

УДК 629.4.02.001.76

**СИСТЕМАТИЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ВПРОВАДЖЕННЯ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ І/АБО
ДЕФОРМОВАНИХ СКЛАДОВИХ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ЗА КРИТЕРІЄМ
ДІЮЧИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ЕТАПАХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ**

Фомін О.В., Стецько А.А., Коваленко В.В.

**SYSTEMATIZATION OF CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL
IMPLEMENTATION OF PRE-STRESSED AND/OR DEFORMED COMPONENTS
OF FREIGHT CARS ON THE CRITERION LOADS ON THE STAGES LIFECYCLE**

Fomin A., Stetsko A., Kovalenko V.

В статті структуровані в графічному вигляді та наведені можливості конструктивного впровадження попередньо напружених і/або деформованих складових вантажних вагонів нового покоління. Запропоновані теоретичні положення щодо впровадження попередньо напружених і/або деформованих складових в конструкції вантажних вагонів у відповідності з можливими випадками дії навантажень на етапах життєвого циклу. Також в роботі у загальному плані наведено фізичне підґрунтя впровадження попередньо напружених і/або деформованих складових в конструкції вантажних вагонів та приклад реалізації такого підходу.

Ключові слова: вантажні вагони, попередній напружений і/або деформований стан, розрахункові навантаження на етапах життєвого циклу.

Вступ. Для економіки України вантажний вагон ключову роль як засіб транспортування вантажів а також як кінцевий продукт машинобудування [1, 5-7]. Сьогодні в Україні функціонує більше 15 підприємств, які займаються будівництвом вантажних вагонів та понад 20 підприємств, які спеціалізуються на виготовленні окремих складових для них, на яких у сукупності працює близько 100 тис. працездатного населення.

Проте сьогодні питання оновлення вантажного рухомого складу залишається вкрай важким [2, 10, 11]. Потенціал України з продажу вантажних вагонів не реалізується, що перешкоджає надходженню коштів в бюджет країни. Причинами, які заважають отримувати позитивний економічний результат є наступні [1-3]: не реалізовані можливості із зниження тари вантажних вагонів та з підвищення вантажопідйомності; необґрунтовано дорогих матеріалів та комплектуючих у конструкціях вантажних ваго-

нів, що використовуються; недостатньо ефективні схеми використання вантажного парку.

За даними Головного інформаційно-обчислювального центру Укрзалізниці, парк вантажних вагонів України складається із 173407 вагонів переважна більшість яких (89,6 %) експлуатується на межі визначеного терміну служби. Понад 30 вітчизняних вагоноремонтних депо займається їх ремонтами.

Наразі після тривалої експлуатації значна частина залізничних вагонів має ознаки фізичного зносу. Виникає необхідність підсилення конструкцій з причини фізичного старіння і під час технічного обслуговування та ремонту.

У відповідності з [2, 6, 7, 10, 11] перспективними напрямками конструктивного вирішення цих проблем можуть стати:

- розроблення та впровадження в конструкції вантажних вагонів перспективних технічних рішень;
- розроблення методів пошуку та реалізації ресурсозберігаючих виконань конструкцій вантажних вагонів;
- пошук в конструкціях вантажних вагонів місць з недостатніми та надлишковими запасами міцності.

При цьому суттєвим потенціалом з впровадження можна охарактеризувати метод створення керованого напруженого та/або деформованого стану конструкцій. Результати аналізу успішного вирішення схожих проблем в інших галузях промисловості (аеротехнічній, ракетобудівній, нафтогазовій, паливній, будівельній та ін.), що пов'язані з виготовленням металоконструкцій додатково підтвердили наведене твердження.

Постановка проблеми. Серед основних очікуваних результатів впровадження даного методу стосовно залізничних вагонів можна віднести:

1) економія металу і коштів при виготовленні завдяки більш ефективному розподілу зовнішніх зусиль та збільшенню області пружної роботи;

2) за рахунок підвищення несучої здатності вагона, збільшення навантажень;

3) зниження деформативності всього кузова вагона або окремих його елементів, зменшення частоти або амплітуди коливань;

4) підвищення стійкості окремих елементів або всього кузова вагона в цілому;

5) збільшення витривалості окремих елементів при циклічних навантаженнях за рахунок поліпшення характеристики циклу;

6) сприятлива зміна властивостей конструкції (динамічних характеристик при динамічних впливах, аеродинамічних характеристик при вітрових впливах, підвищення протидії температурним навантаженням (наприклад морозостійкості та протидії високим температурним навантаженням при специфічних завантажувально-розвантажувальних роботах);

7) забезпечення в деяких випадках зручності складальних (складально-зварювальних) робіт, і в зв'язку з цим зниження трудо- та енерговитрат;

8) протидія виникненню негативних залишків деформацій від технологічних факторів.

