

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.463.65.02 – 047.37

О. В. ФОМІН^{1*}

^{1*}Каф. «Рухомий склад залізниць», Донецький інститут залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту, вул. Артема, 184, Донецьк, Україна, 83122, тел. +38 (067) 813 97 88, ел. пошта fomin1985@list.ru, ORCID 0000-0003-2387-9946

АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ШЕСТИГРАННИХ ПОРОЖНИСТИХ ПРОФІЛІВ ЯК СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ НЕСУЧИХ СИСТЕМ НАПІВВАГОНІВ

Мета. Дослідження спрямоване на представлення особливостей та результатів проведених робіт із визначення доцільності впровадження шестигранних порожнистих профілів у якості складових елементів сучасних несучих систем залізничних напіввагонів. **Методика.** При проведенні дослідження використана раніше розроблена автором методика впровадження різних профілів як альтернативи існуючим виконанням несучих елементів модуля кузова вантажного вагону. Вона орієнтована на зниження матеріалоемності досліджуваної конструкції вагону при забезпеченні вимог міцності та експлуатаційної надійності. Розроблена методика включає процедури розрахунку допустимих значень моментів опору перерізу впроваджуваного шестигранного порожнистого профілю та визначення оптимальних (характеризуються мінімальною матеріалоемністю при виконанні умов міцності) значень висоти та мінімальної товщини стінки профілю в умовах конструкційних обмежень. При цьому допустимі моменти опорів розраховуються як такі, що дорівнюють значенням існуючого виконання несучого елемента або як визначений з урахуванням надлишкових конструкційних резервів. У даній роботі застосований перший напрямок. **Результати.** В результаті проведених досліджень виявлено доцільність впровадження шестигранного порожнистого профілю в якості вертикальних стійок стін бокових та горизонтальних поясів стін торцевих напіввагонів, визначені оптимальні параметри таких замінів. **Наукова новизна.** У роботі вперше розглянуто питання доцільності використання шестигранних порожнистих профілів в якості несучих елементів кузовів напіввагонів. Для вирішення цього питання розроблено математичні моделі, які описують залежність основних міцнісних та масових показників відповідних профілів від варіювання геометричних параметрів, а також допоміжний графік. **Практична значимість.** Практичне впровадження результатів проведених досліджень для універсальних напіввагонів дозволить знизити їх тару та відповідно підвищити вантажопідйомність майже на сто кілограмів при виконанні вимог міцності та експлуатаційної надійності. Це (з урахуванням масовості парку) забезпечить значний економічний ефект при їх виготовленні та експлуатації. Розроблені та представлені у статті матеріали можуть бути використані при розгляді та вирішенні аналогічних завдань для других типів вантажних вагонів, а також інших засобів транспортного машинобудування. За результатами виконаних робіт подано заявку на винахід України.

Ключові слова: напіввагони; складові елементи несучих систем; шестигранний порожнистий профіль

Вступ

Ефективність функціонування та конкурентоздатність залізничного транспорту значною мірою залежить від рівня експлуатаційних витрат на рухомий склад. При цьому переважну більшість рухомого складу залізниць України (як і в інших країнах СНД) складає парк вантажних вагонів, який, в свою чергу, більш ніж на третину сформовано морально та фізично застарілими напіввагонами. Тому до пріоритетних напрямків розвитку залізничного транспорту, які визначено в основних положеннях Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року № 1555-р.) та

doi 10.15802/stp2014/33403

Комплексної програми оновлення залізничного рухомого складу України на 2008–2020 роки (розпорядження Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2008 року № 1259) віднесено зниження початкової вартості та підвищення коефіцієнта тари напіввагонів. Вирішити поставлене завдання можливо шляхом модернізації існуючих базових моделей напіввагонів чи впровадження у виробництво принципово нових їхніх конструкцій.

Розроблення та впровадження у виробництво нової моделі напіввагонів є дуже відповідальний та важливий етап у вирішенні проблеми перспективного розвитку залізничного транспорту. Тому концепції проведення науково-технічної

© О. В. Фомін, 2014

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

політики в області створення нових конструкцій напіввагонів (так само, як і іншого рухомого складу) зумовлює їх розробку на основі застосування альтернативних підходів [1, 2] з виконанням аналізу різних варіантів рішень, тобто створення конкурентного середовища не тільки під час виробництва вагонів, а і на проектувальних та передпроектувальних стадіях. Сказане аргументує актуальність та важливість здійснення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з відшукування потенційних технічних рішень для удосконалення конструкцій напіввагонів. У ході виконання таких робіт було проаналізовано [8–10] накопичений досвід вирішення аналогічних питань у інших галузях транспортного машинобудування. Результати аналізу вказали на перспективність відшукування альтернативних виконань несучих систем напіввагонів із сталевих порожнистих профілів.

