

УДК [629.45-592:621.313.12]/001.5:001.891.5

О. В. Фомін, д.т.н., доцент

(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство», Державний університет інфраструктури та технологій)

Д. В. Федосов-Ніконов,

(старший науковий співробітник, Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»)

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ДОВГОБАЗНОГО ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ НА МІЦНІСТЬ

У статті розглянуто питання щодо міцності основних несучих елементів конструкції довгобазного вагона-платформи, застосування спеціальних методів теоретичного і експериментального характеру. Виконано аналіз розрахунку елементів рами на втому.

Ключові слова: довгобазні вагони-платформи, міцність елементів, коефіцієнт запасу опору втоми, розрахункові та експериментальні напруження.

Постановка проблеми. Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2008 р. № 1259 передбачено оновлення вантажного вагонного парку у 2008 – 2020 рр. Оновлення парку передбачається вагонами з сучасним рівнем техніко-економічних та експлуатаційних показників. Для вирішення цього завдання на сучасному рівні були розроблені та поставлені на виробництво нові моделі вагонів. Одними з нових моделей, які були поставлені на виробництво та надійшли в експлуатацію, були довгобазні вагони-платформи для перевезення 40-футових контейнерів. При однаковій довжині, довгобазні вагони-платформи різних виробників відрізнялися конструктивним виконанням основних несучих елементів та технологією виготовлення. Більшість конструкцій сучасних довгобазних вагонів-платформ мали принципово нову конструкцію. Після недовготривалої експлуатації була підтверджена висока економічна ефективність використання довгобазних вагонів-платформ. Однак, у багатьох моделях виникли проблеми з міцністю конструкції. Під час планових ремонтів та оглядів були виявлені пошкодження конструкції у вигляді тріщин. Тому, для вирішення вищезазначеної проблеми доцільне застосування спеціальних методів як теоретичного, так і експериментального характеру. Одним з таких методів є дослідження із застосуванням математичної моделі, що адекватно відображує конструкцію і навантаження, які діють на неї.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми динаміки і міцності рухомого складу розглядалися в роботах В.А. Лазаряна, Є.П. Блохіна, М.Б. Кельріха, А.В. Донченко, С.В. Мямліна, В.М. Бубнова і інших видатних вчених [1-4]. Сучасні дослідження міцності конструкцій вантажних вагонів та їх складових, за допомогою

© Фомін О. В., Федосов-Ніконов Д. В., 2018

програми комплекс визначення та використання математичних моделей, відображені в роботах [5-8]. Однак і сьогодні, при розробці нових моделей довгобазних платформ різного конструктивного виконання, дослідження міцності елементів довгобазних платформ викликає багато питань. Аналіз літератури з профілю питань, що розглядаються, вказує про недостатність змістовної інформації щодо дослідження напружено-деформованого стану конструкцій довгобазних вантажних вагонів та їх складових. Для вирішення вищезазначеної проблеми проведені науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи.

Мета статті – висвітлення результатів досліджень напружено-деформованого стану та міцносних якостей довгобазного вагона-платформи. Для дослідження міцності несучих елементів довгобазного вагона-платформи були застосовані методи як теоретичного, так і експериментального характеру. Один з таких методів дослідження із застосуванням математичної моделі, що адекватно відображує конструкцію і навантаження, що діють на неї, приведено у статті.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розрахунок елементів рами на втому проводився при дії на платформу максимально допустимих навантажень для перерізів з високим рівнем напружень (рис. 1).

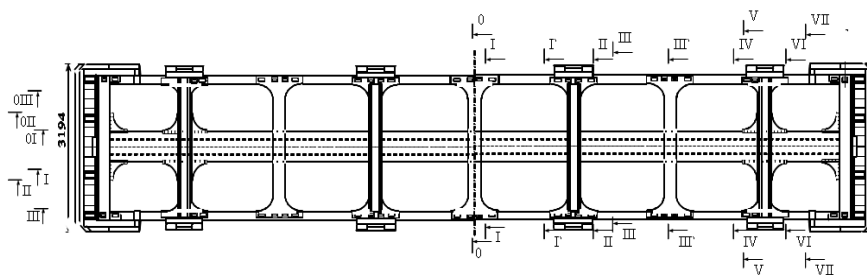


Рис. 1. Схема розташування перерізів з максимальними напруженнями на універсальній довгобазній платформі

Розрахунок виконано з використанням обчислювального комплексу, що реалізує метод скінченних елементів (МКЕ) на ПЕОМ стандарту IBM-PC, при цьому використовувалася пластинчаста скінченно-елементна модель і скінченні елементи типу SHELL 63. Скінченні елементи мають квадратичні функції форми і шість ступенів свободи в кожному вузлі: переміщення вздовж осей x, y, z і повороти навколо цих осей.

Як глобальну систему координат при складанні розрахункової схеми була обрана права декартова система з центром на поздовжній осі вагона в площині нейтральної осі лобової балки. Вісь X системи координат спрямована уздовж поздовжньої осі вагона, вісь Y – вертикально вгору. Навантаження власною вагою проводилося шляхом задання щільності матеріалу моделі, з подальшим прикладенням до кожного вузла розрахункової схеми прискорення 9,81 м/с² уздовж вертикальної осі Y. Оцінка втомної міцності проводилася за коефіцієнтом запасу опору втоми за формулою:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,\epsilon}} \geq [n]$$

де $\sigma_{a,N}$ – межа витривалості (по амплітуді) для контрольної зони при симетричному циклі і сталому режимі навантаження при базовому числі циклів $N_0 = 10^7$;

$\sigma_{a,э}$ – величина амплітуди динамічного напруження умовного симетричного циклу, приведена до базового числа циклів N_0 , еквівалентна пошкоджуючій дії реального режиму експлуатаційних напружень за розрахунковий термін служби;

$[n]$ – мінімально допустимий коефіцієнт запасу опору втоми за вибраний термін служби.

