клинів») (рис. 2) на бокових (вертикальних) стінках профілю (рис. 1, місця 1-8) до набуття вишнево-червоного – вишневого кольору сталі у зоні прогрівання. Після виконання процесу прогрівання усіх клинів об'язування верхнє залишають для остигання у виробничому приміщенні. По закінченню остигання технологічно-деформованого об'язування верхнього на ньому спостерігається вертикальне додатне переміщення середніх точок профілю до вирівнювання його поздовжньої вісі з горизонталлю.

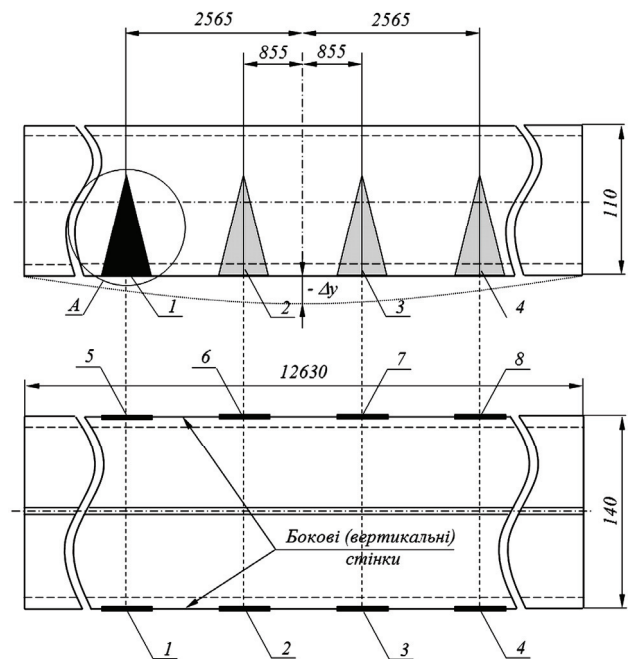


Рисунок 1 – Об'язування верхнє з місцями (1-8) для прогрівання методом «клинів»

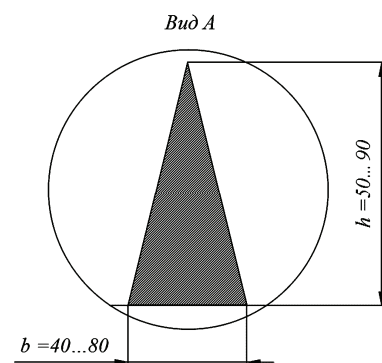


Рисунок 2 – «Клин»

Основною складністю термічної правки технологічно-деформованих верхніх об'язувань піввагонів є визначення розмірів форм (в даному випадку «клина») та режимів нагрівання. Для їх знаходження авторами було проведено математичне моделювання процесу термічної правки технологічно-деформованого верхнього об'язування піввагону, яке полягало в складан-

ні математичних планів, розробці відповідних математичних моделей та побудові допоміжних номограм з їх подальшим аналізом.

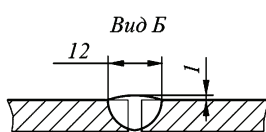
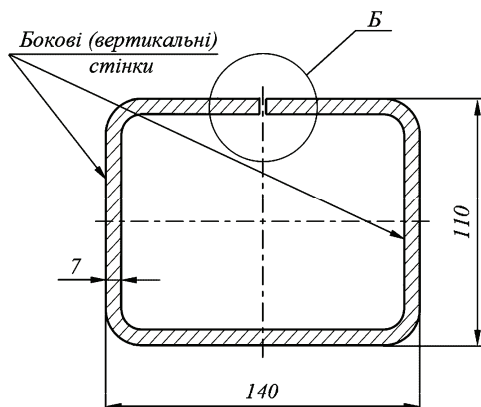


Рисунок 3 – Поперечний переріз верхнього обв'язування

Нижче наведені розроблені авторами трифакторні узагальнені математичні моделі (отримані з використанням методу математичного планування експерименту), які описують зміну основного показника (прогину профілю обв'язування верхнього Ду) в залежності від варіювання керованих змінних (геометричних параметрів «клина» – ширини b та висоти h , а також температури нагрівання t)