На відміну від традиційних методів підсилення несучих конструкцій, що згинаються, (зміна конструктивної схеми конструкції; збільшення площі та типів поперечних перерізів окремих елементів конструкцій; зміна виду з'єднань елементів конструкції; заміна елементів конструкцій), підсилення способом регулювання напружень дозволяє виконувати роботи при діючих на конструкцію навантаженнях різних рівнів і з мінімальними економічними витратами.

Однак підсилення додатковими сталевими елементами чи арматурними стержнями у вигляді горизонтальних чи шпренгельних зтяжок викликає ряд факторів, які безпосередньо впливають на їх міцність і потребують розроблення відповідного наукового та інженерного інструментарію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретико-експериментальним дослідженням міцності, стійкості та жорсткості попередньо-напружених сталевих конструкцій, присвячені роботи Р.В. Алдущкіна, Є.І. Белені, Д.Ф. Белого, В.В. Бірюлева, А.А. Васильєва, Ю.В. Гайдарова, І.Г. Клінова, В.Ф. Мареніна, Б.М. Второва, А.М. Петрова, А.М. Сперанського, М.М. Стрелецького, О.Л. Шагіна, М.Ю. Ізбаша і їх учнів та інших учених. Проте розгляд сучасного науково-технічного матеріалу з даного питання засвідчив відсутність змістовної інформації з розгляду такого завдання для залізничного транспорту в цілому, та вантажного вагонобудування зокрема. Тому доцільно та актуально провести дослідження, які будуть спрямовані на розроблення ме-

тодів створення керованого напруженого та/або деформованого стану конструкцій вантажних вагонів та їх елементів.

Мета статті. Представлення особливостей та результатів наукового обґрунтування впровадження попередньо напружених і/або деформованих складових в конструкції вантажних вагонів у відповідності з можливими випадками навантажень на етапах життєвого циклу. Для цього було проаналізовано штатні та екстремальні експлуатаційні випадки роботи конструкцій вантажних вагонів та класифіковано можливі компенсаційні сили, які можливо створити запропонованим методом. Також в роботі у загальному плані наведено фізичне підґрунтя впровадження попередньо напружених і/або деформованих складових в конструкції вантажних вагонів та приклад реалізації такого підходу.

Результати досліджень. За рахунок створення попереднього напруження досягається збільшенням області пружної роботи деталі або вузла. Це досягається насамперед створенням зворотних за знаком та близьким за модулем тим, що виникають при навантаженнях на етапах життєвого циклу. Наприклад, розтягнута балка з несучою здатністю $N_1 = R_y A$, будучи попередньо стиснена до появи напружень σ_0 , має збільшену несучу здатність $N_2 = (\sigma_0 + R_y) A$ (рис. 1). Очевидно, що при збереженні несучої здатності, площа перерізу балки може бути відповідно зменшена. Область пружної роботи попередньо напруженої балки збільшується на величину σ_0 . Напруження, що виникають створюють суттєвий вплив на втомну міцність і кількість циклів n .

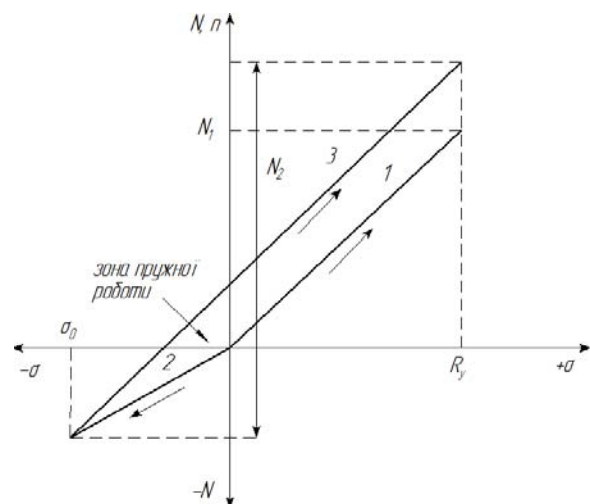


Рис. 1. Створення робочого напруження (тросом):

- 1 – робота балки без попереднього напруження,
- 2 – робота з балкою при створенні попереднього напруження;
- 3 – робота балки з попереднім напруженням (трос)

Попереднє напруження відкриває можливість ефективно використовувати високоміцні сталі, міцність яких у кілька разів вище, ніж у звичайних

сталей. З високоміцних матеріалів виготовляють тільки гнучкі елементи у вигляді канатів, тяг, шарнірно-зчленованих і ін. Які не можуть сприймати стискаючі зусилля, не будучи попередньо розтягнутими [12].