В рамках виконання таких робіт автором була формалізована методика [9] впровадження різних варіантів виконань несучих систем вантажних вагонів, ключові моменти якої наведено нижче. У ході попередніх досліджень з впровадження порожнистих профілів [8–10] як несучі елементи конструкцій напіввагонів були розглянуті круглі, прямокутні та D-подібні труби (рис. 1, а, б).

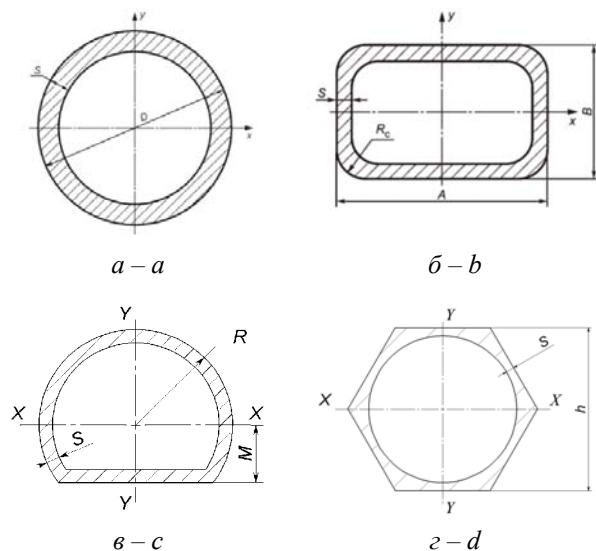


Рис. 1. Перерізи досліджуваних порожнистих профілів:

а – кругла труба; б – прямокутна труба; в – напівтруба (D-подібна труба); г – шестигранний порожнистий профіль

Fig. 1. Cross sections of hollow profiles under study

Результати таких робіт вказали на доцільність подальшого розвитку напрямку впровадження порожнистих профілів. Наступним етапом виконання робіт є розгляд перспективності впровадження шестигранних порожнистих профілів (рис. 1, г), які характеризуються зручністю їх з'єднання з іншими елементами конструкцій напіввагонів за рахунок існування зовнішніх плоских граней, а також покращеними міцнісними властивостями за рахунок круглого внутрішнього перерізу. Проте аналіз значної кількості відповідної до досліджуваного питання літератури вказав на необхідність розроблення математичних залежностей (моделей), які описуватимуть залежність основних міцнісних (моменти опору W_x та W_y) та масового (погонна маса $m_{пог}$) показників таких профілів від варіювання геометричних параметрів h та S (рис. 1, г).

Мета

В статті подано особливості та результати виконаного аналізу доцільності застосування шестигранних порожнистих профілів як складових елементів несучих систем напіввагонів.

Методика

У загальному вигляді процедуру впровадження шестигранних порожнистих профілів можна подати такими ключовими етапами:

1 етап – визначення допустимих значень моментів опору перерізу впроваджуваного шестигранного порожнистого профілю, що здійснюється за допомогою одного із нижче наведених методів [4]. Метод перший включає визначення W_x та W_y існуючого виконання несучого елемента, на основі чого визначаються $[W_x]$, $[W_y]$. Другий метод є більш перспективним, тому що направлений на визначення та ефективне використання розрахункових резервів міцності з відповідним зниженням матеріалоемності досліджуваного елемента. Для реалізації другого напрямку необхідно комплексно досліджувати роботу елемента [3, 5, 7, 6], що розглядається у сприйнятті експлуатаційних навантажень (відповідно до I, II та III розрахункових режимів Норм). Зазначене на сучасному рівні доцільно здійснювати шляхом дослідження відповідної адекватної розрахункової скінченно-елементної моделі кузова напіввагона. При виявленні розрахункових резервів міцності конструкції (визна-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

чаються як співвідношення отриманих максимальних експлуатаційних характеристик міцності з їх допустимими значеннями), розраховуються допустимі показники міцності $[W_x]$, $[W_y]$.

