

УДК 629.463.001.63

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СТІН ТОРЦЕВИХ НАПІВВАГОНІВ

**О.В. Фомін, доцент, к.т.н., Донецький інститут залізничного транспорту
Української державної академії залізничного транспорту, Д.А. Іванченко,
асистент, Українська державна академія залізничного транспорту, м. Харків**

Анотація. Підтверджено можливість та доцільність використання програми MathCAD при визначенні оптимальних геометричних параметрів складових елементів несучих систем вантажних вагонів, базуючись на узагальнених математичних моделях.

Ключові слова: пояс стіни торцевої напіввагонів, оптимізація, геометричні параметри, профіль прямокутної труби, профіль гнутого швелера.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТЕН ТОРЦЕВЫХ ПОЛУВАГОНОВ

**А.В. Фомин, доцент, к.т.н., Донецкий институт железнодорожного транспорта Украинской государственной академии железнодорожного транспорта,
Д.А. Иванченко, ассистент, Украинская государственная академия
железнодорожного транспорта, г. Харьков**

Аннотация. Подтверждены возможность и целесообразность использования программы MathCAD при определении оптимальных геометрических параметров составных элементов несущих систем грузовых вагонов, базируясь на обобщенных математических моделях.

Ключевые слова: пояс стены торцевой полувагонов, оптимизация, геометрические параметры, профиль прямоугольной трубы, профиль гнутого швеллера.

DETERMINATION OF OPTIMAL GEOMETRIC PARAMETERS OF FRONT WALL GONDOLAS

**A. Fomin, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Donetsk Railway
Transport Institute of the Ukrainian State Academy of Railway Transport,
D. Ivanchenko, Assistant, Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkiv**

Abstract. The feasibility of MathCAD program using to determine optimal geometric parameters of the constituent elements of wagons carrying systems based on generalized mathematical models is proved.

Key words: belt end wall of gondolas, optimization, geometric parameters, rectangular tube profile, curved sill profile.

Вступ

Залізничний транспорт складає основу вітчизняного транспортного комплексу і має важливе економічне, соціальне та політичне значення.

Комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008–2020 роки розглядається в якості основної мети – зниження сукупних народногосподарських витрат на залізничні перевезення в результаті проведення комплексу заходів, серед яких – створення противитратного

економічного механізму діяльності підприємств і організацій залізничного транспорту. Основні положення цієї Програми вказують на те, що головної мети можна досягти на основі системного зниження всіх елементів витрат, пов'язаних зі здійсненням залізничних перевезень.

Вітчизняний вагонний парк як переважна частина рухомого складу залізниць є одним з найважливіших компонентів інфраструктури залізничного транспортного механізму України. Отже, вдосконалення конструкцій вагонів, з метою зниження витрат як у сфері їх виробництва, так і у сфері експлуатації, має зробити значний внесок у здійснення структурної реформи залізниць України. Одним з перспективних шляхів вирішення зазначеного завдання є відшукування та впровадження в якості несучих складових елементів вантажних вагонів альтернативних варіантів профілів (замість прокатних профілів), які вагонобудівники зможуть виготовляти на власних заготівельних потужностях. Перспективними варіантами зазначених профілів є: профіль із перерізом прямокутної труби (рис. 1, а) та гнутий швелер (рис. 1, б), виробництво яких є можливим за існуючими технологіями вагонобудівних підприємств.