Зниження деформативності досягається постановкою додаткових пружних опор у вигляді попередньо розтягнутих тросів або стержнів. Крім того, в деяких конструкціях, наприклад, в балках з затяжкою, в процесі попереднього напруження створюється прогин f_0 . При цьому, переріз балки можна зменшити, це призведе до збільшення деформативності, проте відносний прогин, відрахований від початкового положення балки $f_2 = f_p - f_0$, буде менший повного прогину, аналогічної конструкції без попереднього напруження (рис. 2).

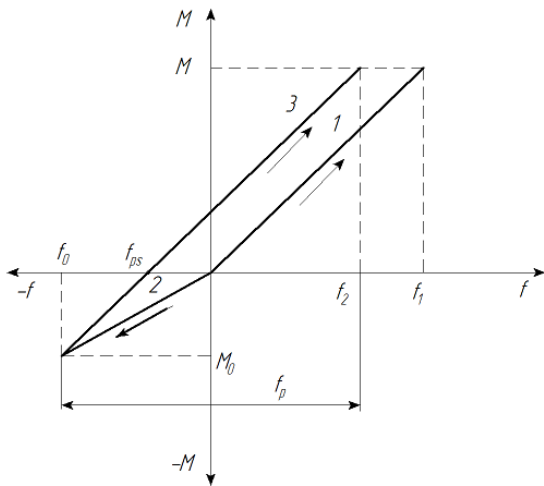


Рис. 2. Створення деформації балки з попередньо напруженою затяжкою:

- 1 - робота балки з затяжкою без попереднього напруження; 2 - вигин балки при попередньому натягу затяжки; 3 - робота балки зменшеного перерізу з попередньо напруженою затяжкою

Надійність та довговічність металевих конструкцій багато в чому залежать від властивостей матеріалу. Найбільш важливими для роботи конструкцій є механічні властивості: міцність, пружність, пластичність, схильність до крихкого руйнування, повзучість, твердість, а також зварюваність, корозійна стійкість, схильність до старіння і технологічність.

При статичному навантаженні, а також його пружні і пластичні властивості визначаються випробуванням стандартних зразків (прямокутного або круглого перерізу) з записом діаграми залежності між напруженням і відносним видовженням.

У загальному випадку обґрунтування міцності матеріалів конструкцій проводиться порівнянням напружень, що виникають в конструкції від зовнішніх впливів, з значеннями межі текучості і межі міцності з врахуванням коефіцієнтів запасу міцності.

Якщо матеріал піддається дії циклічно змінних напружень, то при достатньо великому числі циклів руйнування може статися при напруженнях менше межі міцності (тимчасового опору) і навіть межі текучості. Це явище називається втомою металу. Обґрунтування міцності конструкції з урахуванням циклічно мінливих навантажень проводиться розрахунком на циклічну міцність.

Міцність та втомна міцність залежать в першу чергу від пружності.

Пружні властивості матеріалу визначаються модулем пружності E , і межею пружності, тобто таким максимальним напруженням, при якому деформації після зняття навантаження зникають.

Можна вважати, що сила, необхідна для вигину елемента, пропорційна його видовженню

$$F_{пруж} = k \cdot |\Delta l|, \tag{1}$$

де $F_{пруж}$ – сила пружності;
 k – жорсткість матеріалу;
 $|\Delta l|$ – деформація елемента (абсолютне розтягнення або стиснення).

При силах, що не доходять до межі пружності, елемент повертається до своєї вихідної довжини або форми після зняття навантаження. Під дією зовнішньої сили тіло деформується до тих пір, доки зовнішня сила не врівноважиться внутрішньою силою або силою пружності.

Механічне напруження, що виникає при деформації стискання та розтягування рівна

$$\sigma = \frac{F_{пруж}}{S}, \tag{2}$$

де $F_{пруж}$ – пружна сила;
 S – площа перерізу тіла.

