

УДК 629.463.65.001.63

МАТЕМАТИЧНЕ ОПИСАННЯ ФОРМУВАННЯ МАТЕРІАЛОЄМНОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЙ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

О.В. Фомін

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра «Рухомий склад залізниць»
Донецький інститут залізничного транспорту Української
державної академії залізничного транспорту
вул. Горна, 6, м. Донецьк, 83018
E-mail: fomin1985@list.ru

О.І. Удодова

Кандидат фізико-математичних наук, доцент
Кафедра «Вищої математики»
Українська державна академія залізничного транспорту
майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050

В статті представлені особливості запропонованого підходу до описання формування матеріалоемностей конструкцій залізничних вантажних вагонів

Ключові слова: формування матеріалоемності, вантажний вагон

В статье представлены особенности предложенного подхода к описанию формирования материалоемностей конструкций железнодорожных грузовых вагонов

Ключевые слова: формирование материалоемности, грузовой вагон

In the article the features offered approach are presented to the description of forming materials consumption of freight car design

Key words: forming materials consumption, freight car

Постановка проблеми і аналіз результатів останніх досліджень

Залізничний транспорт є базовою галуззю національної економіки та основою її транспортної системи, забезпечує понад дві третини загального вантажообігу, що обумовлює високі вимоги з економічної ефективності та експлуатаційної надійності до вантажних вагонів. При цьому сучасний парк вантажних вагонів сформовано з моделей вагонів конструкція яких була спроектована за технологіями та на обчислювальному обладнанні середини минулого сторіччя. Тому у основних положеннях Комплексної програми оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки (затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2008 року №1259) та Державної програми «Український вагон» (затверджена Міністерством інфраструктури України 04 лютого 2011р.) визначено необхідність удосконалення базових моделей вітчизняного вантажного парку. Вищесказане аргументує важливість і актуальність постановки та вирішення науково-прикладної проблеми з розробки нових підходів і методів проектування вантажних вагонів з метою створення їх моделей з сучасним рівнем техніко-економічних та експлуатаційних показників.

Одним з основних техніко-економічних показників вагону є з його тари. Зниження тари вагону є одним із найважливіших завдань вагонобудівної промисловості [1]. Це обумовлено не тільки великою витратою матеріалу (переважно металу) на споруду вагонів, але головним чином значними постійними

витратами на пересування вагонів, які зростають із збільшенням їх тари.

Оскільки при зменшенні тари вантажних вагонів може бути збільшена їх вантажопідйомність, то тим самим забезпечується зростання провізної здатності залізниць за рахунок підвищення маси нетто потягів. При незмінних розмірах перевезень зниження тари забезпечує скорочення парку вагонів і локомотивів, потреби в розвитку пропускну спроможності залізниць. Якщо при зниженні тари вагонів не підвищується вантажопідйомність, то зменшується навантаження від колісних пар на рейки, завдяки чому збільшується термін служби рейок, коліс, гальмівних колодок, букс. Одночасно зменшується опір руху, що при незмінній силі тяги локомотивів дозволяє збільшити швидкість руху потягів і за рахунок цього підвищити пропускну спроможність залізниць або скоротити витрату електроенергії і палива, споживаних локомотивами.

Таким чином, зниження тари вагонів забезпечує зростання провізної здатності доріг, економію металу, що йде на споруду вагонів і локомотивів, економію електроенергії і палива, що витрачається локомотивами, прискорення і зниження собівартості перевезень, скорочення (в більшості випадків) капіталовкладень у вагонний і локомотивний парки і в розвиток пропускну спроможності залізниць.

Навіть невелике зменшення тари вагонів супроводжується значним ефектом, що обумовлено масовістю вагонного парку. Проте зниження тари вагонів повинне здійснюватися без збитку для безпеки руху потягів і експлуатаційної надійності вагонів.

Визначення складових вагону за рахунок удосконалення яких доцільно знижувати його тару є складним науково-технічним завданням, розв'язання якого потребує використання сучасних підходів і методів дослідження матеріалоемності конструкції, які реалізують комплексно-системний підхід. Але аналіз профільної літератури засвідчив про відсутність змістовної інформації з розгляду цього важливого та актуального завдання.

Мета статті та викладення основного матеріалу

У статті представлені особливості розробленої процедури математичного описання формування матеріалоемностей конструкцій залізничних вантажних вагонів.

Парк вантажних вагонів об'єднує універсальні, спеціальні та ізоترمичні типи вагонів [1, 2]. В свою чергу до універсальних вагонів відносяться: криті, напіввагони, вагони-платформи, які призначені для перевезення широкої номенклатури насипних, штучних та штабельних вантажів; до парку спеціальних вагонів належать: вагони-цистерни, вагони-хопери, вагони-думпкари, бункерні напіввагони, вагони-транспортери, які призначені для перевезення окремих вантажів або груп вантажів; до ізоترمичних відносяться: рефрижераторні вагони та секції, вагони-термоси, які використовуються для перевезення швидкопсувних вантажів.

