

УДК 629.463.32.001.57

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.138.2013.102479>

*Д-р техн. наук І.Е. Мартинов,
асист. М.В. Павлюченков*

*I. Martynov
M. Pavlyuchenkov*

ОПТИМІЗАЦІЯ ОПОРНОГО ПРИСТРОЮ ВАГОНА-ЦИСТЕРНИ

OPTIMIZATION OF THE SUPPORT DEVICE OF RAIL TANK CAR

Вступ. Вагони-цистерни є одним з масових типів залізничного рухомого складу. Умови експлуатації транспортних засобів ставлять підвищені вимоги до міцності існуючих і нових конструкцій цистерн. Одним з пріоритетних завдань розвитку залізниць є удосконалення конструкції рухомого складу для підвищення його рентабельності та конкурентоспроможності.

Актуальність. Дослідження, які проводилися провідними організаціями в галузі рухомого складу, свідчать, що напруження, обумовлені дією опорного тиску, складають 70-90 % від максимальних напружень, які виникають у котлі цистерни. Упродовж тривалого часу експлуатації нафтобензинових цистерн були виявлені найбільш слабкі місця в їх конструкції, які проявляються у вигляді

відмов, пов'язаних з течєю і деформацією котлів, тріщинами в елементах рами та ін. Несправності, пов'язані з течєю котла в опорній зоні, складають 45,5 % від усіх пошкоджень вагона.

У цих умовах актуальним є завдання подальшого розвитку й удосконалення конструкції цистерни. Одним з напрямків є застосування нових конструктивних рішень опорних пристроїв котла на раму.

Мета дослідження полягає в удосконаленні конструкції вагона-цистерни за рахунок нового технічного рішення консольного опорного пристрою і зниження його металоємності.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення поставленого завдання виконано дослідження для пошуку оптимальної конструкції опорного пристрою. На першому етапі зроблено патентно-бібліографіч-

ний аналіз технічних рішень [1, 2] та запропоновано нові варіанти конструкцій [3, 4].

Аналіз результатів розрахунків показав, що для першого варіанта максимальні напруження в опорній зоні склали 28,5 МПа, що на 15 % менше в порівнянні з існуючою конструкцією. Також наявне зменшення площі дії максимальних напружень. За результатами обчислень для другого і третього варіантів виявилось, що значення максимального еквівалентного напруження зменшується на

13 % [3, 4]. Проведені розрахунки опорних пристроїв дозволяють зробити висновок, що виходячи із значень еквівалентних напружень найбільш ефективним є перший варіант [5].

На другому етапі для нього складена функція цілі та обмеження:

$$m^{npon}(\bar{X}) \rightarrow \min$$

$$\bar{X} \in D_x \in D \quad (1)$$

$$D = \{t_1, t_2, t_3, a \mid 6.м.м \leq t_1 \leq 14.м.м; 6.м.м \leq t_2 \leq 14.м.м; 6.м.м \leq t_3 \leq 14.м.м; 200.м.м \leq a \leq 500.м.м\} \quad (2)$$

$$D_x = \left\{ t_1, t_2, t_3, a \mid \begin{array}{l} m^{npon} \leq m^{icn}; \sigma_{рам}^{npon} \leq \sigma_{рам}^{icn} \leq [\sigma_{рам}]; \sigma_{кот}^{npon} \leq \sigma_{кот}^{icn} \leq [\sigma_{кот}]; 6.м.м \leq t_1 \leq 14.м.м; \\ 6.м.м \leq t_2 \leq 14.м.м; 6.м.м \leq t_3 \leq 14.м.м; 200.м.м \leq a \leq 500.м.м \end{array} \right\},$$

