

УДК 629.463.001.63

О. В. ФОМІН^{1*}

^{1*}Каф. «Рухомий склад залізниць», Донецький інститут залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту, вул. Артема, 184, Донецьк, Україна, 83018, тел. +38 (067) 813 97 88, ел. пошта fomin1985@list.ru

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ НА ОСНОВІ УЗАГАЛЬНЕНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Мета. Представлення особливостей та прикладу використання запропонованого алгоритму визначення оптимальних геометричних параметрів складових елементів вантажних вагонів на основі узагальнених математичних моделей, який реалізується на персональних обчислювальних машинах. **Методика.** Розроблений підхід до відшукування оптимальних геометричних параметрів можна охарактеризувати як визначення оптимального рішення з виділеної сукупності можливих варіантів. **Результати.** Представлений приклад використання запропонованого алгоритму засвідчив його працездатність та ефективність використання. **Наукова новизна.** У роботі формалізовано процедуру визначення оптимальних геометричних параметрів складових елементів вантажних вагонів на основі узагальнених математичних моделей. **Практична значимість.** Практичне впровадження результатів досліджень для універсальних напіввагонів дозволять знизити тару їх конструкції та, відповідно, підвищити вантажопідйомність майже на сто кілограмів при покращенні міцностних характеристик, що, з урахуванням масовості їх парку, забезпечить значний економічний ефект при їх виготовленні та експлуатації. Запропонований підхід орієнтований на використання розповсюджених програмних комплексів (наприклад, Microsoft Excel), які використовуються технічними службами більшості підприємств, і не вимагає додаткових капіталовкладень (придбання спеціалізованих програм та відповідного навчання технічного персоналу). Це додатково аргументує правильність спрямування науково-дослідних робіт. Запропонований алгоритм може бути використаний при вирішенні інших відповідних оптимізаційних задач на основі узагальнених математичних моделей.

Ключові слова: оптимальні параметри; складові елементи вагонів; вантажні вагони; узагальнені математичні моделі

Вступ

Стійка робота транспортної системи будь-якої країни є найважливішою умовою її соціально-економічного розвитку. Процес перевезень сировини й готової продукції – одна з основних ланок у ланцюзі матеріального виробництва. Він може виконуватися різними видами транспорту. У транспортній системі України залізниця займають провідне місце, і відповідно розвиток залізничної галузі є одним з пріоритетних завдань Транспортної стратегії України на період до 2020 року, яку було затверджено на засіданні Кабінету Міністрів України 20 жовтня 2010 року. Реалізація цього завдання передбачає виконання робіт з оновлення рухомого складу, удосконалення технології організації перевезень, модернізації інфраструктури. При цьому, за оцінками експертів [1, 3], на сьогодні найбільша частка рухомого складу України припадає на парк вантажних вагонів, який більш ніж на 60 % складається з вагонів, які

експлуатуються на грані призначеного терміну служби, що зумовлює гостру необхідність в його оновленні. Слід наголосити, що і в інших країнах з шириною залізничної колії 1520 мм активно відбувається процес оновлення відповідних інвентарних та власних парків вагонів. Звичайно, найбільшим попитом користуються моделі з найкращими техніко-економічними та експлуатаційними показниками (ТЕЕП) і відповідно найбільшу кількість замовлень на виробництво нового рухомого складу отримують підприємства, які такі моделі виготовляють. Проте виконаний у роботах [4, 5, 7, 10] аналіз базових моделей вантажних вагонів вітчизняних вагонобудівників вказав на те, що вони мають значний конструкційний резерв з поліпшення ТЕЕП. У свою чергу, це визначає важливість та актуальність створення вітчизняних конкурентоспроможних моделей вагонів, що є складною науково-технічною проблемою, вирішення якої на сучасному рівні потребує ре-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

лізації системного підходу з урахуванням досвіду експлуатації та досягнень розвитку науки й техніки.