2 етап – включає виконання робіт з визначення оптимальних (характеризуються мінімальною матеріалоемністю при виконанні умов міцності) значень висоти h^* (рис. 1, в) та мінімальної товщини стінки S^* профілю, в умовах конструкційних обмежень. На сьогодні для успішної реалізації таких робіт необхідно розробити та сумісно дослідити математичні моделі, які описують зміну моментів опору перерізу напівтруби W_x , W_y та погонної її маси $m_{пог}$ від варіювання h та S . Для визначення математичних моделей та відшукування за їх допомогою оптимальних геометричних параметрів h^* та S^* доцільно використовувати розроблений алгоритм визначення оптимальних геометричних параметрів складових елементів вантажних вагонів на основі узагальнених математичних моделей [4] або розробити допоміжний графік рівних значень [11–13].

Результати

Під час дослідження як $[W_x]$, $[W_y]$ були взяті значення існуючих виконань несучих елементів. Як досліджувані несучі елементи напіввагонів обрано (рис. 2 та рис. 3):

- обв'язування верхнє, яке виконано із гнutoго профілю прямокутного перерізу розміром $140 \times 110 \times 7$ мм, звареного по перерізу у коробку;
- вертикальні стійки стін бокових і горизонтальні пояси та стійки середні стін торцевих, які виконано із профілю вагонної стійки (профіль ГОСТ 5257.6-90);
- хребтову балку, яку виконано з двох зварювальних між собою Z-подібних профілів № 31 (ГОСТ 5267.3);
- шворневу балку коробчастого перерізу;
- лобову балку коробчастого перерізу;
- проміжну балку із листового металу.



Рис. 2. Загальний вигляд кузова напіввагона

Fig. 2. General view of the open car body

doi 10.15802/stp2014/33403

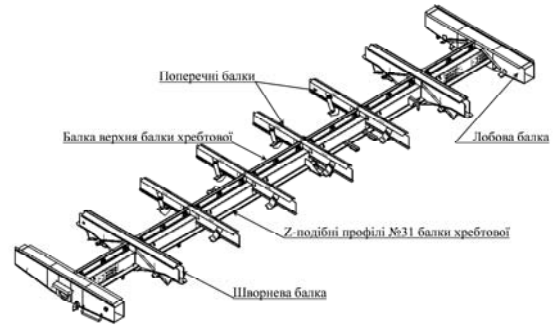


Рис. 3. Загальний вигляд рами напіввагона

Fig. 3. General view of the gondola car frame

У табл. 1 наведені визначені раніше [8–10] значення основних характеристик вищеперелічених елементів.

Таблиця 1

Table 1

№ пор.	Назва конструкційного елементу	Момент опору елементу, см^3	Момент опору елементу, см^3	Погонна маса, $\text{кг/метр погонної довжини}$	Загальна довжина на вагон, м
1	Існуюче виконання обв'язувань верхніх стін бокових та торцевих напіввагонів (профіль $140 \times 110 \times 7$ мм)	$W_x = 104,6$	$W_y = 121,4$	24,7	31,3
2	Аналог із шестигранного профілю ($h = 144,5$ мм, $S = 0,4$ мм)	$W_x = 122,2$	$W_y = 105,8$	26,7	31,3
3	Вагонна стійка	$W_x = 116,4$	$W_y = 117,6$	28,7	45,5
4	Аналог із шестигранного профілю ($h = 143,5$ мм, $S = 0,4$ мм)	$W_x = 119,9$	$W_y = 103,9$	26,6	45,5

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Закінчення табл. 1

End of Table 1

№ пор.	Назва конструкційного елемента	Момент опору елемента, см ³	Момент опору елемента, см ³	Погонна маса, кг/метр погонної довжини	Загальна довжина на вагон, м
5	Два зварювальних між собою Z-подібні профілі № 31	$W_x = 1\,994,35$	$W_y = 1\,791,91$	133,04	12,67
6	Аналог із шестигранного профілю ($h = 425$ мм, $S = 0,4$ мм)	$W_x = 2\,012,5$	$W_y = 1\,743$	154,9	12,67
7	Лобова балка (сер.)	$W_x = 619,74$	$W_y = 602,36$	64,39	6
8	Аналог із шестигранного профілю ($h = 275$ мм, $S = 0,4$ мм)	$W_x = 691,7$	$W_y = 599$	74,1	6
9	Шворнева балка (сер.)	$W_x = 1\,356,31$	$W_y = 445,44$	90,72	6
10	Аналог із шестигранного профілю ($h = 360$ мм, $S = 0,4$ мм)	$W_x = 1\,355,3$	$W_y = 1\,171,5$	116,4	6
11	Проміжна балка	$W_x = 332,89$	$W_y = 44,08$	36,89	24
12	Аналог із шестигранного профілю ($h = 209$ мм, $S = 0,4$ мм)	$W_x = 336,24$	$W_y = 291,2$	47,6	24

