

УДК 629.463.65

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.158.2015.63278>

## УДОСКОНАЛЕННЯ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ КУЗОВА НАПІВВАГОНА З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЙОГО МІЦНОСТІ ПРИ МАНЕВРОВИХ СПІВУДАРЕННЯХ

Канд. техн. наук А.О. Ловська, магістрант Ю.Ю. Шафунов

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ КУЗОВА ПОЛУВАГОНА С ЦЕЛЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕГО ПРОЧНОСТИ ПРИ МАНЕВРОВЫХ СОУДАРЕНИЯХ

Канд. техн. наук А.А. Ловская, магистрант Ю.Ю. Шафунов

## IMPROVEMENT OF A CARRYING STRUCTURE OF OPEN-TOP WAGON WITH THE PURPOSE OF PROVIDING OF HIS DURABILITY AT HITTING

Cand. of techn. sciences A.A. Lovskaya, masterstudent Yu.Yu. Shafunov

*У статті наведено результати досліджень міцності несучої конструкції кузова напіввагона в умовах маневрових співударень. Виявлено зони кузова напіввагона, які зазнають найбільшої концентрації напружень в умовах співударення. З метою забезпечення міцності кузова напіввагона запропоновано заходи щодо удосконалення його несучої конструкції.*

**Ключові слова:** напіввагон, рама, напружено-деформований стан, міцність, удосконалення конструкції.

*В статье представлены результаты исследований прочности несущей конструкции кузова полувагона при маневровых соударениях. Выявлены зоны кузова полувагона, которые поддаются наибольшей концентрации напряжений в условиях соударения. С целью обеспечения прочности кузова полувагона предложены мероприятия по усовершенствованию его несущей конструкции.*

**Ключевые слова:** полувагон, рама, напряженно-деформированное состояние, прочность, усовершенствование конструкции.

*The article presents the results of investigations of the strength of the supporting structure of the body open-top wagon at shunting impacts taking into account the different speeds. Research literature on the safety of wagon fleet during the manoeuvres showed that the speed of collision of the wagons in operation exceed the standard. This causes increased force loading bearing structures gondola body and damaging them. Almost half of all injuries in new wagons occurs when the dissolution from the hills. The greatest percentage of damages falls on the supporting structures of wagon bodies.*

*With the aim of ensuring the strength of bodies of wagons during shunting impacts to meet the increasing speeds of the improved load-bearing structures, by putting on the most loaded areas of the frame reinforcing plates. The thickness of the lining is selected proceeding from the condition of ensuring the strength. Calculation of the strength of the body of a wagon carried out using the finite element method.*

*The results of the calculation of the strength of the body of the wagon with respect to the proposed activities, allowed us to conclude about the feasibility of the technical solutions. In addition, proposed measures for improvement of the supporting structure body of a open-top wagon allow you to maintain the technical condition at the existing repair facilities.*

**Keywords:** open-top wagon, frame, strength-deformed state, durability, improvement of a structure.

**Вступ.** Ефективність роботи залізничного транспорту здебільшого залежить від технічного стану рухомого складу. Ступінь поповнення вагонного парку Укрзалізниці за останні роки є незначним. Це зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію нових інноваційних рішень щодо

удосконалення несучих конструкцій кузовів вагонів, технологій їх ремонту тощо, які дозволять підтримувати технічний стан рухомого складу при існуючій ремонтній базі.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями.**

Підвищення інтенсивності експлуатації вантажних вагонів супроводжується збільшенням швидкостей їх співударянь при маневрових операціях, а отже, і підвищенням силових навантажень на їхні несучі конструкції [1].

Аналіз статистичних даних пошкоджень вагонів при здійсненні маневрових операцій, що зафіксовані в умовах Донецької залізниці за останні роки, показав, що найбільша кількість пошкоджень припадає на їхні несучі конструкції. Тому необхідним є розроблення заходів, спрямованих на забезпечення міцності вагонів при маневрових співударяннях.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** З метою забезпечення міцності кузова напіввагона при маневрових співударяннях ведуться роботи щодо удосконалення його несучої конструкції. Відома рама вагона, запропонована російськими конструкторами [2].