Одним з перспективних напрямків поліпшення ТЕЕП вантажних вагонів є комплексне удосконалення їх конструкцій шляхом модернізації окремих складових [2, 8–10], зокрема вузлових (наприклад, балки шворневі, проміжні, хребтові й т. д.) та базових елементів (наприклад, стояки вертикальні стін бокових, пояси стін торцевих та ін.).

У роботах [6–10] було висвітлено: формалізований запис задачі оптимізаційного проектування на основі методів математичного планування експерименту, отримання узагальнених математичних моделей (УММ) [10–13] для опису залежності основних показників (міцнісних та масових) складових від геометричних параметрів (висота, ширина та товщини листа) і підхід до визначення оптимальних рішень на основі аналізу розроблених допоміжних графіків. У цій роботі пропонується підхід до визначення оптимальних рішень за допомогою алгоритму, який реалізується на ПЕОМ.

Мета

У статті описано особливості та приклад використання запропонованого алгоритму визначення оптимальних геометричних параметрів складових елементів вантажних вагонів на основі УММ, який реалізується на ПЕОМ.

Методика

У загальному вигляді запропонований підхід до відшукування оптимальних геометричних параметрів можна охарактеризувати як визначення оптимального рішення із виділеної сукупності можливих варіантів [10, 13].

Результати

Запропонований алгоритм подано на рис. 1 у вигляді блок-схеми. На першому етапі алгоритму пропонується визначення УММ для основних міцнісних характеристик (W_x, W_y – моменти опору перерізу у відповідних координатах) та погонної маси профілю $m_{\text{пог}}$, що розглядається. Після цього вводяться: граничнодопустимі значення моментів опору ($[W_x], [W_y]$), мінімальні та максимальні значення геометри-

чних параметрів ($h_{\text{max}}, h_{\text{min}}, b_{\text{max}}, b_{\text{min}}, \delta_{\text{max}}, \delta_{\text{min}}$) і кроки зміни їх значень ($h_{\text{крок}}, b_{\text{крок}}, \delta_{\text{крок}}$). Особливості виконання вищезазначених робіт детально розписано в статтях [5, 8–10].

Наступним кроком є визначення кількості можливих варіантів (N) з урахуванням $h_{\text{max}}, h_{\text{min}}, b_{\text{max}}, b_{\text{min}}, \delta_{\text{max}}, \delta_{\text{min}}, h_{\text{крок}}, b_{\text{крок}}, \delta_{\text{крок}}$. Після проходження вищезазначених етапів формується загальна база даних (БД), яка містить усі можливі в даному випадку варіанти поєднань h, b, δ і їх міцнісні та масові характеристики.

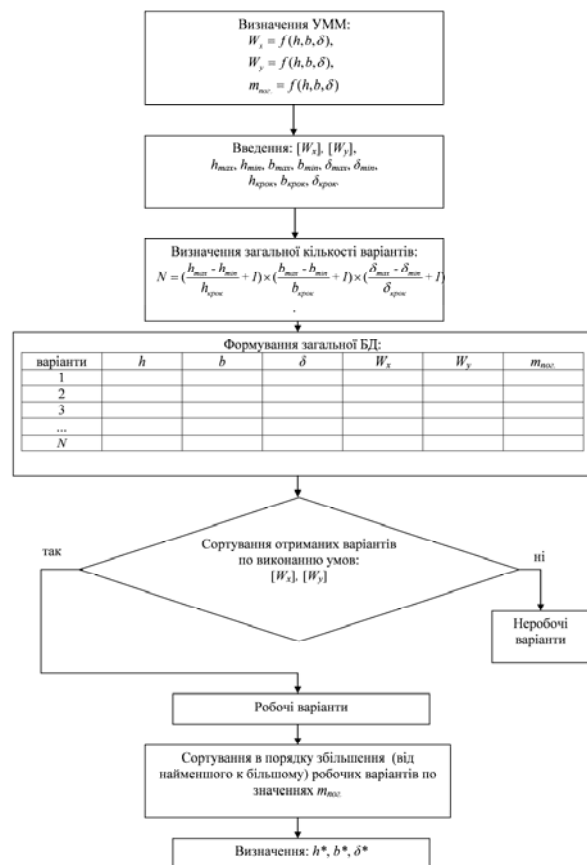


Рис. 1. Блок-схема алгоритму визначення оптимальних геометричних параметрів на основі УММ