В подальшому за допомогою розроблених математичних моделей (формули 1–3) [4] та аналізу відповідних допоміжних графіків (при-

клад рис. 4) були визначені оптимальні значення висоти h^* та мінімальної товщини S^* для досліджуваних елементів несучих систем. Отримані дані занесені до табл. 1. В результаті розгляду отриманих значень з'ясовано, що впровадження шестигранного порожнистого профілю доцільно як вертикальні стійки стін бокових та горизонтальних поясів і стійок середніх стін торцевих. В такому випадку буде досягнуте зниження матеріалоемності загальної конструкції при виконанні вимог міцності. В інших випадках аналоги існуючих виконань несучих елементів із шестигранних профілів будуть важчими.

Наукова новизна та практична значимість

Відповідно до вищезазначених етапів були визначені математичні моделі варіювання основних показників (моменти опору перерізу шестигранного порожнистого профілю W_x , W_y та його погонної маси m_{noz}) від зміни геометричних параметрів (висоти h^* (рис. 1, в) та мінімальної товщини стінки S^*):

$$m_{noz} = -(1,777E - 08) + (3,900E - 09)h - (3E - 08)S + 0,06289h^2 - 2,45044S^2 + 2,4504hS; \quad (1)$$

$$W_x = 171,774 - 30,814h - 115,56S + 1,5836h^2 - 28,6643S^2 + 20,042hS; \quad (2)$$

$$W_y = 148,779 - 26,691h - 100,08S + 1,37163h^2 - 24,8238S^2 + 17,357hS. \quad (3)$$

Результати перевірки адекватності вищеведених математичних моделей вказали на їх адекватність та можливість подальшого застосування.

На основі визначених математичних моделей 1–3 було розроблено допоміжний графік (рис. 4) для визначення оптимальних значень змінних параметрів.

Для перевірки працездатності впроваджуваних технічних рішень була розроблена комп'ютерна геометрична просторова модель прототипу напіввагона (рис. 5). При її створенні було прийнято до впровадження виконання стійок вертикальних стін бокових та горизонтальних

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

поясів і стійок середніх стін торцевих із шестигранного порожнистого профілю.

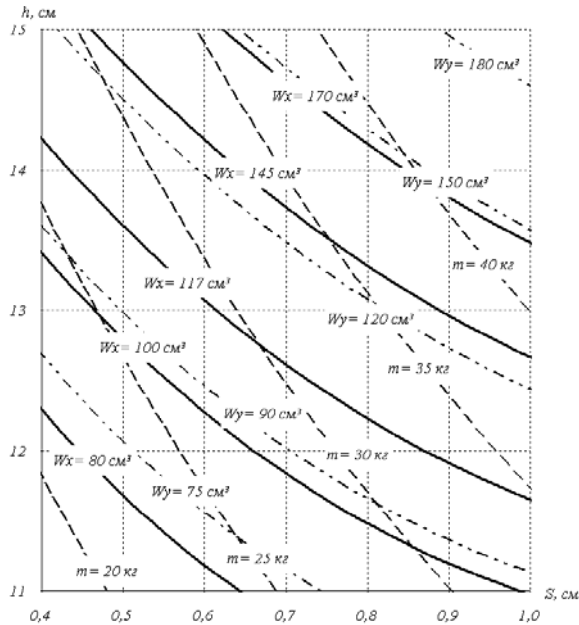


Рис. 4. Допоміжний графік до визначення оптимальних значень перерізу шестигранного порожнистого профілю:

- лінії рівних значень $m_{\text{ног.}} = f(h, S)$;
- лінії рівних значень $W_x = f(h, S)$;
- . - . лінії рівних значень $W_y = f(h, S)$

Fig. 4. Auxiliary graph to determine the optimal values of hexagonal hollow profile section