Запропонований підхід до визначення і аналізу структури матеріалоемності конструкції залізничних вагонів, базується на використанні принципів ієрархічності та декомпозиції (блочності) в дослідженнях механічних систем [3, 4]. Обидва принципи в повній мірі віддзеркалюються у блочно-ієрархічній схемі вантажного вагону, яка використовується у якості основи запропонованого методу.

Для визначення структури матеріалоемності конструкції конкретної моделі вагонів на основі пропонованого методу необхідно мати відповідні їй вихідні дані о масах деталей та вузлів, робочі креслення. При наявності зазначених даних, визначення структури матеріалоемності вагону складається з двох основних етапів:

I – розробка блочно-ієрархічного описання формування (визначення) матеріалоемності вагону на основі відповідної блочно-ієрархічної схеми;

II – дослідження структури матеріалоемності на відповідних ієрархічних рівнях створеного описання.

За своєю суттю описання формування матеріалоемності віддзеркалює блочно-ієрархічну схему вантажного вагону, на якій вказані відповідні значення мас для всіх її елементів. Це дозволяє визначити сумарну матеріалоемність на кожному ієрархічному рівні, а також використовуючи висхідний метод визначити загальну матеріалоемність (тару вагону), як додаток матеріалоемностей усіх ієрархічних рівнів (від найнижчого рівня базових елементів до найвищого). Слід зауважити, що при визначенні матеріалоемностей окремих ієрархічних рівнів та загальної матеріалоемності вагону додатково необхідно враховувати масу зварювальних з'єднань елементів конструкції.

Отримані на першому етапі значення матеріалоемності окремих модулів конструкції і виділення найбільших з них дозволить перейти до другого етапу – на основі аналізу структури матеріалоемності елементів сформованого описання приймається рішення про можливість удосконалення конструкції вагону від вищих ієрархічних рівнів до рівня базових елементів.

У відповідності до описаного методу були розроблені наведені нижче математичні описання для вагонів вітчизняного виробництва, основна конструкція яких може бути представлена у вигляді трьохрівневої блочно-ієрархічної схеми. Зважаючи на те, що третій рівень утворюють базові елементи конструкції (прийняті за умовно неділимі) нижче наведена формула для описання матеріалоемностей елементів другого (вузлового) ієрархічного рівня:

$$m_{B_{jk}} = \sum_{m=1}^a V_{ijkm} \cdot \rho \cdot n_m + \sum_{m=1}^a S_{ijkm} \cdot l_m \cdot \rho, \tag{1}$$

де $m_{B_{jk}}$ – матеріалоемність конструкційного блока (вузла) другого ієрархічного рівня, що розглядається;

$\sum_{m=1}^a V_{ijkm} \cdot \rho \cdot n_m$ – сумарна матеріалоемність базових елементів, які входять до складу відповідного вузла;

V_{ijkm} – об'єм базової m -ої складової; i, j, k, m – рівнево-позиційні індекси, які відповідають шифру досліджуваної складової блочно-ієрархічної схеми (i – відповідає порядковому номеру досліджуваного варіанту вагону; j – відповідає позиційному номеру модуля формалізованого описання, до складу якого входить складова, що досліджується; k – відповідає порядковому номеру вузла у складі відповідного модуля; m – відповідає порядковому номеру базового елемента, який входить до складу відповідного вузла).

a – кількість базових елементів, які входять до складу відповідного вузла;

ρ – питома вага конструкційного матеріалу, із якого виготовлено складову;

n_m – кількість однойменних m -их базових елементів у вузлі, що досліджується;

$\sum_{m=1}^a S_{ijkm} \cdot l_m \cdot \rho$ – маса зварювальних швів які утворюються при складанні досліджуваного вузла із базових елементів;

S_{ijkm} – площа m -го типу шву, який використовується при складанні досліджуваного вузла;

l_m – довжина m -го шву,

a – змінюється в залежності від кількості типів зварювальних швів, які використовуються при складанні відповідного вузла.

При описанні матеріалоемності першого рівня основних модулів конструкції використовується формула:

$$m_{B_j} = \sum_{k=1}^b \left(\sum_{m=1}^a V_{ijkm} \cdot \rho \cdot n_m + \sum_{m=1}^a S_{ijkm} \cdot l_m \cdot \rho \right) \cdot d_k + \sum_{k=1}^b S_{ijk} \cdot l_k \cdot \rho, \tag{2}$$

де m_{B_j} – матеріалоемність модуля конструкції, що досліджується;

$\sum_{k=1}^b \left(\sum_{m=1}^a V_{ijkm} \cdot \rho \cdot n_m + \sum_{m=1}^a S_{ijkm} \cdot l_m \cdot \rho \right) \cdot d_k$ – сумарна матеріалоемність вузлів, які входять до складу досліджуваного модуля;

d_k – кількість k -их однойменних вузлів, які входять до досліджуваного модуля;

b – кількість вузлів, які входять до складу відповідного модуля;

$\sum_{k=1}^b S_{ijk} \cdot l_k \cdot \rho$ – маса металу, що наплавляється при зварювальних роботах в процесі створення досліджуваного модуля;

S_{ijk} – площа k -го типу шву;

l_k – довжина k -го шву;

b – змінюється в залежності від кількості типів зварювальних швів, які використовуються при складанні досліджуваного модуля.