Для пружних деформацій справедливий закон Гука

$$\sigma = \varepsilon \cdot E = \frac{|\Delta l|}{l} \cdot E, \tag{3}$$

де ε – відносне подовження;
 E – модуль пружності (модуль Юнга) (не впливає);

$|\Delta l|$ – абсолютне подовження елемента;

l – довжина елемента.

Прирівнявши ліві частини рівнянь отримаємо

$$\frac{F_{пруж}}{S} = E \frac{|\Delta l|}{l}. \tag{4}$$

Під дією зовнішньої прикладеної сили в жорсткопружному тілі атоми зміщуються зі своїх рівноважних положень, що супроводжується збільшенням потенціальної енергії тіла на величину, рівну

роботі зовнішньої сили. Так середня сила, необхідна для розтягування елемента, дорівнює

$$\bar{F} = \frac{F - F_0}{2} = \frac{F - 0}{2} = \frac{k|\Delta l|}{2}. \quad (5)$$

З викладеного вище можна зробити наступний висновок: попередньо напружуючи і/або деформуючи елемент, тобто створюються компенсуючі сили ($F_0 \neq 0$), що зменшують абсолютне видовження елемента і відповідно відносно подовження, елемент починає працювати за тих же умов, але з меншою деформативністю, що в свою чергу позитивно впливає на його ресурс, подовжуючи його (рис. 2).

А робота розтягування елемента як міра зміни потенціальної енергії тіла при його деформації дорівнює добутку середньої сили на подовження:

$$A = \bar{F}|\Delta l| = \frac{k|\Delta l|^2}{2}. \quad (6)$$

Це означає, що поки подовження або стиснення елемента пропорційне прикладеній силі, то відхилення міжatomних відстаней від їх рівноважних значень пропорційні чинним між атомами силам - під силу пружності:

$$F_{\text{пруж}} = -kx. \quad (7)$$

Таким чином, повернення або пружні сили, які можна отримати при диференціюванні потенціальної енергії, згідно з умовою потенційності пружних сил $\bar{F} = -grad W_p$, прямо пропорційні відхиленню атомів від положення рівноваги. Тому тіло в області пружних деформацій можна представити як сукупність атомів-кульок, з'єднаних пружинами, орієнтації яких фіксовані іншими пружинами.

При подальшому навантаженні елемента (нелінійна ділянка деформаційної кривої пружної області, що лежить між межами пропорційності і пружності) при деформації проявляються в'язкопружні властивості твердих тіл. В'язкість або внутрішнє тертя - це властивість твердих тіл (а також газів і рідин) чинити опір деформації. В'язкість твердих тіл супроводжується виникненням всередині тіла шарів, що рухаються відносно один одного у напрямку прикладених сил, і, відповідно, виникненням дотичних сил тертя між ними. З в'язкістю твердих тіл пов'язаний розвиток залишкових деформацій.

Для вантажного вагона можна встановити наступну залежність

$$\varepsilon = f(F_{\text{сили}}^{\text{розтяг}}), \quad (8)$$

де $F_{\text{сили}}^{\text{розтяг}}$ - сили розтягу.

$$F_{\text{сили}}^{\text{розтяг}} = F_{\text{експл}} = F_{\text{верт}} + F_{\text{повзд}} + F_{\text{бічні}} + F_{\text{сам.врів.}}. \quad (9)$$

Іншими словами, для того щоб зменшити відносне подовження тіла (деталі, вузла) необхідно або зменшити дію сили, що діє на нього, або ж ввести компенсуючий елемент (наприклад сталевий трос, що натягується в хребтовій балці), що буде створювати сили протидії протилежно направлені діючим, тобто

$$\begin{array}{ccc} & \text{напружений стан} & \\ F_{\text{сили}}^{\text{протидії}} \rightarrow & \wedge \cup \vee & \rightarrow \\ & \text{направлено - деформований стан} & (10) \\ & \rightarrow \text{сила натягу троса} & \\ & \rightarrow \text{величина вигину стіни} & \end{array}$$

Це дозволить покращити сприйняття навантажень при тих же самих обмеженнях, що призведе до:

- зменшення площі S перерізу, а значить до зниження металоемності;
- зниження якості матеріалу і як наслідок зниження вартості при виготовленні та протягом всього життєвого циклу.

Суть методу: скоротити приріст переміщень за рахунок створення сил протидії, шляхом створення направлено попередньо напруженого і/або деформованого стану.

$$\bar{F}^{\text{компенс}} \rightarrow -|\bar{F}_{\text{експл}}^{\text{дія}}|. \quad (11)$$

Далі виникає необхідність проаналізувати відповідно до [8, 9] схеми прикладення навантажень (рис. 3), врахування яких необхідно при оцінках міцності елементів кузовів вагонів за режимами Норм [9].