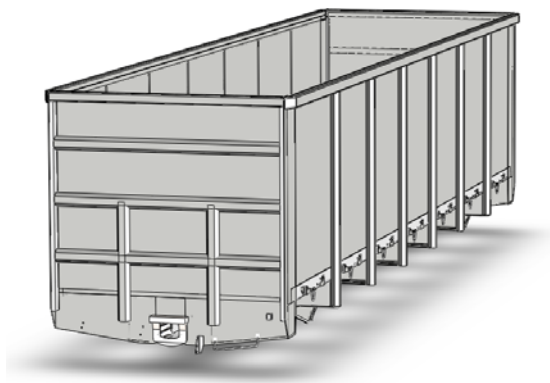


Рис. 5. Просторова геометрична комп'ютерна модель прототипу напіввагона з несучою системою із шестигранних порожнистих профілів

Fig. 5. Spatial geometric computer model of the gondola car prototype with the supporting system with hexagonal hollow profiles

Результати аналізу наведеної та представленної на рис. 5 комп'ютерної моделі засвідчили доцільність виконаних робіт та перспективність їх подальшого розгортання. Так було з'ясовано, що впровадження наведеного на рис. 5 виконання конструкції напіввагона дозволить знизити його тару майже на 100 кг з відповідним підвищенням вантажопідйомності при забезпеченні умов міцності та експлуатаційної надійності.

Висновки

Результати виконаних та поданих у статті досліджень підтверджують доцільність використання як несучих елементів вантажних вагонів порожнистих профілів. Так впровадження розглянутих у статті, як приклад, технічних рішень дозволить знизити собівартість виготовлення та експлуатації залізничного напіввагона, за рахунок зниження його матеріалоемності, і відповідного збільшення вантажопідйомності при виконанні умов міцності та експлуатаційної надійності, що з урахуванням масовості їх парку забезпечить значний економічний ефект при їх виготовленні та експлуатації.

За результатами робіт подано заявку на винахід.

Наведені матеріали можуть використовуватися під час виконання аналогічних робіт з удосконалення несучих систем інших типів вантажних вагонів та засобів транспортного машинобудування. Вони є основою для виконання подальших науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з реалізації розглянутого актуального та важливого для залізничного транспорту України напрямку поліпшення техніко-економічних показників вантажних вагонів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горобец, В. Л. Модель выносливости материалов и конструкций с учетом эволюции их механических характеристик / В. Л. Горобец, Ю. И. Саввин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 21. – С. 7–15.
2. Горобец, В. Л. Оценка коэффициентов запаса выносливости и эквивалентных по разрушающей способности циклических напряжений по данным натурных испытаний подвижного состава / В. Л. Горобец // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 1. – С. 116–122.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

3. ГОСТ 26725-97. Полувагоны четырехосные универсальные магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия. – Киев : Госстандарт Украины, 1999. – 13 с.
4. Ермаков, С. М. Математическая теория оптимального эксперимента / С. М. Ермаков, А. А. Жиглявский. – Москва : Наука, 1987. – 320 с.
5. НБ ЖТ ЦВ 01-98. Вагоны грузовые железнодорожные. Нормы безопасности. МПС Россия. – Москва : ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1998. – 17 с.
6. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – Москва : ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1983. – 260 с.
7. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – Москва : ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 354 с.
8. Фомін, О. В. Алгоритм визначення оптимальних геометричних параметрів складових елементів вантажних вагонів на основі узагальнених математичних моделей / О. В. Фомін // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 6 (48). – С. 140–146.
9. Фомін, О. В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів : монографія / О. В. Фомін. – Київ : ДЕДУТ, 2014. – 299 с.
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. Damage calculation and fatigue life prediction for freight car body / F. Zhao, J. Xie, Y. Yuan, X. Shi // *Advanced Materials Research*. – 2013. – Vol. 652–654. – P. 1357–1361. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.652-654.1357.
12. Konyukhov, A. D. Properties of welds of sheets, made of 1565ch (1565) alloy, applied to the bodies of freight cars / A. D. Konyukhov, A. M. Drits, A. K. Shurtakov // *Tsvetnye Metally*. – 2014. – № 3. – P. 71–76.
13. Zhao, F. Influence of small stress cycles on the fatigue damage of C70E car body / F. Zhao, J. Xie // *J. of Mechanical Engineering*. – 2014. – Vol. 50. – Iss. 10. – P. 121–126. doi: 10.3901/jme.2014.10.121.