$$\begin{aligned} Du = & 2239,51667 - 5,23146 \cdot b - 8,93556 \cdot h - \\ & - 4,60260 \cdot t - 0,00889 \cdot b^2 + 0,06986 \cdot h^2 + \\ & + 0,00299 \cdot t^2 + 0,03656 \cdot b \cdot h + 0,00731 \cdot b \cdot t - \\ & - 0,00256 \cdot h \cdot t ; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Du = & -3092,45833 + 25,76542 \cdot b + 25,48611 \cdot h + \\ & + 5,16319 \cdot t - 0,08472 \cdot b^2 + 0,01403 \cdot h^2 - \\ & - 0,00244 \cdot t^2 - 0,17688 \cdot b \cdot h - 0,00213 \cdot b \cdot t - \\ & - 0,02538 \cdot h \cdot t ; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Du = & -923,66667 + 19,58958 \cdot b - 8,39444 \cdot h + \\ & + 2,98597 \cdot t - 0,04861 \cdot b^2 + 0,05139 \cdot h^2 - \\ & - 0,00144 \cdot t^2 - 0,00313 \cdot b \cdot h - 0,01813 \cdot b \cdot t + \\ & + 0,00063 \cdot h \cdot t . \end{aligned} \quad (3)$$

Перевірка адекватності, наведених вище математичної моделі, засвідчила їх працездатність та можливість для подальшого використання.

На рис. 4, 5, 6 в якості прикладу подано допоміжні графіки до визначення геометричних параметрів «клина» (при температурах нагрівання 800 °С, 680 °С та 600 °С) на яких показані ізолінії (лінії рівних значень) прогину обв'язування верхнього.

Слід зазначити, що підтвердження теоретичних положень з усунення вертикального прогину обв'язування верхнього піввагона за рахунок використання методу термічної правки, можливо отримати за

результатами експериментального дослідження на натурному зразку.

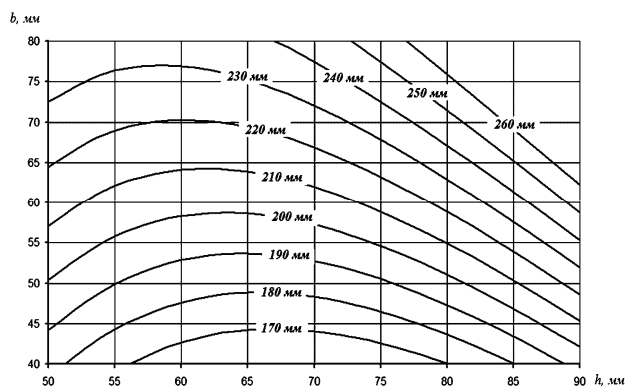


Рисунок 4 – Допоміжний графік до вибору розмірів «клина» ($t = 800 \text{ }^\circ\text{C}$)

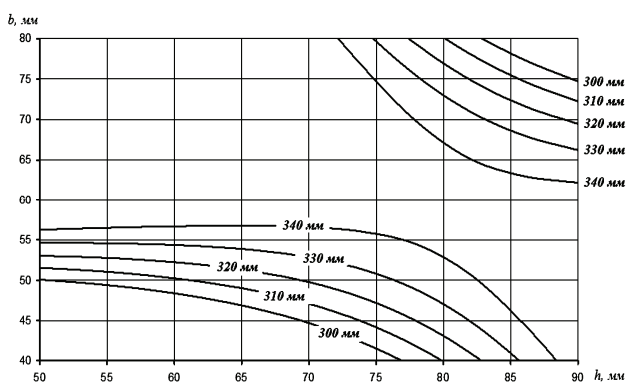


Рисунок 5 – Допоміжний графік до вибору розмірів «клина» ($t = 680 \text{ }^\circ\text{C}$)

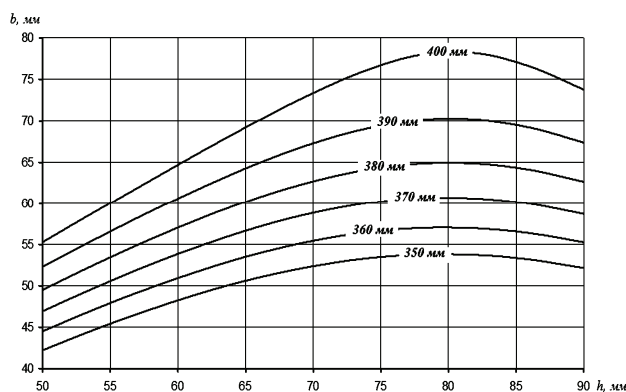


Рисунок 6 – Допоміжний графік до вибору розмірів «клина» ($t = 600 \text{ }^\circ\text{C}$)

Висновки. Застосування представленого в статті технічного рішення, а саме використання процедури теплової безударної правки, яка полягає в створенні внутрішнього напруженого стану за рахунок термічного впливу, дозволяє отримувати стійку форму виправлених технологічно-деформованих металоконструкцій вантажних вагонів та уникнути погіршення властивостей їх основного металу. Також наведені в статті матеріали можуть бути використані фахівцями в галузі вагонобудування при виконанні технологічних операцій при створенні або модернізації піввагонів.