Наступні етапи розробленого алгоритму присвячені сортуванню варіантів загальної БД з метою відшукування оптимального рішення. Так, спочатку із загальної БД шляхом перевірки на виконання умови $W_x^i \geq [W_x]$ (де W_x^i – момент опору за координатою x для кожного варіанта) виокремлюються варіанти, що задовольняють зазначену умову, і потім із цих варіантів, відбираються варіанти, які задовольняють умо-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ву $W_y^i \geq [W_y]$ (де W_y^i – момент опору за координатою y для кожного варіанта). Таким чином формуються БД із робочих та неробочих варіантів.

Наступним кроком є сортування робочих варіантів у порядку від найменшого значення до найбільшого за масовою характеристикою $m_{\text{пог.}}$. Відповідно варіант з найнижчим значенням $m_{\text{пог.}}$ і буде вважатися найкращим, а його геометричні показники h^* , b^* , δ^* – оптимальними.

Наукова новизна та практична значимість

Вищеописаний алгоритм, який формалізовано є процедурою визначення оптимальних геометричних параметрів складових елементів вантажних вагонів на основі узагальнених математичних моделей, автором було реалізовано на ПЕОМ у програмі Microsoft Excel для визначення оптимальних геометричних параметрів профілю з перерізом прямокутної труби (рис. 2, а), який запропоновано використовувати замість профілю (рис. 2, б) вагонного стояка (ГОСТ 5267.6-90) як стояки вертикальних стін бокових та пояси стін торцевих універсальних напіввагонів.

У формулах (1)–(3) подано отримані та перевірені раніше УММ для профілю прямокутної труби з урахуванням досліджуваних границь варіювання змінних:

$$m_{\text{пог.}} = (-2,9E - 15) h - 3,084\delta^2 + 1,542h\delta + 1,542b\delta \quad (1)$$

$$W_x = 179,9498 - 16,6388h - 9,70094b - 207,822\delta + 0,237427h^2 + 0,000981b^2 - 60,8609\delta^2 + 0,69646hb + 21,96h\delta + 12,356b\delta; \quad (2)$$

$$W_y = 137,5195 - 9,57056h - 13,3553b - 158,925\delta + 0,000317h^2 + 0,235580b^2 - 53,0205\delta^2 + 0,697883hb + 12,33214h\delta + 17,5429b\delta; \quad (3)$$

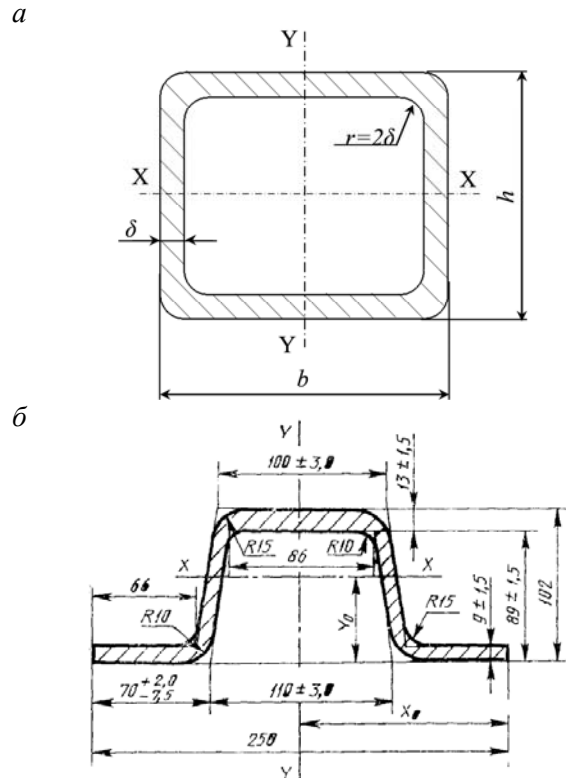


Рис. 2. Перерізи профілів:

а – прямокутної труби; б – профілю вагонного стояка

Профіль вагонного стояка характеризується такими показниками: $W_x = 116,35 \text{ см}^3$, $W_y = 117,54 \text{ см}^3$, маса 1 метра погонної довжини – $m_{\text{пог.}} = 28,71 \text{ кг}$. Тому в цій задачі $[W_x] = 116,35 \text{ см}^3$, $[W_y] = 117,54 \text{ см}^3$. Як граничні значення зміни прямокутної труби h , b , δ з урахуванням конструкційних особливостей обрані: $h = 6,5 \dots 11 \text{ см}$, $b = 10,5 \dots 15 \text{ см}$, $\delta = 0,4 \dots 1,3 \text{ см}$; а як $h_{\text{крок}} = 0,5 \text{ см}$, $b_{\text{крок}} = 0,5 \text{ см}$, $\delta_{\text{крок}} = 0,1 \text{ см}$. У такій постановці загальна кількість можливих варіантів поєднань h , b , δ з урахуванням зазначених границь варіювання та кроків дорівнює $N = 1\,000$ варіантів. З урахуванням зазначеного було розроблено таблицю, у якій прораховано всі можливі $1\,000$ варіантів. Після чого із них відсортовано $W_x^i \geq 116,35 \text{ см}^3$ і з варіантів (116 варіантів), які задовольнили зазначену умову, сформовано БД робочих варіантів. З'ясовано, що всі 116 варіантів задовольняють умову $W_y^i \geq 117,54 \text{ см}^3$. Після сортування від мінімального до максимального значення робочих варіантів за величиною $m_{\text{пог.}}$ визначено найкращий варіант з оптимальними значеннями h , b ,

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

δ : $h^* = 11$ см, $b^* = 15$ см, $\delta^* = 0,7$ см, при яких $W_x = 118,8$ см³, $W_y = 142,54$ см³, маса 1 метра погонної довжини – $m_{\text{порг}} = 26,55$ кг.

Для перевірки отриманого результату в програмному комплексі було розроблено профіль прямокутної труби (рис. 3) з показниками $h^* = 11$ см, $b^* = 15$ см, $\delta^* = 0,7$ см.

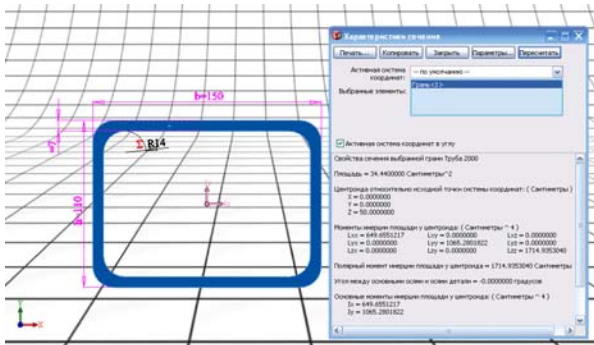


Рис. 3. Профіль прямокутної труби при перевірці отриманого результату

Порівняння отриманих характеристик з їх розрахованими значеннями підтверджує правильність виконаних досліджень. До того ж правильність отриманих результатів підтверджують дослідження із застосуванням MathCAD для визначення оптимальних геометричних параметрів складових елементів вантажних вагонів на основі узагальнених математичних моделей.