де D – область можливих розв'язків, яка формується границями варіювання складових вектора змінних параметрів \bar{X} ; D_x – область допустимих розв'язків; m^{icn} – маса сучасної конструкції опорного пристрою чотиривісної залізничної цистерни; t_1, t_2, t_3 – товщини вертикальної діафрагми, нижнього та торцевого листів відповідно; a – ширина запропонованої конструкції вздовж твірної котла цистерни; $\sigma_{рам}^{npon}, \sigma_{кот}^{npon}$ – максимальні еквівалентні напруження, які виникають в опорі та опорній зоні котла запропонованої конструкції; $\sigma_{рам}^{icn}, \sigma_{кот}^{icn}$ – максимальні еквівалентні напруження, які виникають в опорі та опорній зоні котла існуючої конструкції; $[\sigma_{рам}], [\sigma_{кот}]$ – допустимі напруження в рамі та котлі цистерни.

Для дослідження НДС конструкції з різними геометричними розмірами прийняті такі навантаження: вага брутто вагона з урахуванням коефіцієнта вертикальної динаміки; гідравлічний удар у цистерні при екстремальному значенні повздовжньої сили 3,5 МН. Допустимі напруження в рамі та котлі цистерни для I-

го розрахункового режиму складають $[\sigma] = 0,9\sigma_T = 292,5$ МПа.

З урахуванням вихідних даних (2) складається математичний план, який має відповідну матрицю планування. На її основі складається ортогональний математичний план другого порядку для чотирьох керованих змінних, що варіюються на трьох рівнях.

Для кожного режиму математичного плану з використанням розрахункової моделі вагона-цистерни обчислюються значення показників, що контролюються, – маса опорного пристрою, що пропонується m^{npon} , максимальні еквівалентні напруження, які виникають в опорі та опорній зоні котла нової конструкції – $\sigma_{рам}^{npon}, \sigma_{кот}^{npon}$.

З використанням отриманих значень m^{npon} , $\sigma_{рам}^{npon}, \sigma_{кот}^{npon}$ виконується їх апроксимація у вигляді поліномів другого ступеня.

Нижче подано узагальнені математичні моделі для контрольованих показників у дійсних величинах змінних:

$$m^{npon} = 0,026 + 30315,15 t_1 - 3282,85 t_2 + 11,566 t_3 + 0,455 a - 96661,109 t_1^2 + 98763,982 t_2^2 - 1143,356 t_3^2 - 1,547 a^2 - 929,864 t_1 t_2 - 1719,577 t_1 t_3 - 2601,336 t_1 a + 1459,122 t_2 t_3 + 21759,325 t_2 a - 11001,238 t_3 a \quad (3)$$

$$\sigma_{m^{npon}} = \pm 28,3 \text{ кг}$$

$$\sigma_{рам}^{npon} = 2445,633 - 32106,203 t_1 + 14160,405 t_2 - 343557,841 t_3 - 528,629 a - 1893377,319 t_1^2 - 931753,335 t_2^2 + 1313209,324 t_3^2 - 834,011 a^2 - 2445828,413 t_1 t_2 + 522987,688 t_1 t_3 + 40050,0 t_1 a + 359903,70 t_2 t_3 + 60560,647 t_2 a + 10833,942 t_3 a \quad (4)$$

$$\sigma_{\sigma_{рам}^{npon}} = \pm 17,7 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{кот}^{npon} = 81,464 + 2948,819 t_1 - 2984,917 t_2 + 1790,687 t_3 + 100,661 a + 2556,003 t_1^2 + 24780,923 t_2^2 - 20093,994 t_3^2 - 137,495 a^2 + 16967,531 t_1 t_2 - 64729,459 t_1 t_3 - 5238,180 t_1 a - 34549,856 t_2 t_3 + 5401,132 t_2 a - 552,842 t_3 a \quad (5)$$

$$\sigma_{\sigma_{кот}^{npon}} = \pm 7,5 \text{ МПа.}$$

Величини середньоквадратичних відхилень для отриманих узагальнених математичних моделей свідчать про їх адекватність і придатність для використання в подальших дослідженнях з визначення геометричних параметрів опорного пристрою вагона-цистерни.