Шворнева балка зв'язана з хребтовою за допомогою додаткових підсилюючих елементів, з яких короткі спрямовані в бік центра рами. Підсилюючі елементи виконано у вигляді пластин і встановлено паралельно повздовжній осі хребтової балки. При цьому кожна з пластин встик сполучена з нижнім листом шворневої балки та приварена до нижньої полиці зетподібного профілю хребтової балки, перекриваючи при цьому повздовжню крайню грань.

Недоліком зазначеного удосконалення є недостатнє забезпечення міцності несучої конструкції кузова напіввагона при маневрових співударяннях з урахуванням підвищених швидкостей.

Для підвищення міцності консольної частини рами вагона ЗАТ “Инженерный центр Объединения вагоностроителей” (Росія) запропонував нову конструкцію шворневої балки, яка включає поперечну до повздовжньої осі вагона балку прямокутного перерізу, верхні та нижні листи, вертикальні діафрагми, що зв'язують їх в єдину конструкцію, паралельні повздовжній осі вагона, а також вертикальні поперечні листи.

На нижніх листах шворневої балки встановлено ковзуни та п'ятник. Вирізи в нижніх листах дозволяють розмістити авторежим гальмівної системи вагона.

Вертикальні поперечні листи встановлено з віяловою розбіжністю у бік від повздовжньої осі вагона, що дозволяє

підвищити надійність і міцність шворневої балки рами [3].

Недоліком запропонованої конструкції шворневої балки є підвищена маса порівняно з прототипом.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою досліджень, які наведені в статті, є удосконалення несучої конструкції кузова напіввагона з метою забезпечення його міцності при маневрових співударяннях. Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

1. Провести дослідження міцності несучої конструкції кузова напіввагона з урахуванням різних швидкостей маневрових співударянь.

2. Розробити заходи щодо забезпечення міцності несучої конструкції кузова напіввагона при маневрових співударяннях.

**Основна частина дослідження.** Для дослідження міцності несучої конструкції кузова напіввагона в умовах маневрових співударянь побудовано його просторову модель у середовищі програмного забезпечення SolidWorks (версія 2015) [4-6]. У якості вагона-прототипу обрано напіввагон моделі 12-757 побудови ПАТ “КВБЗ”.

Розрахунок на міцність проведено з використанням методу скінчених елементів [7-9] у середовищі програмного забезпечення CosmosWorks. При визначенні кількості елементів сітки застосовано графо-аналітичний метод. У якості скінчених елементів застосовувалися десятивузлові ізопараметричні тетраедри.

Скінчено-елементну модель (СЕМ) напіввагона наведено на рис. 1. Кількість елементів сітки склала 473652, вузлів – 154365. При цьому максимальний розмір елемента склав 80 мм, мінімальний – 16 мм, максимальне співвідношення боків – 566,7, відсоток елементів зі співвідношенням боків менше 3 – 25, більше 10 – 27,4. Мінімальна кількість елементів у колі склала 9, співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,7.

При складанні моделі не враховано зварні шви в зонах взаємодії окремих елементів конструкції кузова між собою.

Для виявлення зон конструкції кузова напіввагона, які зазнають найбільших навантажень при маневрових співударяннях, проведено розрахунок на міцність з урахуванням різних швидкостей співударяння.

Схема прикладення ударного навантаження  $P_{y\delta}$  до несучої конструкції кузова напіввагона при маневровому співударянні наведена на рис. 2.

Закріплення моделі здійснювалося в зонах обпирання кузова на ходові частини, а також за задній упор автозчіпного пристрою,

розміщений з протилежного боку від прикладення ударного навантаження.