А. В. ФОМИН^{1*}

^{1*}Каф. «Подвижной состав железных дорог», Донецкий институт железнодорожного транспорта Украинской государственной академии железнодорожного транспорта, ул. Артема, 184, Донецк, Украина, 83122, тел. +38 (067) 813 97 88, эл. почта fomin1985@list.ru, ORCID 0000-0003-2387-9946

АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШЕСТИГРАННЫХ ПОЛЫХ ПРОФИЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ СОСТАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩИХ СИСТЕМ ПОЛУВАГОНОВ

Цель. Исследование направлено на представление особенностей и результатов проведенных работ по определению целесообразности внедрения шестигранных полых профилей в качестве составных элементов современных несущих систем железнодорожных полувагонов. **Методика.** При проведении исследования использована ранее разработанная автором методика внедрения разных профилей как альтернативы существующим исполнениям несущих элементов модуля кузова грузового вагона. Она ориентирована на снижение материалоемкости исследуемой конструкции вагона при обеспечении требований прочности и эксплуатационной надежности. Разработанная методика включает процедуры расчета допустимых значений моментов сопротивления сечения внедряемого шестигранного полого профиля и определения оптимальных (характеризуются минимальной материалоемкостью при выполнении условий прочности) значений высоты и минимальной толщины стенки профиля в условиях конструкционных ограничений. При этом допустимые моменты сопротивления рассчитываются как такие, которые равняются значением существующего выполнения несущего элемента или как определенные с учетом избыточных конструкционных резервов. В данной работе применено первое направление. **Результаты.** В результате проведенных исследований обоснована целесообразность внедрения шестигранных полых профилей в качестве вертикальных стоек стен боковых и горизонтальных поясов стен торцевых полувагонов, определены оптимальные параметры таких замен. **Научная новизна.** В работе впервые рассмотрен вопрос целесообразности использования шестигранных полых профилей в качестве несущих элементов кузовов полувагонов. Для решения этого вопроса разработаны математические модели, которые описывают зависимость основных прочностных и массовых показателей соответствующих профилей от варьирования геометрических параметров, а также вспомогательный

doi 10.15802/stp2014/33403

© О. В. Фомін, 2014

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

график. **Практическая значимость.** Практическое внедрение результатов проведенных исследований для универсальных полувагонов позволит снизить их тару и соответственно повысить грузоподъемность почти на сто килограммов при выполнении требований прочности и эксплуатационной надежности. Это с учетом массовости парка обеспечит значительный экономический эффект при их изготовлении и эксплуатации. Разработанные и представленные в статье материалы могут быть использованы при рассмотрении и решении аналогичных заданий для иных типов грузовых вагонов, а также других средств транспортного машиностроения. По результатам выполненных работ подана заявка на изобретение Украины.

Ключевые слова: полувагоны; составные элементы несущих систем; шестигранный полый профиль

O. V. FOMIN

¹*Dep. «Rolling Stock of Railways», Donetsk Institute of Railway Transport of Ukrainian State Academy of Railway Transport, Artem St., 184, Donetsk, Ukraine, 83122, tel. +38 (067) 813 97 88, e-mail fomin1985@list.ru, ORCID 0000-0003-2387-9946

APPLICABILITY ANALYSIS OF HEXAHEDRAL HOLLOW PROFILES AS COMPONENT ELEMENTS OF SUPPORTING SYSTEMS FOR GONDOLA CARS

Purpose. The purpose of work is presentation of features and results of the conducted works on determination of introduction expedience of hexahedral hollow profiles as the component elements of the modern supporting systems of railway freight gondola cars. **Methodology.** During the research an introduction methodology of different types of profiles as alternative to the existent supporting elements of the body module for freight car was used. This methodology had been developed by the author before. It is oriented to the reduction in material consumption and providing of strength requirements and operating reliability of the car design under study. The developed methodology includes the procedures of admissible values calculation of the resistance moments of the section of the hexahedral hollow profile, which is being introduced. It also includes the determination of optimum (i.e. characterized by the minimum material consumption when meeting the durability requirements) values of height and minimum thickness of profile in the conditions of construction limitations. At the same time the admissible resistance moments are calculated as such, which are equal to the value of existent implementation of supporting element or as such that are determined taking into account the surplus design reserve. The first direction is applied in this work. **Findings.** As a result of the conducted research the introduction expedience of hexahedral hollow profiles as vertical rods of the lateral and latitude belts of the walls of the butt-end freight gondola cars is grounded and the optimum parameters of such replacements are determined. **Originality.** The problem of the use expedience of hexahedral hollow profiles as the supporting elements of the freight gondola cars bodies was first considered in the article. To solve this problem the mathematical models describing the dependence of basic strength and mass indexes of the proper profiles on varying the geometrical parameters, as well as the auxiliary graph are developed. **Practical value.** Practical implementation of the results of conducted research for universal freight gondola cars will reduce their empty weight and accordingly increase their lifting capacity for almost 100 kg. upon the implementation of durability and operating reliability requirements. This taking into account the large scale of their park will provide a considerable economic effect at their producing and operation. The materials developed and presented in the article can be used for consideration and solution of analogical tasks for other types of freight cars, and also for other facilities of the transport engineering. According to the results of the work an invention application of Ukraine was applied.