Впровадження результатів виконаних та наведених як приклад досліджень дозволить знизити тару та відповідно підвищити вантажопідйомність напіввагона майже на 100 кг при покращенні міцнісних характеристик. З урахуванням масовості парку універсальних напіввагонів це забезпечить значний економічний ефект під час їх виготовлення (зниження матеріаломісткості) та експлуатації (підвищення маси вантажу, що перевозиться, при незмінній кількості вагонів у складі поїзда).

Висновки

Наведений приклад використання запропонованого алгоритму засвідчив його працездатність та ефективність. Слід зауважити, що описаний підхід орієнтований на застосування поширених програмних комплексів (наприклад, Microsoft Excel), які використовуються технічними службами більшості підприємств, і не потребує додаткових капіталовкладень (придбання спеціалізованих програм та відповідного на-

вчання технічного персоналу), що додатково підтверджує правильність спрямування науково-дослідних робіт.

Цей алгоритм може бути використаний під час вирішення інших відповідних оптимізаційних задач на основі УММ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горобець, В. Л. Модель вносливості матеріалів и конструкцій с учетом еволюції їх механічних характеристик / В. Л. Горобець, Ю. И. Саввін // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 21. – С. 7–15.
2. Горобець, В. Л. Оцінка коефіцієнтів запаса вносливості и еквівалентних по руйнівній здатності циклічних напружень по даним натурних испытаний подвижного состава / В. Л. Горобець // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2003. – Вип. 1. – С. 116–122.
3. Данько, М. І. Удосконалення організаційно-технологічної моделі використання вантажних вагонів різної форми власності на залізницях України / М. І. Данько, Д. В. Ломотьюко, В. В. Кулешов // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Х., 2012. – Вип. 129. – С. 5–11.
4. Мороз, В. І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» / В. І. Мороз, В. В. Фомін, О. В. Фомін // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Х., 2008. – Вип. 99. – С. 72–81.
5. Мороз, В. І. Модернізація стійки вертикальної стіни бокової універсальних напіввагонів вітчизняного виробництва / В. І. Мороз, О. В. Фомін // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Х., 2011. – Вип. 123. – С. 196–201.
6. Мороз, В. І. Формалізоване описання конструкції залізничних вантажних вагонів / В. І. Мороз, О. В. Фомін // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Х., 2009. – Вип. 107. – С. 173–179.
7. Фомін, О. В. Визначення перспективних напрямків проектування несучих систем у вантажному вагонуобудуванні / О. В. Фомін // Східно-Європейський журн. передових технологій. – 2012. – № 3/7 (57). – С. 32–35.
8. Фомін, О. В. Модернізація елементів стіни бокової універсальних напіввагонів вітчизняного виробництва / О. В. Фомін // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Донецьк, 2011. – Вип. 26. – С. 111–115.
9. Фомін, О. В. Розробка методики впровадження різних профілів в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів / О. В. Фомін // Вісн. НТУ «ХП». – Х., 2012. – Вип. 26. – С. 29–33.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

10. Фомін, О. В. Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва : монографія / О. В. Фомін. – Донецьк : ДонІЗТ УкрДАЗТ, 2013. – 251 с.
11. Vox, M. J. Non-Linear Optimization Techniques / M. J. Vox, D. Davies, W. H. Swann. – Edinburg : Oliver and Boyd, 1972. – 60 p.
12. Global Optimization, Algorithms Nonlinear Optimization: Theory and Algorithms / F. Archetti, G. P. Szego, L. C. W. Dixon et al. – Boston : Birkhauser, 1980. – 415 p.
13. Roth, K. Algorithmisches Auswahlverfahren Zur Konstruktion mit Katalogen / K. Roth, H. Franke, R. Simolek // Feinwerktechnik. – 1971. – № 75. – P. 337–345.