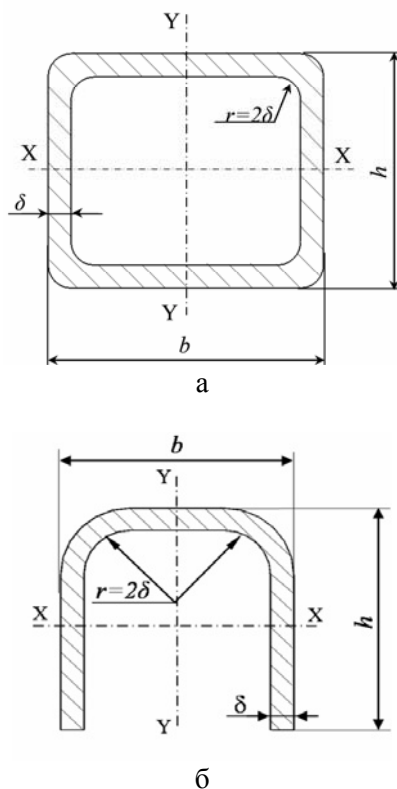


Рис. 1. Перерізи профілів: а – прямокутної труби; б – гнутого швелера

Аналіз публікацій

На сьогодні, за оцінками фахівців [1, 2], найбільш гострою є необхідність розробки та експлуатації універсальних напіввагонів з конкурентоспроможними собівартістю виготовлення та експлуатацією. Вищезазначене аргументує важливість та актуальність спрямування науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт на розробку вітчизняних зразків універсальних напіввагонів, які будуть відповідати вказаним вимогам. Одним з перспективних напрямів вирішення поставленого завдання є впровадження альтернативного (із гнутих профілів) виконання поясів стін торцевих універсальних напіввагонів.

Аналіз сучасного вітчизняного та закордонного (країн СНД) парків напіввагонів вказав на те, що одним із розповсюджених виконань поясів стін торцевих є профіль коробчастого перерізу із двох зварених між собою швелерів 14У ДСТУ 3436 (ГОСТ 8240-97). До того ж зазначений коробчастий профіль достатньо часто використовується і в якості інших конструктивних елементів, наприклад стійок (рис. 2). Альтернативне виконання горизонтальних поясів із гнутих профілів потребує обґрунтування їх геометричних параметрів, які будуть, при виконанні умов міцності, забезпечувати раціональні масо-габаритні показники. Вирішувати зазначене науково-прикладне завдання доцільно з використанням методів теорії оптимізації, реалізуючи системний підхід. Відповідно до зазначеного було проведено роботи з визначення математичних залежностей зміни основних показників (міцносних та масових) перспективних для вагонобудування профілів від варіації геометричних параметрів, результати яких представлені у [3]. Аналіз отриманих математичних моделей дасть можливість визначити оптимальні геометричні параметри (ОГП) за заданих умов на відповідних етапах конструювання.

У роботах [4, 5] представлені результати визначення ОГП на основі аналізу розроблених допоміжних графіків. Надалі для підвищення ефективності проведення науково-дослідних робіт (скорочення часу та автоматизації процедури визначення ОГП) доцільно розробити інструменти, які дозволять аналітично визначити ОГП. Так, одним із перспективних напрямів аналітичного визначення ОГП є за-

стосування інтеграційних підходів на основі використання стандартних універсальних програмних продуктів, у даному випадку MathCAD.



Рис. 2. Варіант виконання стін торцевих універсальних напіввагонів

MathCAD [6, 7] являє собою сукупність різних універсальних програм, які дозволяють розв'язувати різноманітні складні задачі. Але вона має і свої особливості при визначенні оптимуму нелінійної математичної моделі, висвітлення яких є актуальною задачею.

Мета і постановка задачі

Метою роботи є визначення оптимальних геометричних параметрів альтернативних варіантів виконання поясів стін торцевих залізничних напіввагонів на основі узагальнених математичних моделей (УММ) за допомогою програми MathCAD.

Розв'язання оптимізаційної задачі

При розв'язанні поставленої задачі використовуються функції Maximize та Minimize пакета MathCAD. У загальному випадку процедуру визначення ОГП на основі УММ у програмі MathCAD можна описати наступними кроками:

1. Задаємо цільову функцію у вигляді: « $f(x,y,z)= \dots$ », де x, y, z – змінні, від яких залежить функція f . При цьому використовується замість знака « $=$ » знак присвоєння MathCAD « $:=$ ». Цільова функція являє собою рівняння, яке досліджується з метою відшукування таких значень змінних x, y, z , при яких цільова функція буде мінімальною (чи максимальною) залежно від умов задачі;

2. Задаємо початкові значення змінних: x, y, z , з яких MathCAD почне пошук розв'язку. Доцільно задавати початкові значення змінних із мінімальних/максимальних значень діапазону допустимих рішень;

3. Складаємо блок розрахунку MathCAD. Відкриваємо блок функції «Given», після чого вказуємо діапазон варіювання змінних у вигляді: $x_{\min} \leq x \leq x_{\max}, y_{\min} \leq y \leq y_{\max}, z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$. Далі задаємо функції обмежень у вигляді: « $W1(x,y,z...)= \dots$ », « $W2(x,y,z...)= \dots$ », « $W1 \geq (\leq) a$ », « $W1 \geq (\leq) b$ » і т.д., де a та b – значення, задані в умовах задачі. Блок розрахунку завершуємо розробкою функції: « $Minimize(f,x,y,z)=$ », яка розраховує значення змінних x, y, z при яких функція f є мінімальною.