Список літератури:

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. Fomin O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». – 2015. – No. 1. – P. 45-48.

3. Fomin O. Development and application of cataloging in structural design of freight car building / O.V. Fomin, O.V. Burlutsky, Yu.V. Fomina / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». – 2015. – No. 2. – P. 250-256.

4. 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». – К.: ДНДЦ УЗ, 2013. – № 5/6 (102/103). – С. 95-104.

5. Logvinenko A. A. Peculiarities of stress calculation of basic parts of valve timing gear of modern locomotive electric power installations / A. A. Logvinenko // Metallurgical and mining industry (Machine building). – Dnipropetrovsk: 2014. – No. 6. – P. 59-63. (www.metaljournal.com.ua).

6. Фомін О.В. Наукове обґрунтування вибору геометричних параметрів зон нагріву при термічній правці елементів несучих систем вантажних вагонів / О.В. Фомін, О.А. Логвіненко, О.В. Бурлуцький // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: Науковий журнал. – Северодонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2017. – № 4 (234). – С. 227-232.

7. Фомін О.В. Процедура правки технологічно-деформованих вагонних металоконструкцій шляхом створення внутрішнього напруженого стану термічним впливом / О.В. Фомін, О.А. Логвіненко, О.В. Бурлуцький // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: Науковий журнал. – Северодонецьк: СХУ ім. В. Даля, 2017. – № 3 (233). – С. 234-238.

8. Фомін О.В. Аналіз існуючих та перспективних профілів складових елементів несучих систем одиниць рухомого складу залізниць / О.В. Фомін, О.А. Логвіненко, О.В. Бурлуцький, А.М. Фоміна // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Динаміка та міцність машин. – Харків: НТУ(ХПІ), 2016. – Т. 1, № 46. – С. 66-72. – Режим доступу: DOI: <http://dx.doi.org/10.20998/2078-9130.2016.46.88052>.

9. Герасимов В.С. Технология вагоностроения и ремонта вагонов: Учебник для вузов / В.С. Герасимов, И.Ф. Скиба, Б.М. Кернич и др.; Под ред. В.С. Герасимова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1988. – 381 с.

References (transliterated):

1. Fomin O.V. Kontsepsiya ideal'nykh kuzoviv napivvagoniv [The concept of gondola cars]. Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya: naukovyy zhurnal – Bulletin of Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University: Scientific Journal, Lugansk, Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University Publ. 2013. No. 4 (193). PP. 267-271.

2. Fomin O.V. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015. No. 1. PP. 45-48.

3. Fomin O.V., Burlutsky O.V., Fomina Yu.V. Development and application of cataloging in structural design of freight car building. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015. No. 2. PP. 250-256.

4. Fomin O.V., Logvinenko O.A., Domin R.Yu., Fomin V.V., Boroday G.P., Burlutskiy O.V. Matematychni modeli zminy osnovnykh pokaznykiv bazovykh nesuchykh elementiv kuzoviv napivvagoniv [Mathematical models of the main indicators of change in the basic elements of gondolas carrying bodies]. Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine. 2013. Iss. 5/6 (102/103). PP. 95-104.

5. Logvinenko A. A. Peculiarities of stress calculation of basic parts of valve timing gear of modern locomotive electric power installations. Metallurgical and mining industry (Machine building). Dnipropetrovsk, 2014. No. 6. P. 59-63. (www.metaljournal.com.ua).

6. Fomin O.V., Logvinenko O.A., Burlutskiy O.V. Naukove obgruntuvannya vyboru heometrychnykh parametriv zon nahrivu pry termichniy pravtsi elementiv nesuchykh system vantazhnykh vahoniv [Scientific substantiation of the choice of geometrical parameters of heating zones during thermal adjustment of the elements of load bearing systems of freight cars]. Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya: naukovyy zhurnal – Bulletin of Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University: Scientific Journal, Severodonetsk, Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University Publ. 2017. No. 4 (234). PP. 227-232.

7. Fomin O.V., Logvinenko O.A., Burlutskiy O.V. Protseadura pravky tekhnolohichno-deformovanykh vahonnykh metalokonstruktсий shlyakhom stvorennya vnutrishn'oho napruzhenoho stanu termichnym vplyvom [The procedure of editing technologically-deformed wagon metal structures by creating an internal stressed state by thermal influence]. Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya: naukovyy zhurnal – Bulletin of Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University: Scientific Journal, Severodonetsk, Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University Publ. 2017. No. 3 (233). PP. 234-238.