А. В. ФОМИН^{1*}

^{1*}Каф. «Подвижной состав железных дорог», Донецкий институт железнодорожного транспорта Украинской государственной академии железнодорожного транспорта, ул. Артема, 184, Донецк, Украина, 83018, тел. +38 (067) 813 97 88, эл. почта fomin1985@list.ru

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОСТАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Цель. Представление особенностей и примера использования предложенного алгоритма определения оптимальных геометрических параметров составных элементов грузовых вагонов на основе обобщенных математических моделей, который реализуется на персональном компьютере. **Методика.** Разработанный подход к отысканию оптимальных геометрических параметров можно охарактеризовать как определение оптимального решения из выделенной совокупности возможных вариантов. **Результаты.** Представленный пример применения предложенного алгоритма засвидетельствовал его работоспособность и эффективность использования. **Научная новизна.** В работе формализована процедура определения оптимальных геометрических параметров составных элементов грузовых вагонов на основе обобщенных математических моделей. **Практическая значимость.** Практическое внедрение результатов исследований для универсальных полувагонов позволит снизить тару их конструкции и, соответственно, повысить грузоподъемность почти на сто килограмм при улучшении прочностных характеристик, что, с учетом массовости их парка, обеспечит значительный экономический эффект при их изготовлении и эксплуатации. Предложенный подход ориентирован на использование распространенных программных комплексов (например, Microsoft Excel), которые используются техническими службами большинства предприятий, и не требует дополнительных капиталовложений (приобретения специализированных программ и соответствующего обучения технического персонала). Это дополнительно аргументирует правильность направления научно-исследовательских работ. Предложенный алгоритм может быть использован при решении других соответствующих оптимизационных задач на основе обобщенных математических моделей.

Ключевые слова: оптимальные параметры; составные элементы вагонов; грузовые вагоны; обобщенные математические модели

O. V. FOMIN^{1*}

^{1*}Dep. «Rolling Stock of Railways», Donetsk Institute of Railway Transport of the Ukrainian State Academy of Railway Transport, Artem St., 184, Donetsk, Ukraine, 83018, tel. +38 (067) 813 97 88, e-mail fomin1985@list.ru

DETERMINATION ALGORITHM OF OPTIMAL GEOMETRICAL PARAMETERS FOR COMPONENTS OF FREIGHT CARS ON THE BASIS OF GENERALIZED MATHEMATICAL MODELS

Purpose. Presentation of features and example of the use of the offered determination algorithm of optimum geometrical parameters for the components of freight cars on the basis of the generalized mathematical models, which is realized using computer. **Methodology.** The developed approach to search for optimal geometrical parameters can be described as the determination of optimal decision of the selected set of possible variants. **Findings.** The presented

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

application example of the offered algorithm proved its operation capacity and efficiency of use. **Originality.** The determination procedure of optimal geometrical parameters for freight car components on the basis of the generalized mathematical models was formalized in the paper. **Practical value.** Practical introduction of the research results for universal open cars allows one to reduce container of their design and accordingly to increase the carrying capacity almost by 100 kg with the improvement of strength characteristics. Taking into account the mass of their park this will provide a considerable economic effect when producing and operating. The offered approach is oriented to the distribution of the software packages (for example Microsoft Excel), which are used by technical services of the most enterprises, and does not require additional capital investments (acquisitions of the specialized programs and proper technical staff training). This proves the correctness of the research direction. The offered algorithm can be used for the solution of other optimization tasks on the basis of the generalized mathematical models.

Keywords: optimal parameters; components of cars; freight cars; generalized mathematical models