Представлений на рис. 2 переріз А–А характеризується такими показниками: $W_z^{sch} = 140,04 \text{ см}^3$, $W_x^{sch} = 108,19 \text{ см}^3$, маса 1 метра погонного – $m_{\text{пог}}^{sch} = 24,8 \text{ кг}$. Тому в даній задачі для труби прямокутної (рис. 1, а): $[W_y^{tp}] = 140,04 \text{ см}^3$, $[W_x^{tp}] = 108,19 \text{ см}^3$, а для гнутого швелера (рис. 1, б): $[W_x^{shb}] = 140,04 \text{ см}^3$, $[W_y^{shb}] = 108,19 \text{ см}^3$. З урахуванням конструкційних особливостей в якості граничних значень зміни параметрів h, b, δ обрані для труби прямокутної: $h^{tp} = 11\text{--}14 \text{ см}$, $b^{tp} = 12\text{--}14 \text{ см}$, $\delta^{tp} = 0,7\text{--}1 \text{ см}$, а для гнутого швелера: $h^{shb} = 15\text{--}20 \text{ см}$, $b^{shb} = 13\text{--}18 \text{ см}$, $\delta^{shb} = 0,5\text{--}1 \text{ см}$.

У формулах (1)–(3) представлені раніше отримані УММ для профілю прямокутної труби

$$m_{\text{пор}}^{tp} = -3,084 \cdot \delta - (7,105E - 17) \cdot h \cdot b + 1,542 \cdot b \cdot \delta; \quad (1)$$

$$W_x^{tp} = 179,95 - 16,64 \cdot h - 9,7 \cdot b - 207,822 \cdot \delta + 0,237 \cdot h^2 + (9,81E - 4) \cdot b^2 - 60,86 \cdot \delta^2 + 0,696 \cdot h \cdot b + 21,96 \cdot h \cdot \delta + 12,356 \cdot b \cdot \delta; \quad (2)$$

$$W_y^{tp} = 179,95 - 9,7 \cdot h - 16,639 \cdot b - 207,822 \cdot \delta + (9,81E - 4) \cdot h^2 + 0,237 \cdot b^2 - 60,86 \cdot \delta^2 + 0,696 \cdot h \cdot b + 12,35 \cdot h \cdot \delta + 21,96 \cdot b \cdot \delta. \quad (3)$$

У формулах (4)–(6) представлені раніше отримані УММ для гнутого швелера

$$m_{\text{пог}}^{\text{шв}} = (-3,14E - 6) - (1,78E - 17) \cdot h - (2,89E - 15) \cdot b + (7,85E - 6) \cdot \delta - 3,255 \cdot \delta^2 + (1,42E - 16) \cdot h \cdot b + 1,57 \cdot h \cdot \delta + 0,785 \cdot b \cdot \delta; \quad (4)$$

$$W_x^{\text{шв}} = 2345,875 - 127,746 \cdot h - 118,557 \cdot b - 1328,18 \cdot \delta + 1,686 \cdot h^2 + 1,369 \cdot b^2 + 127,04 \cdot \delta^2 + 0,746 \cdot h \cdot b + 12,65 \cdot h \cdot \delta + 19,379 \cdot b \cdot \delta; \quad (5)$$

$$W_y^{\text{шв}} = 199,828 - 10,63 \cdot h - 15,9 \cdot b - 215,839 \cdot \delta + (4,13E - 4) \cdot h^2 + 0,128 \cdot b^2 - 58,638 \cdot \delta^2 + 0,747 \cdot h \cdot b + 12,654 \cdot h \cdot \delta + 19,379 \cdot b \cdot \delta. \quad (6)$$

На рис. 3 та 4 представлено розроблені варіанти розв’язку у MathCAD з отриманими результатами відповідно для профілів прямокутної труби та гнutoго швелера.