Результати розрахунку на міцність несучої конструкції кузова напіввагона при маневровому співударянні з різними швидкостями наведено в таблиці.

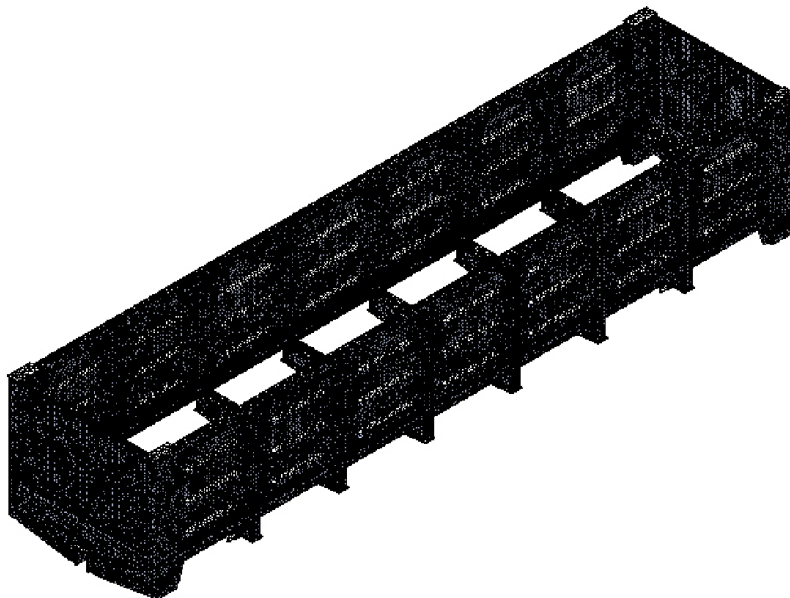


Рис. 1. СЕМ несучої конструкції кузова напіввагона

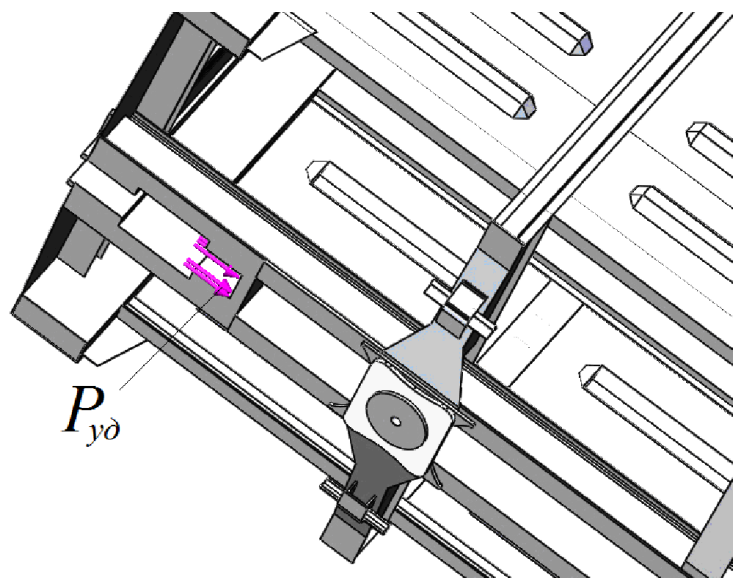


Рис. 2. Схема прикладення ударного навантаження до несучої конструкції кузова напіввагона при маневровому співударянні

Таблиця

Результати розрахунку на міцність несучої конструкції кузова напіввагона при маневровому співударянні

Показник	Швидкість співударяння напіввагона, км/год				
	3	4	5	7	15
Напруження, МПа	195,3	257,7	339,4	485,4	1016
Переміщення у вузлах, мм	3,36	3,46	3,62	3,9	5,16
Деформації	$2,86 \cdot 10^{-3}$	$2,86 \cdot 10^{-3}$	$2,85 \cdot 10^{-3}$	$2,84 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^{-3}$

З таблиці видно, що максимальні еквівалентні напруження в несучій конструкції кузова напіввагону знаходяться в межах допустимих при швидкостях співударяння до 5 км/год, а при її збільшенні до 7 км/год та 15 км/год, що має місце в умовах експлуатації, напруження перевищують допустимі [10], відповідно, на 29% та 66%.

