УДК 629.463.65 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.159.2016.67018

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ КУЗОВА НАПІВВАГОНА ТА ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ЙОГО КОНСТРУКЦІЇ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЦНОСТІ І ЗБЕРЕЖЕННЯ

Канд. техн. наук Р.І. Візняк, інж. І.В. Чепурченко, магістрант А.О. Яценко

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК КУЗОВА ПОЛУВАГОНА И ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЕГО КОНСТРУКЦИИ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И СОХРАННОСТИ

Канд. техн. наук Р.І. Візняк, інж. І.В. Чепурченко, магістрант А.О. Яценко

FEATURES OF IDENTIFYING OPERATIONAL LOADS THE BODY OF OPEN-TOP CAR AND WAYS OF IMPROVING ITS DESIGN TO ENSURE DURABILITY AND PRESERVATION

Ph.d., Associate Professor R. Viznyak, Engineer I. Chepurchenko, master student A.Yatsenko

У статті разглянуто фактори, що впливають на міцність універсальних напіввагонів у експлуатації, проведено аналіз їх характерних пошкоджень і несправностей. Побудовано скінченноелементні моделі конструкції і виконано оцінювання напружено-деформованого стану. Запропоновано заходи щодо посилення і модернізації слабких місць конструкції кузова, які зазнають впливу значних знакозмінних навантажень при першому режимі експлуатації і виконанні розвантажувальних робіт.

Ключові слова: *кузов напіввагона, несуча конструкція, насипний вантаж, розвантажувальні роботи, пошкодження та несправності, міцність та збереження, удосконалення конструкції.*

В статье рассмотрены факторы, влияющие на прочность универсальных полувагонов в эксплуатации, проведен анализ их характерных повреждений и неисправностей. Построены конечноэлементные модели конструкции и произведена оценка напряженно-деформированного состояния. Предложены мероприятия по усилению и модернизации слабых мест конструкции кузова, подверженных значительным знакопеременным нагружениям при первом режиме эксплуатации и выполнении разгрузочных работ.

Ключевые слова: *кузов полувагона,несущая конструкция, насыпной груз, разгрузочные работы, повреждения и неисправности, прочность, сохранность, усовершенствование конструкции.*

The article describes the factors influencing the strength of universal gondolas in operation, the analysis of their typical damages and malfunctions. Proposed measures to enhance and modernize the weaknesses of the body structure, prone to significant alternating sign undergo continuous weighting when first operating mode and performing operations. This article contains information about the strength and reliability of universal gondola cars, the analysis of their typical damages and malfunctions. Finite element models built designs and rated tensely-deformed state. Proposed solution to enhance and modernize the structure of one of the important elements of the body work of the car-a smart host that is prone to significant continuous operation. The article deals with the structural performance and operational loads acting in the exercise for of loading

and unloading by means of mechanization. Calculate made the strength of the current and future covers of open-top car.

Keywords: *body carriage, carrier, bulk cargo, unloading, damage,malfunctions, durability, safety, improvement of construction.*

Вступ. У статті розглянуто заходи зі зміцнення та модернізації конструкції важливих елементів кузова – проміжних вузлів заділок вертикальних стояків та балок несучого каркаса і кришок люків підлоги з метою забезпечення міцності і збереження напіввагонів (НПВ) у експлуатації.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Несуча конструкція існуючих НПВ принципово не змінювалася з 70-х років минулого століття, тобто кузовна і каркасна частини потребують значних удосконалень та зміни конструкції, для того щоб відповідати сучасним тенденціям світового вагонобудування та потребам і вимогам вантажоперевізників, де важливими аспектами є підвищення вантажопідйомності, швидкості руху та загалом міцності. Вихід у неробочий парк напіввагонів, які не пройшли гарантований післяремонтний пробіг, здебільшого є наслідком пошкоджень елементів кузова при здійсненні вантажно-розвантажувальних робіт (ВРР) з порушенням діючих нормативних документів. Ця тенденція чітко спостерігається в портах, на розвантажувальних майданчиках промислових підприємств та електростанціях, де йде масове вивантаження насипних і навалочних вантажів з НПВ за допомогою підйомних кранів, що обладнані грейферними ковшами [1,2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. З метою проведення досліджень для оцінки міцності елементів несучої конструкції кузовів суцільнометалевих НПВ було здійснено їх натурний огляд, збирання та систематизацію статистичних даних характерних пошкоджень при розвантажувальних операціях (РО). Головним чином приділялася увага характерним несправностям і пошкодженням, що відповідають застосуванню існуючих технічних засобів при виконанні РО згідно з опрацьованою авторською класифікацією. Виявлено, що вузли заділок стояків кузова та балок рами і кришки розвантажувальних люків НПВ найбільше зазнають руйнівного впливу, оскільки сприймають знакозмінні навантаження, які виникають у процесі експлуатації та при РО. Найбільш поширеною причиною пошкоджень у вигляді обривів у вузлах заділок та залишкових прогинів у елементах конструкції кришки люка є недотримання державних стандартів, які регламентують параметри та нормативи для використання засобів механізації [3,4].