REFERENCES

1. Gorobets V.L., Savvin Yu.I. Model vynoslivosti materialov i konstruktсий s uchetom evolyutsii ikh mekhanicheskikh kharakteristik [Hardness model of materials and structures, taking into account the evolution of their mechanical properties]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 21, pp. 7-15.
2. Gorobets V.L. Otsenka koeffitsientov zapasa vynoslivosti i ekvivalentnykh po razrushayushchey sposobnosti tsiklicheskikh napryazheniy po dannym naturnykh ispytaniy podvizhnogo sostava [Evaluation of safety coefficient for strength and equivalent in destructive power of cyclic stresses according to field tests of the rolling stock]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, issue 1, pp. 116-122.
3. Danko M.I., Lomotko D.V., Kuleshov V.V. Udoskonalennia orhanizatsiino-tekhnologichnoi modeli vykorystannia vantazhnykh vahoniv riznoi formy vlasnosti na zaliznytsiakh Ukrainy [Improvement of the organizational and technological use model of freight cars of various forms on the railways of Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainiskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu* [Proc. of Ukrainian State Academy of Railway Transport], Kharkiv, 2012, issue 129, pp. 5-11.
4. Moroz V.I., Fomin V.V., Fomin O.V. Vyznachennia perspektyvnykh napriamkiv udoskonalennia konstruktсий napivvahoniv vyrobnytstva DP «Ukrspetsvagon» [Determination of the promising direction for improvement of the open car design of SE "Ukrspetsvagon"]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainiskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu* [Proc. of Ukrainian State Academy of Railway Transport], Kharkiv, 2008, issue 99, pp. 72-81.
5. Moroz V.I., Fomin O.V. Modernizatsiia stiiky vertykalnoi stiny bokovoi universalnykh napivvahoniv vitchyznianoho vyrobnytstva [Modernization of the vertical wall stand of the side of the universal open car of domestic production]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainiskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu* [Proc. of Ukrainian State Academy of Railway Transport], Kharkiv, 2011, issue 123, pp. 196-201.
6. Moroz V.I., Fomin O.V. Formalizovane opysannia konstruktсий zaliznychnykh vantazhnykh vahoniv [Formal description for construction of the railway freight cars]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainiskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu* [Proc. of Ukrainian State Academy of Railway Transport], Kharkiv, 2009, issue 107, pp. 173-179.
7. Fomin O.V. Vyznachennia perspektyvnykh napriamkiv proektuvannia nesuchykh system u vantazhnomu vahonobuduvanni [Determination of the promising directions for designing of supporting systems in the freight car building]. *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnologii – East European Journal of Advanced Technologies*, 2012, no. 3/7 (57), pp. 32-35.
8. Fomin O.V. Modernizatsiia elementiv stiny bokovoi universalnykh napivvahoniv vitchyznianoho vyrobnytstva [Modernization of the wall elements of the universal open cars side of the domestic production]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu* [Proc. of Donetsk Institution of Railway Transport], Donetsk, 2011, issue 26, pp. 111-115.
9. Fomin O.V. Rozrobka metodyky vprovadzhennia riznykh profiliv v yakosti skladovykh elementiv nesuchykh system vantazhnykh vahoniv [Development of methodology for the implementation of different profiles as the components of supporting systems of freight cars]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut»* [Bulletin of National Technical University "Kharkiv Polytechnic University"], 2012, issue 26, pp. 29-33.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

10. Fomin O.V. *Optymizatsiine proektuvannia elementiv kuzoviv zaliznychnykh napivvahoniv ta orhanizatsiia yikh vyrobnytstva* [Optimization design of the body elements of railway open cars and the organization of their production]. Donetsk, DonIZT UkrDAZT Publ., 2013. 251 p.
11. Box M.J., Davies D., Swann W.H. *Non-Linear Optimization Techniques*. Edinburg, Oliver and Boyd Publ., 1972. 60 p.
12. F. Archetti, G. P. Szego, L. C. W. Dixon, E. Spedicato, G.P. Szego. *Global Optimization, Algorithms Nonlinear Optimization: Theory and Algorithms*. Boston, Birkhauser Publ., 1980. 415 p.
13. K. Roth, H. Franke, R. Simolek. *Algorithmisches Auswahlverfahren Zur Konstruktion mit Katalogen*. *Feinwerktechnik*, 1971, no. 75, pp. 337-345.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М. М. Чепцовим (Україна); д.т.н., проф. С. В. Мямліним (Україна)

Надійшла до редколегії 21.08.2013

Прийнята до друку 24.10.2013