З метою забезпечення міцності несучої конструкції кузова напіввагону в умовах маневрових співударянь пропонується постановка на зовнішню частину нижньої полки зетподібного профілю хребтової балки підсилюючих накладок, довжина яких дорівнює довжині від заднього упору автозчепу до нижнього листа шворневої балки (рис. 3).

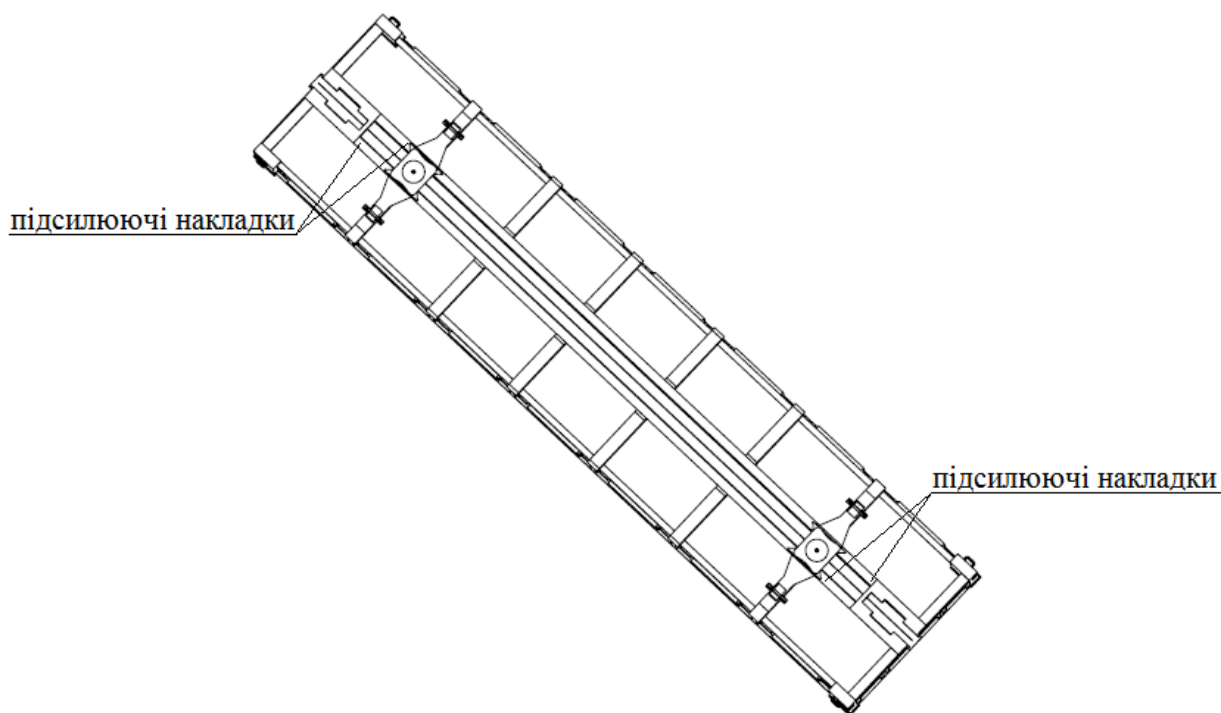


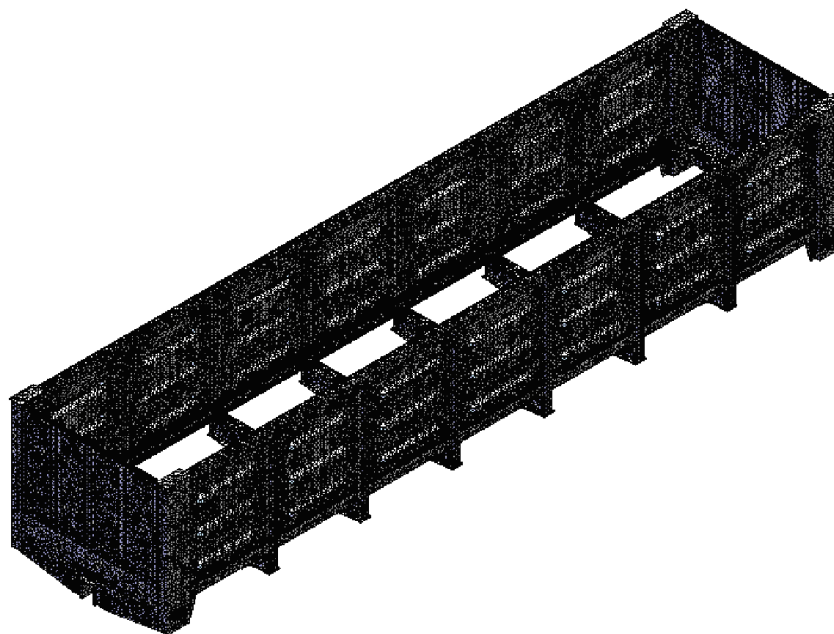
Рис. 3. Розміщення підсилюючих накладок на рамі напіввагона

Товщина накладки вибрана виходячи з умови забезпечення міцності несучої конструкції кузова напіввагона при маневрових співударяннях. При цьому розрахункова швидкість співударяння прийнята рівною середній швидкості співударяння вагонів при маневрових операціях, яка, за результатами

досліджень, наведених у роботі [1], перевищує нормативну на 40 %.