Для розв'язання задачі оптимізації (1) використовувався метод Нелдера-Міда. Ідея методу полягає у порівнянні значень функції в $n+1$ вершинах симплекса та переміщенні точок симплекса у напрямі оптимальної точки за допомогою ітераційної процедури.

Спочатку при різних початкових значеннях параметрів проводилась оптимізація всіх чотирьох параметрів. При цьому перші два параметри змінювалися, даючи різні значення функції, що мінімізується, а t_3 та a залишалися практично

незмінними: $t_3 = 0,01 \text{ м}$, $a = 0,3 \text{ м}$. Це дало можливість при фіксованих значеннях x_3 та x_4 звести задачу до оптимізації двох параметрів x_1 та x_2 . З точністю до 3% отримані значення $t_1 = 0,0114 \text{ м}$, $t_2 = 0,0094 \text{ м}$, при цьому

$$m^{npon} = 405 \text{ кг}, \sigma_{рам}^{npon} = 290 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{кот}^{npon} = 110 \text{ МПа.}$$

При відомих значеннях двох параметрів t_3 та a для оптимізації t_1 та t_2 можна скористатися графічним методом. Для цього за допомогою отриманих апроксимацій були обчислені функції $\sigma_{рам}^{npon}$, $\sigma_{кот}^{npon}$, m^{npon} на сітці 100×100 та побудовані ізолінії цих функцій (рисунк).

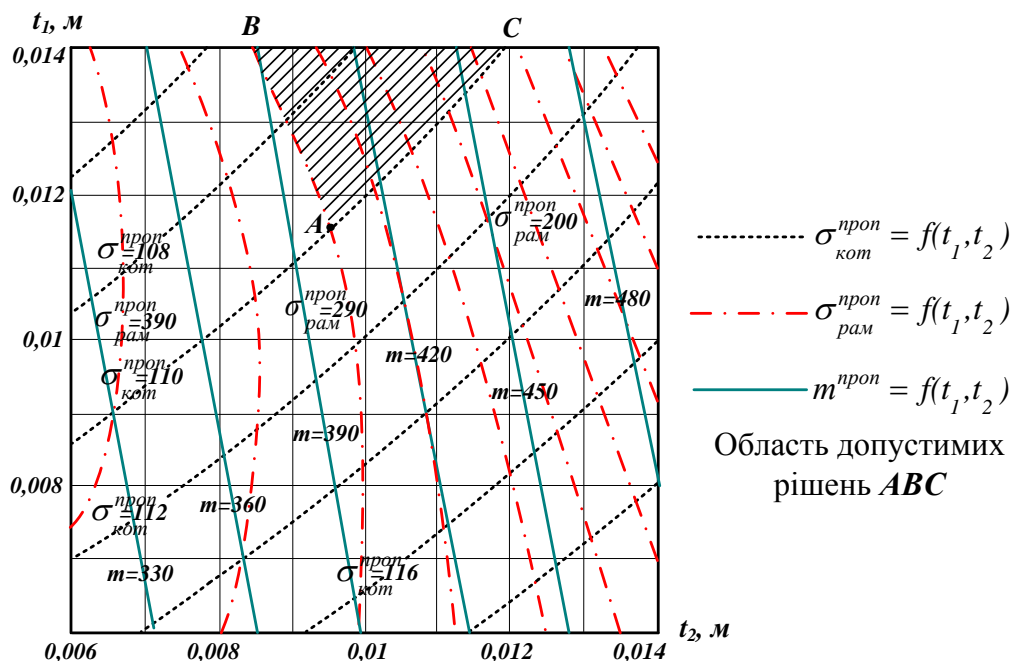


Рис. Графік визначення оптимальних параметрів конструкції опорного пристрою вагона-цистерни