Розрахунок у MathCAD показав, що оптимальними геометричними параметрами для труби є: $h^{\text{TP}}=14$ см, $b^{\text{TP}}=12,23$ см, $\delta^{\text{TP}}=0,7$ см, а для швелера: $h^{\text{шв}}=20$ см, $b^{\text{шв}}=18$ см,

$\delta^{\text{шв}}=0,587$ см. З урахуванням існуючої товщини листів оптимальними значеннями будуть для труби прямокутної параметри: $h^{\text{TP}*}=14$ см, $b^{\text{TP}*}=12,23$ см, $\delta^{\text{TP}*}=0,7$ см, при яких $W_x^{\text{TP}} = 140,04$ см³, $W_y^{\text{TP}} = 129,48$ см³, $m_{\text{пог}}^{\text{TP}} = 26,8$ кг; для швелера гнutoго: $h^{\text{шв}*}=20$ см, $b^{\text{шв}*}=18$ см, $\delta^{\text{шв}*}=0,6$ см, при яких $W_x^{\text{шв}} = 144,8$ см³, $W_y^{\text{шв}} = 222,02$ см³, $m_{\text{пог}}^{\text{шв}} = 26,2$ кг.

Для перевірки отриманих результатів розроблено та представлено на рис. 3 та 4 комп’ютерні моделі профілів прямокутної труби та швелера гнutoго з вищезазначеними оптимальними параметрами.

Результати порівняння отриманих характеристик (рис. 3, 4) з їх розрахованими значеннями підтвердили правильність проведених досліджень.

Впровадження запропонованих технічних рішень дозволить знизити собівартість виготовлення та експлуатації напіввагонів, покращити незалежність вагонобудівників від постачальників металопродукції, поліпшити міцнісні характеристики конструкції вагонів за незначної зміни тари.