Визначення мети та задачі дослідження. Для оцінювання технічного стану НПВ на початковому етапі було вибірково обстежено більше 500 НПВ різних моделей. Зібраний ряд пошкоджень фіксувався за конструкційними вузлами кузова і класифікувався детальніше за елементами конструкції окремого вузла. Таким чином, було поставлено мету дослідження міцності і збереження НПВ, розроблення рекомендацій і заходів щодо її забезпечення. При побудові відповідних гістограм закону розподілення несправностей функції P(t) визначено, що найменш надійними елементами конструкції кузова НПВ в експлуатації є підлога, що створена кришками люків, торцеві стіни, але особливо вузли заділок проміжних бокових стояків з рамою [6]. В експлуатації саме ці елементи зазнають масової кількості пошкоджень та отримують різні за характером складності несправності. Тому як задачі дослідження, що спрямовані на забезпечення міцності

цих елементів конструкції, має бути розглянуто напрямки зміцнення їх найбільш слабких місць шляхом доопрацювання існуючих і дано відповідні рекомендації.

Основна частина дослідження. Для вирішення задачі з визначення найбільш завантажених вузлів з метою їх подальшого удосконалення було побудовано і використано тривимірну модель універсального НПВ 12-757 у програмному комплексі SolidWorks 2012, згідно з аналізом рекомендацій [8-11]. З наведених розрахунків (рис. 1) видно, що вузол з'єднання стояка бокової стіни з рамою є одним з найбільш завантажених частин кузова НПВ. Це пов'язано з кінематикою прикладення зусиль розпору та зовнішніх сил від ваги вантажу. Найбільші значення напружень виявлені у зонах вузлів стояків та балок посередині довжини рами із зовнішнього боку, де вони працюють на стискання і часто перевищують припустимі значення [5]. З метою відведення та розподілення концентрації напружень запропоновано спеціальну підсилюючу металеву накладку товщиною 20 мм (рис. 2). Вузол задовольняє межі міцності сталі, яка використовується у вагонобудуванні, але вже при проектуванні конструкційних вузлів нових зразків НПВ.