Для дослідження міцності кузова напіввагона з урахуванням заходів щодо удосконалення його несучої конструкції проведено розрахунок. СЕМ кузова напіввагона наведено на рис. 4.

а)



б)

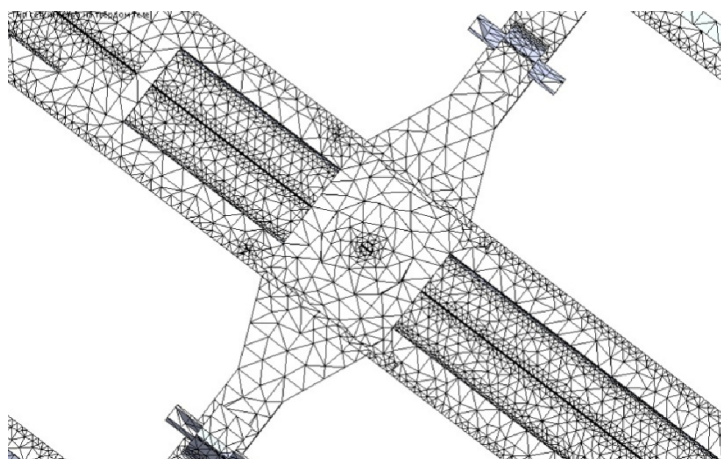


Рис. 4 СЕМ кузова напіввагона з урахуванням заходів щодо удосконалення його несучої конструкції:  
а – загальний вигляд; б – фрагмент сітки в зоні встановлення підсилюючих накладок

Кількість елементів сітки склала 493357, вузлів – 159910. При цьому максимальний розмір елемента склав 80 мм, мінімальний – 16 мм, максимальне співвідношення боків – 680,33, відсоток елементів зі співвідношенням боків менше 3 – 25,7, більше 10 – 26,3. Мінімальна кількість елементів у колі склала 9, співвідношення збільшення розмірів елементів у сітці – 1,8.

Результати розрахунків на міцність при швидкості співударяння вагона 7 км/год наведено на рис. 5.