Keywords: gondola cars; component elements of supporting systems; hexahedral hollow profile

REFERENCES

1. Gorobets V.L., Savvin Yu.I. Model vynoslivosti materialov i konstruktsiy s uchetom evolyutsii ikh mekhanicheskikh kharakteristik [Durability model of materials and structures, taking into account the evolution of their mechanical characteristics]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho 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 durability factors and equivalent cyclic stresses according to destroying ability on the field tests of rolling stock]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bul-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

- letin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2003, issue 1, pp. 116-122.
3. *GOST 26725-97. Poluvagony chetyrekhosnyye universalnyye magistralnykh zheleznykh dorog kolei 1520 mm. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya* [State Standard 26725-97. Four-axle universal gondola cars of the mainline railroads with the track 1520 mm]. Kyiv, Gosstandart Ukrainy Publ., 1999. 13 p.
 4. Yermakov S.M., Zhiglyavskiy A.A. *Matematicheskaya teoriya optimalnogo eksperimenta* [Mathematic theory of optimal experiment]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 320 p.
 5. *NB ZhT TsV 01-98. Vagony gruzovyye zheleznodorozhnyye. Normy bezopasnosti. MPS Rossiya* [NB ZhT TsV 01-98. Railway freight cars. Safety Regulations. Ministry of Transportation in Russia]. Moscow, VNIIV-VNIIZhT Publ., 1998. 17 p.
 6. *Normy dlya rascheta i proyektirovaniya novykh i moderniziruyemykh vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)* [The rules for calculation and design of new and modernized railway cars Transportation Ministry with the track 1520 mm (non-self propelled)]. Moscow, VNIIV-VNIIZhT Publ., 1983. 260 p.
 7. *Normy rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)* [The rules for calculation and design of railway cars of Transportation Ministry with the track 1520 mm (non-self propelled)]. Moscow, GosNIIV-VNIIZhT Publ., 1996. 354 p.
 8. Fomin O.V. Alhorytm vyznachennia optymalnykh heometrychnykh parametriv skladovykh elementiv vantazhnykh vahoniv na osnovi uzahalnenykh matematychnykh modelei [Algorithm for determining the optimal geometric parameters of the constituent elements of freight cars based on generalized mathematical models]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 6 (48), pp. 140-146.
 9. Fomin O.V. *Doslidzhennia defektiv ta poskodzhen nesuchykh system zaliznychnykh napivvahoniv* [The study of defects and damages of bearing systems of gondolas]. Kyiv, DETUT Publ., 2014. 299 p.
 10. Fomin O.V. *Optymizatsiine proektuvannia elementiv kuzoviv zaliznychnykh napivvahoniv ta orhanizatsiia yikh vyrobnytstva* [Optimization design of the body elements of railway gondolas and organization of their production]. Donetsk, DonIZT UkrDAZT Publ., 2013. 251 p.
 11. Zhao F., Xie J., Yuan Y., Shi X. Damage calculation and fatigue life prediction for freight car body. *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 652-654, pp. 1357-1361. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.652-654.1357.
 12. Konyukhov A.D., Drits A.M., Shurtakov A.K. Properties of welds of sheets, made of 1565ch (1565) alloy, applied to the bodies of freight cars. *Tsvetnye Metally*, 2014, no. 3, pp. 71-76.
 13. Zhao F., Xie J. Influence of small stress cycles on the fatigue damage of C70E car body. *Journal of Mechanical Engineering*, 2014, vol. 50, issue 10, pp. 121-126. doi: 10.3901/jme.2014.10.121.

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

Надійшла до редколегії: 20.08.2014

Прийнята до друку: 23.10.2014