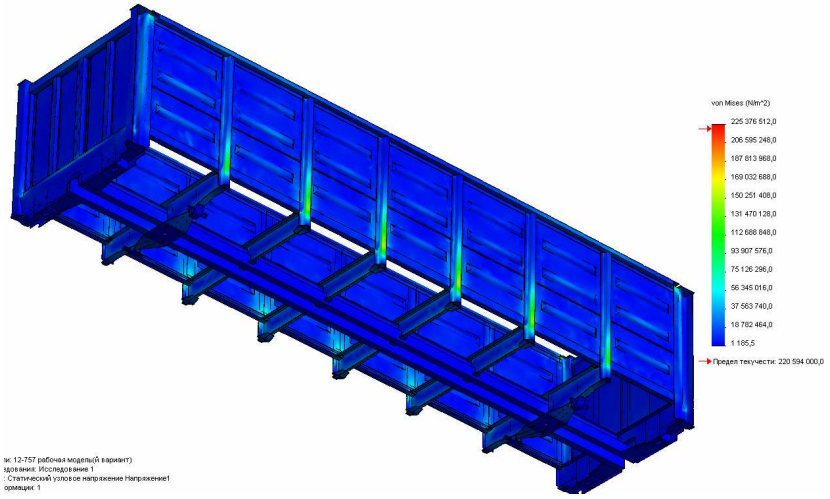

Рис. 1. Розподіл полів напружень у конструкції кузова

а б

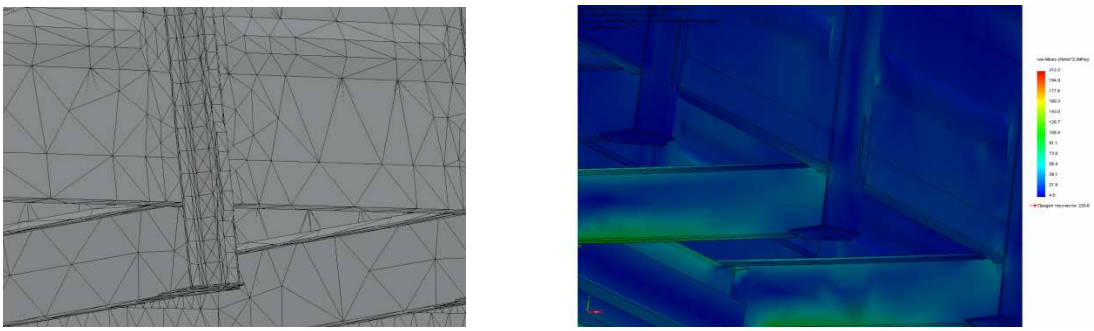

Рис. 2. СЕМ підсиленого вузла заділки стояка з балкою:
а – з нанесенням сітки; б – з визначенням полів напружень за першим режимом

Шляхом установлення спеціально спроектованого підсилення у конструкцію вузла заділки вертикального стояка несучої конструкції кузова вдалося зменшити

концентрацію напружень, які виникають унаслідок прикладання зусиль розпору насипного вантажу і позитивно перерозподілити їх на балки рами, які мають суттєво більший запас міцності і працюють на вигин. Максимальні напруження не перевищили 212 МПа і перебувають у рамках межі текучості сталей [5], які використовуються у вагонобудуванні для несучої конструкції НПВ та значно менші від величини напружень, ніж у непідсиленому стояку.

Стосовно кришок розвантажувальних люків НПВ,вони є допоміжними несучими елементами і являють собою комбіновану конструкцію, що складається з каркаса рамного типу і гофрованого листа, з'єднаних поміж собою електродуговим контактним зварюванням. Жорсткість на вигин обв'язки і середньої балки значно більше від жорсткості листа як пластинчастого елемента.

Для з’ясування особливостей динамічної взаємодії кришки люка з грейфером було прийнято обмеження – випадок центрального поперечного удару щелепи грейфера по кришці з урахуванням впливу місцевих деформацій у точках контакту, що відповідає кінцевій стадії вивантаження (рис. 3). Коливаннями грейфера, як пружного ударного тіла, нехтували, а відхилення балок каркаса кришки описувалося за допомогою диференціальних рівнянь теорії одновимірних коливань. Ударні навантаження, що діють на кришки люків НПВ, є найбільш небезпечними для міцності їх конструкційних елементів. Розрахункові напруження склали від 300 до 6000 МПа для грейферів різних мас при стандартних швидкостях опускання, що значно вище тих, що припускалися [4,5]. Дані розрахунку з розвантажувальних швидкостей грейфера показали, що величина прогинів досягає 70 мм і більше, тобто грейферне вивантаження призводить до пошкоджень елементів кузовів НПВ і в загальному випадку – до зниження їх міцності і збереження, що остаточно негативно позначається на їх надійності в експлуатації.