З проведених досліджень можна зробити висновок, що найбільша величина напружень складає близько 334 МПа, що нижче напружень плинності матеріалу конструкції на 3 % [10]. Максимальні переміщення в конструкції виникають у середній частині рами вагона та складають – 4,4 мм, деформації в конструкції становлять  $2,7 \cdot 10^{-3}$ .

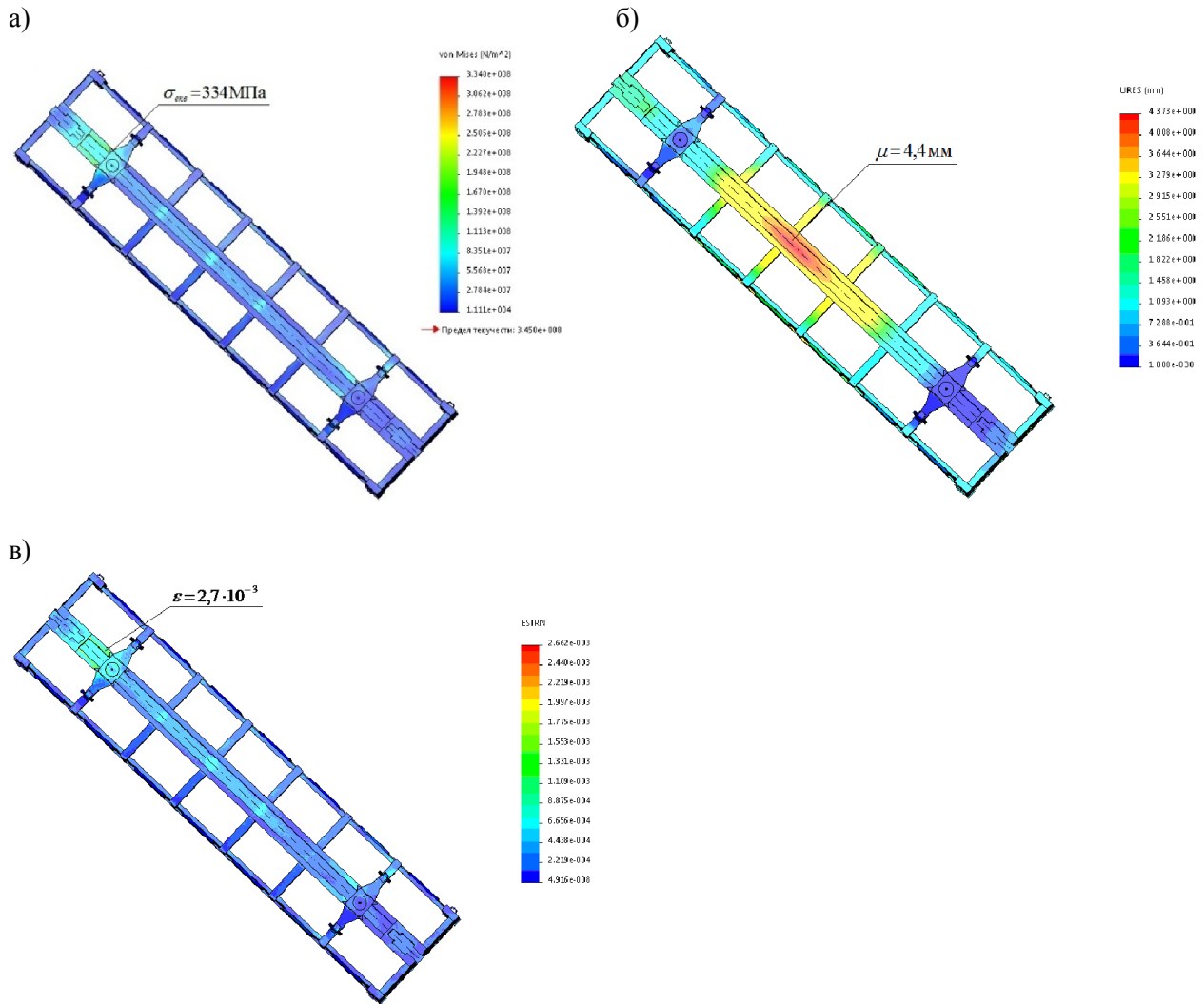


Рис. 5. Результати розрахунку на міцність несучої конструкції кузова напіввагона при маневровому співударянні зі швидкістю 7 км/год:  
а – напружений стан; б – переміщення в вузлах; в – деформації

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що запропоновані заходи дозволяють забезпечити міцність несучої конструкції

кузовів напіввагонів при маневрових операціях з урахуванням підвищених швидкостей співударяння, а також підтримувати технічний ресурс напіввагона при існуючій ремонтній базі.

#### Список використаних джерел

1. Сендеров Г.К. Сохранность вагонов при погрузочно-разгрузочных и маневровых работах [Текст] / Г.К. Сендеров, П.Р. Лосев, С.А. Другаль. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1984. – 158 с.
2. Рама кузова полувагона [Текст]: пат. 2325295 Россия: МПК<sup>7</sup> B61D / Курочкин А.С., Удалова О.В., Агинских М.В., Михина И.Н., Старостин Г.А., Васильева Е.С., Поликарпов А.А., Галиева И.В., Васильева Л.М., Андронов В.А., Тиссен А.И., Ефимов В.П., Левин А.Б., Пасенко А.Н., Демин К.П.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество “Инженерный центр Объединения вагоностроителей”. – № 2005109634/11; заявл. 17.11.03; опубл. 27.07.04; Бюл. № 15. – 9 с.