8. Fomin O.V., Logvinenko O.A., Burlutsky O.V., Fomina Yu.V. Analiz isnyuyuchykh ta perspektyvnykh profiliv skladovykh elementiv nesuchykh system odynyt's rukhomoho skladu zaliznyts' [Analysis of existing and perspective profiles of constituent elements of bearing systems of units of rolling stock of railways]. Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriya: Dynamika ta mitsnist' mashyn – Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Dynamics and Durability of Machines, Kharkiv, National Technical University "KhPI" Publ. 2016. Vol. 1, No. 46. PP. 66-72. DOI: <http://dx.doi.org/10.20998/2078-9130.2016.46.88052>.

9. Gerasimov V.S., Skiba I.F., Kernich B.M. Tehnologiya vagonostroeniya i remonta vagonov [Technology of car building and car repair]. Moscow: Transport Publ. 1988. 381 p.

Надійшла (received) 26.09.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Термічна правка технологічно-деформованих верхніх об'язувань піввагонів / О.В. Фомін, О.В. Бурлуцький, М.І. Горбунов, О.А. Логвіненко, А.М. Фоміна // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 39 (1261). – С. 76-80. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2078-9130.

Термическая правка технологически-деформированных верхних обвязок полувагонов / А.В. Фомин, А.В. Бурлуцкий, Н.И. Горбунов, О.А. Логвиненко, А.М. Фомина // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 39 (1261). – С. 76-80. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2078-9130.

Thermal correction of technologically deformed top girders of open wagons / O.V. Fomin, O.V. Burlutsky, M.I. Gor-

bunov, O.A. Logvinenko, A.M. Fomina // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Dynamics and strength of machines. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017. – № 39 (1261). – С. 76-80. – Bibliogr.: 9. – ISSN 2078-9130.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Фомін Олексій Вікторович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри вагони та вагонне господарство, Державний економіко-технологічний університет транспорту, тел.: (067) 813-97-88, e-mail: fomin1985@list.ru.

Фомин Алексей Викторович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры вагоны и вагонное хозяйство, Государственный экономико-технологический университет транспорта, тел.: (067) 813-97-88, e-mail: fomin1985@list.ru.

Fomin Oleksiy Viktorovich – Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor at the Department of Car and Carriages' Economy, State Economy and Technology University of Transport, tel.: (067) 813-97-88, e-mail: fomin1985@list.ru.

Бурлуцький Олексій Вікторович – завідувач навчальними лабораторіями кафедри механіки і проектування машин, Український державний університет залізничного транспорту, тел.: (095) 735-66-87, e-mail: leha200681@mail.ru.

Бурлуцкий Алексей Викторович – заведующий учебными лабораториями кафедры механики и проектирования машин, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, тел.: (095) 735-66-87, e-mail: leha200681@mail.ru.

Burlutsky Olexiy Viktorovich – Head of the educational laboratories at the Department of "Mechanics and Machine Design", Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (095) 735-66-87, e-mail: leha200681@mail.ru.

Горбунов Микола Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, тел.: (095) 309-10-39, e-mail: gorbunov0255@gmail.com.

Горбунов Николай Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железнодорожного, автомобильного транспорта и подъемно-транспортных машин, Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля, тел.: (095) 309-10-39, e-mail: gorbunov0255@gmail.com.

Gorbunov Mykola Ivanovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the department of railway, motor transport and hoisting-and-transport machines, East-Ukrainian National University named after V. Dal, tel.: (095) 309-10-39, e-mail: gorbunov0255@gmail.com.

Логвіненко Олександр Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри механіки і проектування машин, Український державний університет залізничного транспорту, тел.: (066) 373-03-50, e-mail: logvinenko.alexandr@rambler.ru.

Логвиненко Александр Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики и проектирования машин, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, тел.: (066) 373-03-50, e-mail: logvinenko.alexandr@rambler.ru.

Logvinenko Oleksandr Anatoliyovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor at the Department of "Mechanics and Machine Design", Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (066) 373-03-50, e-mail: logvinenko.alexandr@rambler.ru.

Фоміна Анна Миколаївна – інженер, філія «ПВРЗ» ПАТ «Укрзалізниця».

Фомина Анна Николаевна – инженер, филиал «ПВРЗ» ПАО «Укрзалізниця».

Fomina Anna Mykolayivna - the branch of engineering «PVRZ» PAT «Ukrzaliznytsia».