а б

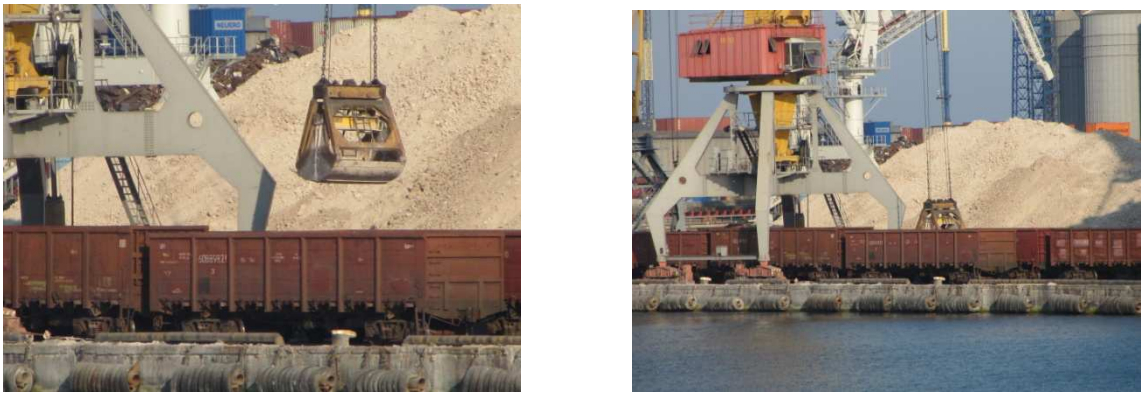

Рис. 3. Кінцева стадія розвантаження НПВ:
а – грейфер над кузовом; б – грейфер на підлозі кузова

Одним з альтернативних рішень цієї проблеми може бути створення нової конструкції кришки люка, яка буде забезпечувати достатню міцність у порівнянні з існуючою конструкцією. Кришка люка напіввагона є комплектуючим елементом НПВ і призначена для установлення на 4- та 8-вісні кузови. Існуюча конструкція кришки люка не відповідає тим навантаженням, які вона

сприймає при розвантаженні грейферним способом. Для забезпечення достатньої міцності та уникнення появи остаточних деформацій запропонована нова конструкція кришки люка. Переважною особливістю цієї кришки люка є посилене виконання обв'язки, гладкий лист обшивки та установлення литих кронштейнів. Також у конструкції є додаткові розкоси для забезпечення достатньої міцності. Крім цього, можлива модифікація кришки люка з кронштейнами з кутикового профілю.

Для оцінювання міцності при прийнятих конструкційних рішеннях було проведено розрахунки за допомогою методу скінченних елементів. Навантаження кришки обумовлене імітацією власної ваги насипного вантажу з урахуванням найбільш несприятливого розподілення зусиль. Найбільші значення напружень були виявлені в районі закріплення петель та приварки опорних кронштейнів, але для високоміцних марок сталей, що використані при побудові кришки (alform600, $\sigma_т$=600 МПа), вони не наближаються до межі текучості. Конструкція працює в умовах пружної деформації, де значення максимальних еквівалентних напружень не перевищують гранично допустимих значень межі текучості сталі [6]. Величини напружень, МПа, позначено на рис. 4.

а) б)

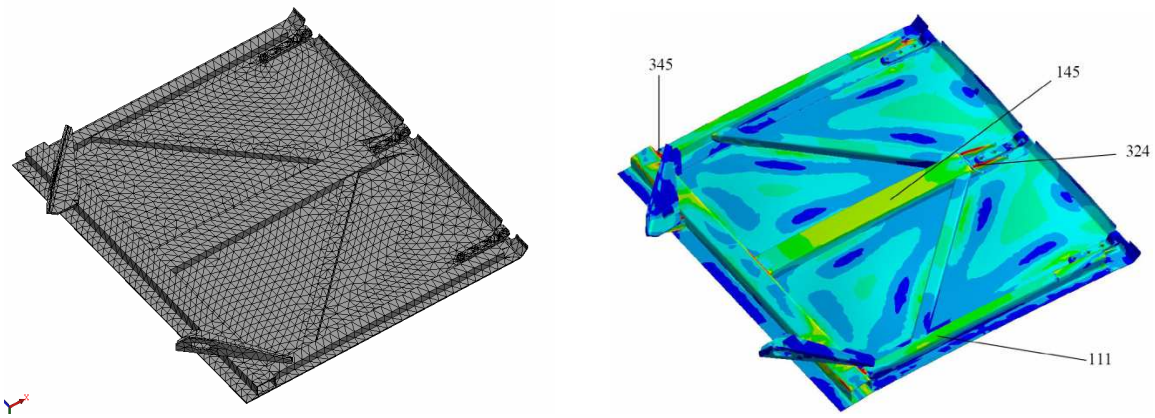

Рис. 4. Кришка люка удосконаленої конструкції:
а – скінчено-елементна модель кришки люка; б – напружений стан при завантаженні

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. При існуючій механізації та недотриманні вимог нормативних документів для здійснення вантажно-розвантажувальних операцій існуюча конструкція НПВ і далі буде схильна до пошкоджень і несправностей, що вимусить переводити вагони до неробочого парку з передбачуваними матеріальними наслідками для вантажовідправників та вантажоприймачів.