Результати розрахунків матеріалоемностей на першому та другому ієрархічних рівнях дозволяють визначити загальну матеріалоемність вагону. Узагальнене описання формування матеріалоемності вагону має наступний вид:

$$m_{B_i} = \sum_{j=1}^c \left\{ \sum_{k=1}^b \left(\sum_{m=1}^a V_{ijkm} \cdot \rho \cdot n_m + \sum_{m=1}^a S_{ijkm} \cdot l_m \cdot \rho \right) \cdot d_k + \sum_{k=1}^b S_{ijk} \cdot l_k \cdot \rho \right\} + \sum_{j=1}^c S_{ij} \cdot l_j \cdot \rho \quad (3)$$

де m_{B_i} – тара досліджуваної конструкції вагону;

$$\sum_{j=1}^c \left\{ \sum_{k=1}^b \left(\sum_{m=1}^a V_{ijkm} \cdot \rho \cdot n_m + \sum_{m=1}^a S_{ijkm} \cdot l_m \cdot \rho \right) \cdot d_k + \sum_{k=1}^b S_{ijk} \cdot l_k \cdot \rho \right\}$$

– сумарна матеріалоемність модулів конструкції, де c змінюється в залежності від кількості основних модулів конструкції;

$\sum_{j=1}^c S_{ij} \cdot l_j \cdot \rho$ – маса металу, що наплавляється при зварювальних роботах в процесі складання загальної конструкції вагону із окремих модулів;

S_{ij} – площа j -го типу шву;

l_j – довжина j -го шву;

c – змінюється в залежності від кількості типів зварювальних швів, які використовуються при складанні загальної конструкції вагону.

Формула 3 може бути використана для визначення матеріалоемності будь-якого вантажного вагону.

При цьому суть та алгоритм створення такого описання, для вагонів блочно-ієрархічна схема конструкції яких налічує іншу кількість ієрархічних рівнів, не зміняться, а зміниться лиш кількість підетапів.

Розроблену процедуру описання формування матеріалоемності було використано при аналізі конструкцій напіввагонів моделі 12-9745, 20-9749 [5, 6] та проектуванні вагону 12-9904 [7]. Результати використання розробленого підходу дозволило виявити складові удосконалення яких призвело до суттєвого (близько 5%) зниження їх тари.

Висновки і рекомендації щодо подальшого використання

Розроблене та представлене математичне описання формування матеріалоемностей конструкцій залізничних вантажних вагонів доцільно використовувати при удосконаленні існуючих та проектуванні нових вагонів, а також інших засобів транспортного машинобудування.

Література

1. Шадур Л.А. Вагоны/. Изд. 2-е, перераб. и доп. Под ред. Л.А. Шадура. М., «Транспорт», 1973. - 440 с.
2. Горбенко А.П., Мартинов І.Е. Конструювання та розрахунок вагонів – Харків: УкрДАЗТ, 2007.-150с.
3. Мороз В.І. Формалізоване описання конструкції залізничних вантажних вагонів / В.І. Мороз, О.В. Фомін // 36.наук.праць 107. - Харків: УкрДАЗТ, 2009. - Вип. –С 173-179.
4. Фомін, О.В. Блочно-ієрархічне описання конструкції сучасних спеціалізованих вантажних вагонів [Текст]/ О.В. Фомін, О.В.Бурлуцький // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків. – 4/4(52)2011 С.32-35.
5. Фомин, А.В. Формализация процедуры выявления и использования конструкционных резервов грузовых вагонов [Текст]/ А.В. Фомин // Научно-теоретический и практический журнал «Оралдын Гылым жаршысы» (Уральский научный вестник). – Республика Казахстан, г. Уральск, 2011 – Вып.№.9(36)2011.- С.79-82
6. Фомін, О.В. Впровадження нових підходів зниження матеріалоемності вантажних вагонів за рахунок використання конструкційних резервів [Текст] / О.В. Фомін / Materiały VII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Wykstalcenie i nauka bez granic - 2011» Volume 29. Techniczne nauki. Fizyczna:Przemysł.Nauka i studia – С.21-23.
7. Полувагоны модели 12-9904 и модели 12-9904-01 Напіввагоны моделі 12-9904 та моделі 12-9904-01 Технические условия ТУ У 35.2-30939178-01:2011 / разработано главн. констр. – А.В. Фомин // – (зарегистрированы 28.10.2011г. в ГП «Донецкстандартметрология») – 45с.