Відповідно до класифікації [4] способи створення попереднього напруженого і/або деформованого стану зручно графічно пов'язати з основними розрахунковими експлуатаційними та додатковими схемами роботи вантажних вагонів (рис. 4).

Як видно з графіка в схемах b , e , u , k , l , та m є можливість зменшення напружень в рамі та кузові за рахунок застосування способів створення компенсаційних сил способами попередньо напруженого і/або деформованого стану. А саме для схеми b - способи 1 та 4; e - 1 - 7; u - 1 та 4; k - 1 - 7; l - 4; m - 2, 5 та 7.

Розрахунки на міцність елементів кузова вагона виконують для найбільш несприятливих можливих сполучень навантажень, яким відповідають певні режими роботи вагонів в поїзді, при маневрах, розвантаженні та інші. Нормами [9] встановлюються два основних (I і III) та один додатковий спеціальний (II) розрахункові режими:

Маючи приведені схеми навантажень, можна сформулювати сумарні навантаження за режимами Норм [9], які позначимо як P_7 , та вкажемо схеми в яких можливе зменшення напружень за рахунок застосування способів створення попередньо напруженого і/або деформованого стану елементів або вузлів вагона.



Рис. 3. Розширена схема прикладення навантажень до вагонних конструкцій у різних розрахункових випадках життєвого циклу

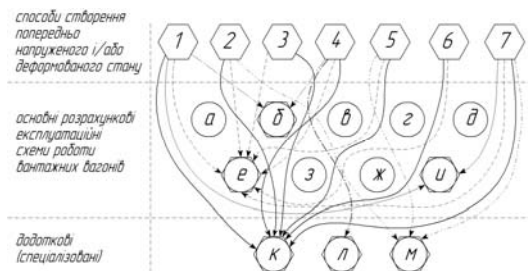


Рис. 4. Допоміжний графік структурування можливостей створення компенсаційних сил способами поперечно напруженого і/або деформованого стану вагонних конструкцій

Тоді оцінка за режимом I квазістатичного стиснення виходитиме накладенням схем:

1 розрах. випадок $P_{\Sigma} = a + z + u$, (12)

2, 3 розрах. випадок $P_{\Sigma} = a \pm v + z + e$. (13)

Тут перша формула – для центрального прикладення повздовжньої сили, $\pm v$ – врахуванням пониження (+) або підвищення (-) осі автозчеплення по відношенню до осі автозчепу сусіднього вагону.

Оцінювання за режимом I квазістатичного розтягування можна отримати за аналогією:

4 розрах. випадок $P_{\Sigma} = b + d + e$, (14)

5, 6 розрах. випадок $P_{\Sigma} = b \pm v + d + e$. (15)

Оцінювання за режимом III квазістатичного стиснення:

7 розрах. випадок $P_{\Sigma} = a + z + e^* + ж$, (16)

8, 9 розрах. випадок $P_{\Sigma} = a \pm v + z + e^* + ж$. (17)

Тут e^* припускає, що вертикальне навантаження збільшується в $(1 + k_{ов} + k_{об})$ раз. Де $k_{ов}$ – коефіцієнт вертикальної динаміки, $k_{об}$ – коефіцієнт, що враховує вплив бокових сил інерції, приймається рівним 0,1 для вантажних вагонів.

Оцінювання за режимом III квазістатичного розтягування:

10 розрах. випадок $P_{\Sigma} = b + d + e^* + ж$, (18)

11, 12 розрах. випадок $P_{\Sigma} = b \pm v + d + e^* + ж$. (19)

За режимом I – удар:

13 розрах. випадок $P_{\Sigma} = e + z$, (20)

14, 15 розрах. випадок $P_{\Sigma} = \pm v^* + e + z$. (21)

Тут $\pm v^*$, коли на схемі враховується сила P тільки зі сторони удару.