Для забезпечення міцності НПВ і при проектуванні їх нових зразків необхідно передбачити такі конструкційні рішення, які даватимуть змогу краще адаптувати вагони до класичних способів ВРР і значно покращити збереження парку вантажного рухомого складу в цілому.

Проведені дослідження існуючої конструкції кришки люка НПВ від дії реальних навантажень, які виникають у процесі експлуатації, дають змогу зробити висновок, що напруження та деформації перевищують допустимі граничні значення межі текучості матеріалу. Для підвищення міцності і збереження НПВ запропонована нова конструкція кришки люка з гладким

листом обшивки, яка може мати суттєві конструкційно-експлуатаційні та технологічні переваги.

Необхідно поступово заміняти грейферний спосіб вивантаження з НПВ насипних вантажів на нові засоби, що відповідають вимогам сумісності, міцності і збереження НПВ, наприклад, згідно з [7], упроваджувати нове високотехнологічне розвантажувальне обладнання у виробництво, удосконалювати конструкційні елементи НПВ з метою їх зміцнення та адаптування під важкі умови експлуатації.

Список використаних джерел

1. Сендеров, Г.К. Исследование основных причин повреждаемости полувагонов на дорогах Урала и Сибири и предложения по их сохранности [Текст]: автореф. дис… канд. техн. наук / Г.К. Сендеров. – М.:ВНИИЖТ, 1964. – 18 с.
2. Сендеров, Г.К. Обеспечение сохранности полувагонов при грейферной выгрузке грузов [Текст] / Г.К. Сендеров, Е.В. Глаголев, Е.А. Поздина // Железнодорожный транспорт. Сер. Вагоны и вагонное хозяйство. Ремонт вагонов: ЭИ / ЦНИИТЭИ МПС. – М., 2001. – Вып.1. – С. 1-8.
3. ДСТУ ГОСТ 22235-76. Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневрових работ [Текст]. – М., 1999. – 85 с.
4. ДСТУ ГОСТ 24599-87. Грейферы канатные для навалочных грузов. Общие технические условия [Текст]. – М., 1997. – 48 с.
5. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М., 1996. – 258 с.
6. Устич, П.А. Надежность рельсового нетягового подвижного состава [Текст] / П.А. Устич, В.А. Карпычев, М.Н. Овечников. – М.: Вариант, 1999. – 416 с.
7. Візняк, Р.І. Піввагон і грейфер: вічна проблема несумісності [Текст] / Р.І. Візняк, І.В. Чепурченко, В.О. Шевченко // Вагонный парк. – 2011. – №1. – С. 24-28.
8. Anyakwo A. Modelling rail vehicle dynamics using a novel 2d wheel-rail contact model [Text] / A. Anyakwo, C. Pislaru, A. Ball // Electrical and Electronics Engineers. – 2013. – №5. – P. 463-468.
9. Huang Z. The longitudinal dynamics of heavy-haul trains in the asynchronous brake control system [Text] / Z. Huang, H. Tong, Y. Fan // Electrical and Electronics Engineers. – 2010. – №3. – P. 900-903.
10. Ansari M. Longitudinal dynamics of freight trains [Text] / M. Ansari, E. Esmailzadeh, D.Younesian [Text] // International journal of heavy vehicle systems. – 2009. – № 16(1-2). – P. 102-131.
11. Bruni S. Modelling of suspension components in a rail vehicle dynemics context [Text] / S.Bruni, J.Vinolas, M.Berg, O.Polach, S.Stichel // Vehicle system dynemics / IEEE. – 2011. – № 49(7). – P. 1021-1072.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.В. Лаврухін

Візняк Руслан Іванович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)7301035. E-mail:viz-kart@edu.ua.
Чепурченко Ілля Вадимович, інженер. Тел.: (057)3383878. E-mail: ilyadrums@rambler.ru.
Яценко Анастасія Олексіївна, магістрант кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)7301035.

Viznyak Ruslan Ivanovich Ph.D., Associate Professor department of cars, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)7301035. E-mail:viz-kart@edu.ua.
Chepurchenko Illiya Vadimovich, engineer. Тел.: (057)3383878. E-mail: ilyadrums@rambler.ru.
Yatsenko Anastasiya Oleksiivna, Master student, department of cars, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)7301035.

Прийнята 25.02.2016 р.