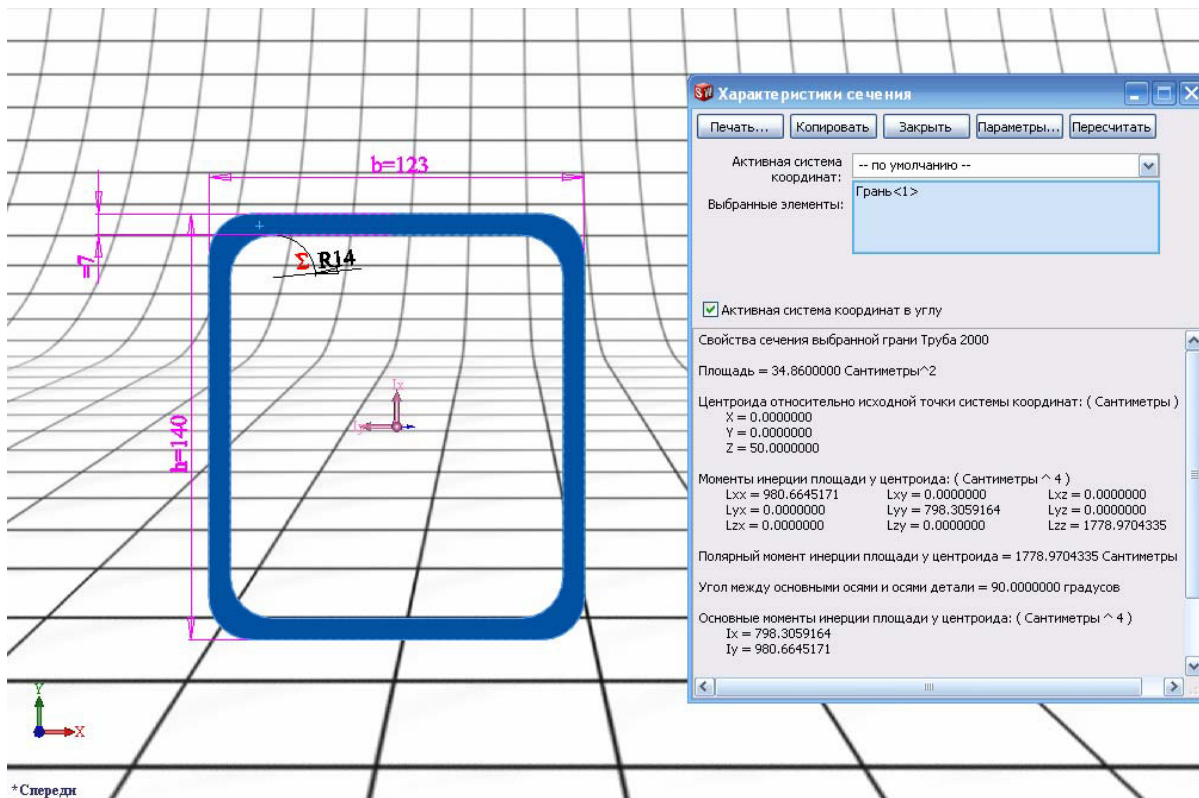


Рис. 3. До перевірки отриманих результатів

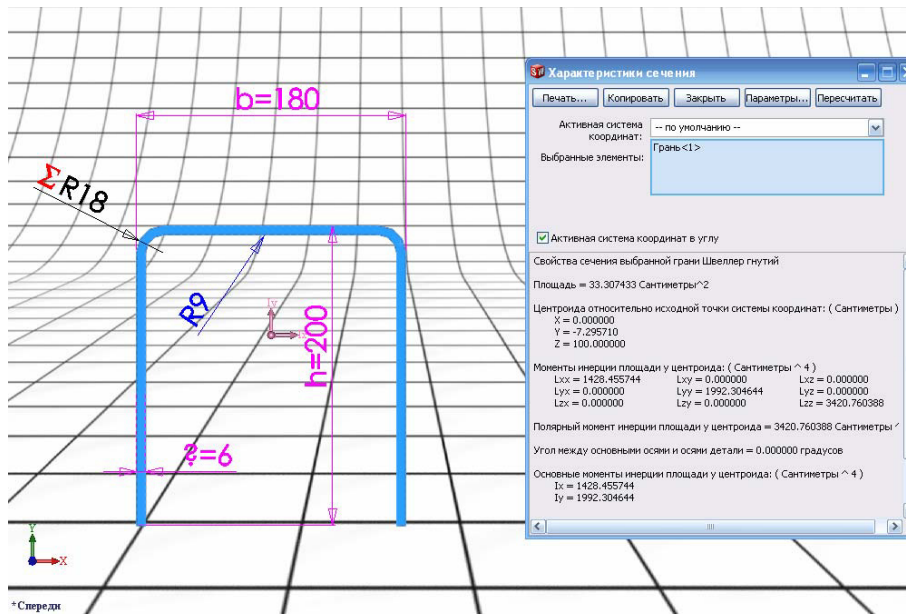


Рис. 4. До перевірки отриманих результатів

Висновки

Результати проведених досліджень засвідчили точність отриманих значень та достатній ступінь автоматизації процесу, чим підтвердили доцільність застосування MathCAD для визначення оптимальних геометричних параметрів складових елементів вантажних вагонів на основі узагальнених математичних моделей.

Представлені у статті результати використання запропонованого підходу засвідчили його працездатність та ефективність, а також правильність спрямування відповідних науково-дослідних робіт.

Запропонований підхід може бути використаний при розв'язанні подібних оптимізаційних задач у науково-дослідній та дослідно-конструкторській практиці у суміжних галузях транспортного машинобудування.

Література

1. Данько М.І. Удосконалення організаційно-технологічної моделі використання вантажних вагонів різної форми власності на залізницях України / М.І. Данько, Д.В. Ломотько, В.В. Кулешов // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2012. – Вип. 129. – С. 5–11.
2. Ломотько Д.В. Современный грузовой подвижной состав нового поколения как

приоритетное направление развития украинских железных дорог / Д.В. Ломотько // Вагонный парк. – 2012. – Вып. 10 (67). – С. 6–7.

3. Фомін О.В. Визначення закономірностей зміни основних показників перспективних профілів для вантажного вагонобудування / О.В. Фомін // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2011. – Вип. 28. – С. 130–135.
4. Мороз В.І. Модернізація стійки вертикальної стіни бокової універсальних напіввагонів вітчизняного виробництва / В.І. Мороз, О.В. Фомін // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2011. – Вип. 123. – С. 196–201.
5. Фомін О.В. Використання профілю з перерізом у вигляді прямокутної труби в якості елементів каркасів кузовів залізничних напіввагонів / О.В. Фомін, В.В. Фомін // Вісник СХУ імені В. Даля. – 2012. – Вип. 3 (174). – С. 244–250.
6. Льянков В.П. MathCAD 11/12/13 в математике / В.П. Льянков. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2007. – 928 с.
7. Бердяев В.Д. Теоретическая механика на базе MathCAD: практикум / В.Д. Бердяев. – С.Пб.: БХВ-Петербург, 2005. – 752 с.

Рецензент: О.Я. Ніконов, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 1 березня 2013 р.