За режимом I – ривок:

16 розрах. випадок $P_{\Sigma} = e + u$, (22)

17, 18 розрах. випадок $P_{\Sigma} = \pm v^* + e + u$. (23)

За режимом III – удар:

19 розрах. випадок $P_{\Sigma} = e^* + ж + z$, (24)

20, 21 розрах. випадок $P_{\Sigma} = \pm v^* + e^* + ж + z$, (25)

За режимом III – ривок:

22 розрах. випадок $P_{\Sigma} = e^* + ж + u$, (26)

23, 24 розрах. випадок $P_{\Sigma} = \pm v^* + e^* + ж + u$. (27)

Залежно від призначення і особливостей конструкції вагонів разом з перерахованими вище силами повинні враховуватися також такі сили:

к) сили розпору (тиску) сипучих і навалочних вантажів (25 розрахунковий випадок);

л) сили тиску рідин і газів, в тому числі і зниженого внутрішнього тиску (нижче атмосферного) в котлах цистерн, вантажних ємностях бункерних вагонів та сили гідравлічного удару в котлах цистерн, резервуарах, баках (26 розрахунковий випадок);

м) сили створення деформованого стану (вертикальний вигин) при проведенні складально-зварювальних робіт для хребтової балки та надп'ятникового місця напіввагона, а також зварювальних робіт їх верхніх обв'язувань (27 розрахунковий випадок).

Зменшення напружень для кожного випадку за схемами (рис. 3) зручно графічно зобразити (рис. 5).

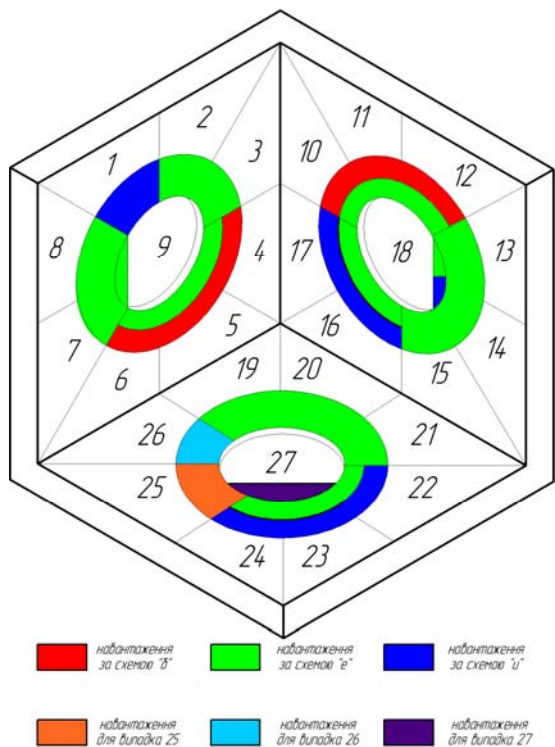


Рис. 5. Узагальнююче структурно-логічне поле визначення компенсаційної спрямованості впровадження попередньо напруженого і/або деформованого стану в вагонні конструкції в залежності від розрахункових випадків в життєвому циклі

Розроблено ряд технічних рішень з удосконалення конструкцій вантажних вагонів, що було запатентовано (рис. 6).

Висновки. Отримані та представлені у статті результати дозволяють стверджувати про ефективність впровадження запропонованого наукового підходу зі створення направлено деформованого стану в вагонних конструкціях.

Структуровані у графічному вигляді та наведені у роботі можливості конструктивного та технологічного впровадження попередньо напружених і/або деформованих складових вантажних вагонів доцільно використовувати при проведенні подальших науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт зі створення вантажних вагонів нового покоління, а також підвищення системної ефективності їх існуючих моделей.

Запропоновані теоретичні положення впровадження попередньо напружених і/або деформованих складових в конструкції вантажних вагонів у відпо-

відності з можливими випадками навантажень на етапах життєвого циклу доцільно використовувати при вирішенні аналогічних науково-прикладних завдань для інших видів рухомого складу, а також об'єктів транспортного машинобудування.