3. Шкворневая балка рамы вагона [Текст]: пат. 44612 Россия: МПК<sup>7</sup> B61D / Битюцкий А.А., Савушкин Р.А.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество “Инженерный центр Объединения вагоностроителей” – № 2004130090; заявл. 14.10.04; опубл. 27.03.05; Бюл. № 7. – 7 с.
4. Алямовский, А.А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Инженерный анализ методом конечных элементов [Текст] / А.А. Алямовский. – М.: ДМК, 2007. – 784 с.
5. Прерис, А.М. SolidWorks 2005/2006 [Текст]: учеб. курс / А.М. Прерис. – Питер, 2006. – 528 с.
6. Прохоренко, В.П. SolidWorks 2005 [Текст]: практ. руководство / В.П. Прохоренко. – М.: ООО “Бином – Пресс”, 2006. – 512 с.
7. Галлагер, Р. Метод конечных элементов [Текст] / Р. Галлагер. – М.: Мир, 1984. – 428 с.
8. Пастухов, И.Ф. Расчет вагонных конструкций методом конечных элементов [Текст] / И.Ф. Пастухов, В.В. Пигунов. – Гомель, 1991. – 126 с.
9. Туренко, А.Н. Компьютерное моделирование и расчет на прочность деталей автомобиля [Текст]: учеб. пособие / А.Н. Туренко, В.А. Богомолов, А.С. Степченко [и др.]. – Харьков: ХНАДУ, 2003. – 336 с.
10. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор І.Е. Мартинов

---

Ловська Альона Олександрівна, канд. техн. наук, доцент, кафедра вагонів, Український державний університет залізничного транспорту Тел.: (057)730-10-35.

Шафунов Юрій Юрійович, студент-магістрант, кафедра вагонів, Український державний університет залізничного транспорту.

Lovskaya Alyona Aleksandrovna, cand. of technical sciences, associate Professor, chair Wagons, The Ukrainian state university of railway transport. Tel.: (057)730-10-35.

Shafunov Yuriy Yuriyovych student-master, chair Wagons, The Ukrainian state university of railway transport.

Наукова праця здана до друку 15.09.2015 р.