З графіка (рисунок) видно, що оптимальними є параметри в точці А: $t_1 = 0,0116$ м та $t_2 = 0,0095$ м. Пошук, що здійснювався в області допустимих розв'язків D_x , дав можливість як оптимальні визначити такі величини параметрів: $t_1 = 12$ мм; $t_2 = 10$ мм. Таке рішення обґрунтовується встановленими ГОСТ 19903-74 нормованими значеннями листового прокату ($\delta = 4$ мм; 4,5 мм; 5 мм; 6 мм, 7 мм, 8 мм, 9 мм, 10 мм, 12 мм...) і технологічними особливостями виготовлення опорного пристрою вагона-цистерни. Як видно, результати оптимізації по чотирьох змінних, які отримані двома способами, дуже близькі. При більшій кількості змінних зручніше користуватися числовим методом.

Маса конструкції опорного пристрою при оптимальних значеннях $t_1 = 12$ мм, $t_2 = 10$ мм, $t_3 = 10$ мм, $a = 0,3$ м становить

$m^{\text{прон}} = 415$ кг, що на 13% менше у порівнянні з існуючою конструкцією.

Висновки

1. Виконано математичний опис задачі оптимізаційного проектування за критерієм мінімальної матеріалоємності опорного пристрою вагона-цистерни та використано його для конструкції, що пропонується.

2. Для розв'язання задачі оптимізаційного проектування за критерієм мінімальної матеріалоємності опорного пристрою вагона-цистерни використано числовий та графічний методи.

3. Маса конструкції опорного пристрою при оптимальних значеннях $t_1 = 12$ мм, $t_2 = 10$ мм, $t_3 = 10$ мм, $a = 0,3$ м становить $m^{\text{прон}} = 415$ кг, що на 13% менше у порівнянні з існуючою конструкцією.

Список літератури

1. Исследования по изысканию новых конструктивных схем четырехосных вагонов-цистерн с целью снижения их металлоемкости [Текст]: отчет о НИР (заключ.) / Всесоюзн. науч.-исслед. ин-т вагоностроения (НИИВ); рук. В.С. Лагута. – Кременчуг, 1985. Ч. 1. – 63 с. – Шифр работы № ГР 01840013267; Инв. № 02850060917.
2. Лагута, В.С. Анализ конструктивных вариантов вагонов-цистерн. Развитие конструкций вагонов. Анализ результатов испытаний и эксплуатации [Текст] / В.С. Лагута, А.В. Донченко, Ю.Я. Водяников // Сб. науч. тр. НИИ вагоностроения. – 1988. – С. 58 – 64.
3. Павлюченко, М.В. Дослідження конструктивних варіантів опор залізничних цистерн для перевезення рідких вантажів [Текст] / М.В. Павлюченко // Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту / Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010 – Вип. 117. – С. 59 – 63.
4. Ломотько, Д.В. Компьютерное моделирование опорных устройств вагонов-цистерн / Д.В. Ломотько, Г.Л. Ватуля, М.В. Павлюченко [Текст] // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании'2012: сб. науч. тр. Sworld. – Одесса: Т. 2. – Транспорт, 2012. – С. 42 – 46.
5. Пат. 72134 Україна, МПК В 61 D 5/06. Пристрій для кріплення котла залізничної цистерни на рамі ходової частини [Текст] / Павлюченко М.В.; заявник та патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – № u2012 00495; заявл. 16.01.12; опубл. 10.08.12, Бюл. №15.

Ключові слова: вагон-цистерна, консольний опорний пристрій, функція цілі, узагальнена математична модель, оптимальні параметри.

Анотації

Задача оптимізаційного проектування за критерієм мінімальної матеріалоемності опорного пристрою вагона-цистерни числовим та графічним методами.

Выполнена задача оптимизационного проектирования по критерию минимальной материалоемкости опорного устройства вагона цистерны численным и графическим методами.

The task of the optimization planning is executed on the criterion of the minimum resource-demanding of support device of rail tank executed numeral and graphic methods.