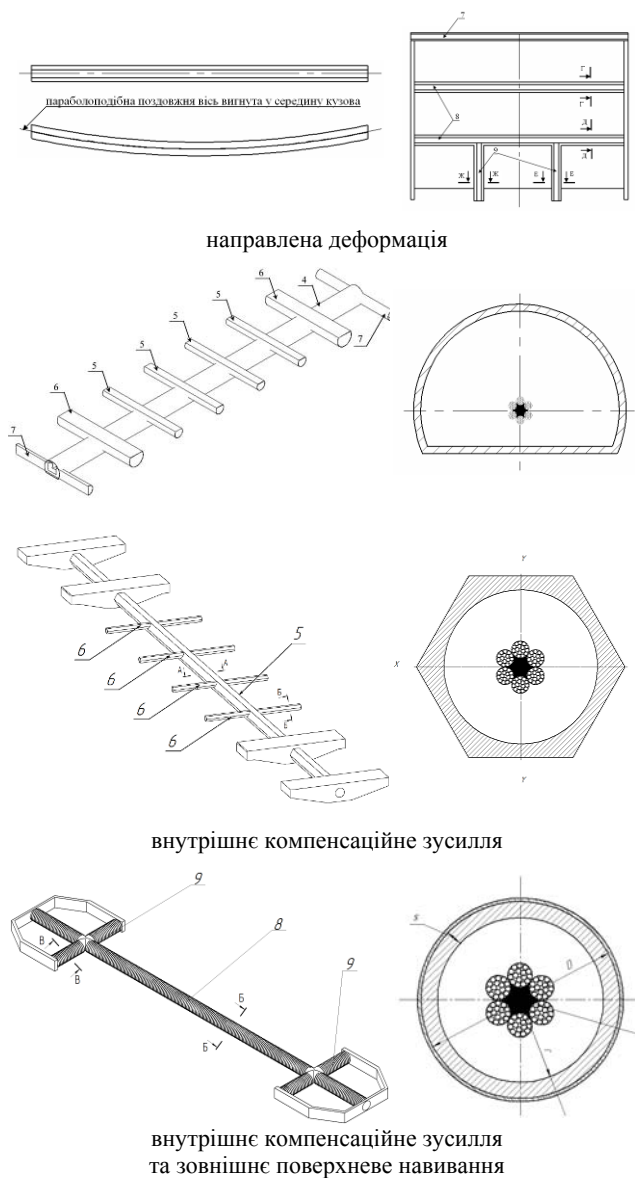


Рис. 6. Запатентовані конструкції вантажних вагонів з впровадженням попередньо напруженого і/або деформованого стану

Література

1. Fomin, O.V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 5 – P.31-43.
2. Fomin, O.V. Increase of the freight wagons ideality degree and prognostication of their evolution stages / O.V. Fomin // Scientific Bulletin of National Mining University . 2015, Issue 2, p.68-76.
3. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів // Вісник Кременчуцько-

- го національного університету імені Михайла Остроградського. – 2013. – № 6. – С. 87–91.
4. Фомін, О.В. Можливості застосування попередньо напружених конструкцій в залізничному машинобудуванні / О.В. Фомін, М.І. Горбунов, А.А. Стецько, В.В. Коваленко // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Київ: ДЕТУТ, 2016. – Вип. 29. – С. 37-53.
 5. Lovska A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision / A. A. Lovska, A. Rybin. – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 3 – p. 4–8.
 6. Тартаковский Э.Д. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог: монография / Э.Д. Тартаковский, С.Г. Грищенко, Ю.Е. Калабухин, А.П. Фалендыш. – Луганск: Ноулидж, 2011. – 173 с.
 7. Panchenko S.V. Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises / S.V. Panchenko, T.V. Butko, A.V. Prokhorchenko, L.O. Parkhomenko // Natsional'nyi Hirnychiy Universytet. Naukovyi Visnyk. – 2016. – Vol. 2. – P. 93–99.
 8. РД 24.050.37-90 «Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества».
 9. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) и изменения и дополнения. – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
 10. Mohyla V. The use of biofuel on the railway transport / V. Mohyla, I. Vasyliiev, E. Nozhenko // Int. Sci. J. "Transport Problems". – Gliwice, Volume 7, Issue 1, 2012. – P. 21 – 26.
 11. Gorbunov N. Method of determining the parameters of improved railway brake equipment / N. Gorbunov, E. Kravchenko, O. Prosvirova, O. Nozgenko, M. Kovtanets, S. Mokrousov, S. Kara // TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture – 2015, Vol. 15, No.2, 33-38.
 12. Металлические конструкции: справ. проектировщика. В 3 т. Т. 1. Общая часть / под общ. ред. В.В. Кузнецова. – М.: Изд-во АСВ, 1998. – 576 с.
 - mashynobuduvanni / O.V. Fomin, M.I. Horbunov, A.A. Stets'ko, V.V. Kovalenko // Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnoho ekonomiko-tekhnologichnoho universytetu transportu Ministerstva osvity i nauky Ukrainy: Seriya «Transportni systemy i tekhnolohiyi». – Kyiv: DETUT, 2016. – Vyp. 29. – pp. 37-53.
 5. Lovska A., Rybin A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2016, no. 3, pp. 4–8.
 6. Tartakovskij E.D., Grishhenko S.G., Kalabuhin Yu.Ye., Falendysh A.P. Metody ocenki zhiznennogo cikla tjavogogo podvizhnogo sostava zheleznykh dorog: monografiya [Methods for evaluation of traction rolling stock of the life cycle: a monograph]. Lugansk, Noulidzh Publ., 2006, 173 p.
 7. Panchenko S.V., Butko T.V., Prokhorchenko A.V., Parkhomenko L.O. // Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises // Natsional'nyi Hirnychiy Universytet. Naukovyi Visnyk. 2016, Vol. 2, pp. 93–99.
 8. RD 24.050.37-90 «Vahony vantazhni i pasazhyr's'ki. Metody vyprobuvan' na natsnist' i khodovi yakosti»
 9. Normy dlya rozrakhunku i proektuvannya vahoniv zaloznykh dorih MPS koliiyi 1520 mm (nesamokhidnykh) i zminy ta dopovnennya. - M.: DerzhNDI - VNYZZHT, 1996. - 319 s.
 10. Mohyla V. The use of biofuel on the railway transport / V. Mohyla, I. Vasyliiev, E. Nozhenko // Int. Sci. J. "Transport Problems". – Gliwice, Volume 7, Issue 1, 2012. – P. 21 – 26.
 11. Gorbunov N. Method of determining the parameters of improved railway brake equipment / N. Gorbunov, E. Kravchenko, O. Prosvirova, O. Nozgenko, M. Kovtanets, S. Mokrousov, S. Kara // TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture – 2015, Vol. 15, No.2, 33-38.
 12. Metallicheskie konstrukcii: sprav. proektirovshhika [The metal constructions: interior. proektyrovshchika]. In 3 t. T. 1. General part / Pod Society. Ed. V.V. Kuznetsova. - M.: Publishing House of the DIA, 1998. - 576 p.

References

1. Fomin, O.V. Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014 (5). P. 31-43.
2. Fomin, O.V. Increase of the freight wagons ideality degree and prognostication of their evolution stages / O.V. Fomin // Scientific Bulletin of National Mining University . 2015 (2). P. 68-76.
3. Fomin O.V. Teoretychni osnovy programnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vagoniv [Theoretical Foundations software package definition and use of mathematical models of components of freight wagons]. Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrograds'koho [Bulletin of the Kremenchug National University Mykhailo Ostrohradskiy]. Kremenchug, 2013, no. 6, pp. 87–91.
4. Fomin, O.V. Mozhlyvosti zastosuvannya poperedn'o napruzhenykh konstruktсий v zaliznychnomu

Фомін А.В., Стецько А.А., Коваленко В.В. Систематизація конструктивно-технологічного ввєдрення передварительно напружених и/или деформированих составляющих грузовых вагонов по критерию действующих нагрузок на этапах жизненного цикла.

В статтє структурированы в графическом виде и приведены возможности конструктивного ввєдрения передварительно напружених и/или деформированих составляющих грузовых вагонов нового поколения. Предложенные теоретические положения по ввєдрению передварительно напружених и/или деформированих составляющих в конструкции грузовых вагонов в соответствии с возможными вариантами действия нагрузок на этапах жизненного цикла. Также в работе в общем плане приведены физическое основание ввєдрения передварительно напружених и/или деформированих составляющих в конструкции грузовых вагонов и пример реализации такого подхода.

Ключевые слова: грузовые вагоны, передварительно напруженное и/или деформированное состояние, расчетные нагрузки на этапах жизненного цикла.

Fomin A., Stetsko A., Kovalenko V. Systematization of constructive-technological implementation of prestressed and/or deformed components of freight cars on the criterion loads on the stages lifecycle.

The article graphically structured and constructive implementation possibilities are prestressed and/or distorted components of freight cars of new generation. The theoretical position on the introduction of prestressed and/or deformed components in the design of freight wagons in accordance with possible cases of stresses on the stages of the life cycle. Also work in general terms, are the physical basis of prestressed implementation and/or deformed components in the construction of freight cars and an example of this approach.

Keywords: freight cars, previous stressful and/or deformation, calculated load on the stages of the life cycle.

Фомін О.В. – д.т.н., професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ, e-mail: fomin1985@list.ru.

Стецько А.А. – старший викладач кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ, e-mail: stetsko.anton@mail.ru.

Коваленко В.В. – аспірант кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Сєверодонецьк, e-mail: kkaterina@ukr.net.

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 01.03.2017