Статичні напруження від сили ваги бруто вагона були отримані з застосуванням методу скінченних елементів.

Розрахунок проводився для двох варіантів завантаження, при яких розрахунковими дослідженнями було отримано найбільші згинальні моменти (рис. 2 та 3).

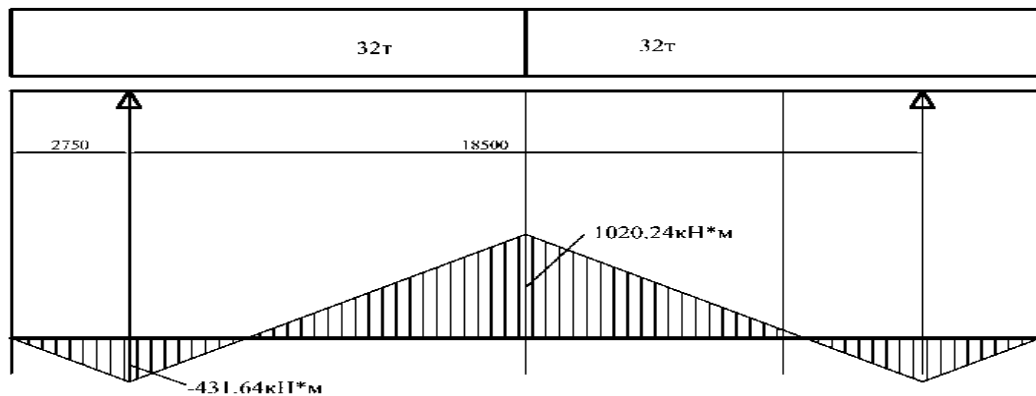


Рис. 2. Максимальні згинальні моменти в рамі при завантаженні двома 40 футовими контейнерами

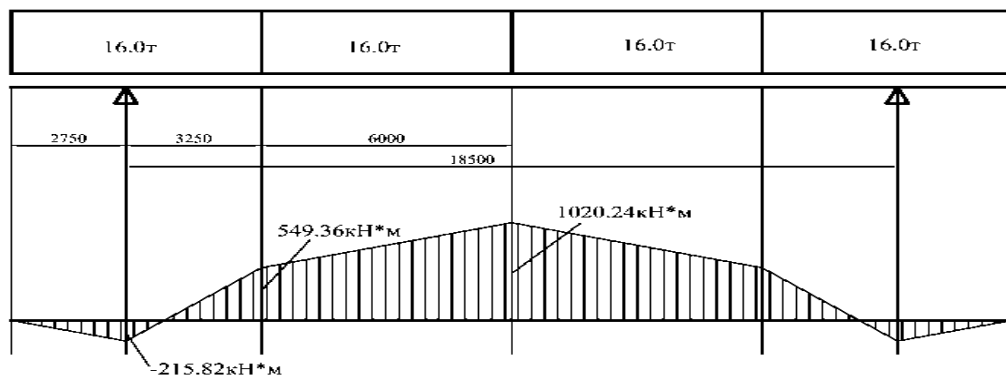


Рис. 3. Максимальні згинальні моменти в рамі при завантаженні чотирма 20 футовими контейнерами

Напружено-деформований стан вагона від дії статичного вертикального навантаження (брутто) (рис. 4).

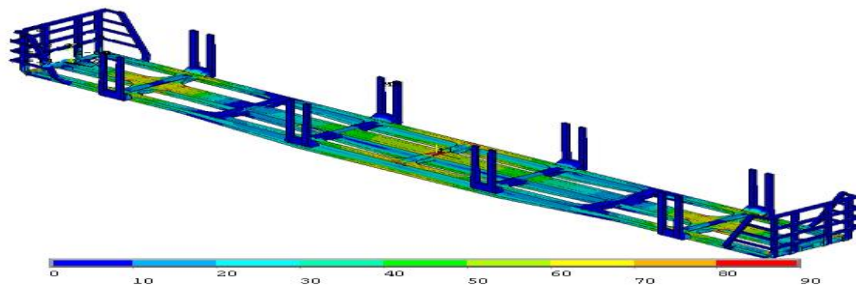


Рис. 4. Напруження від дії статичного вертикального навантаження двох 40-футових контейнерів

Результати розрахунку коефіцієнта запасу опору втомі при завантаженні платформи двома 40-футовими контейнерами наведені в табл. 1.

Як видно з табл. 1, коефіцієнт запасу опору втомі елементів рами платформи, завантаженої двома 40-футовими контейнерами, нижче допустимого значення $[n] = 1,5$. Це підтверджується результатами стендових випробувань. Руйнування були виявлені в двох зонах. В перерізі I-I, в зоні закінчення накладки, і в перерізі III-III хребтової балки на прорізи для горизонтального важеля автогальма. Напружено-деформований стан цих зон при завантаженні двома 40-футовими контейнерами подано на рисунках 5 і 6.

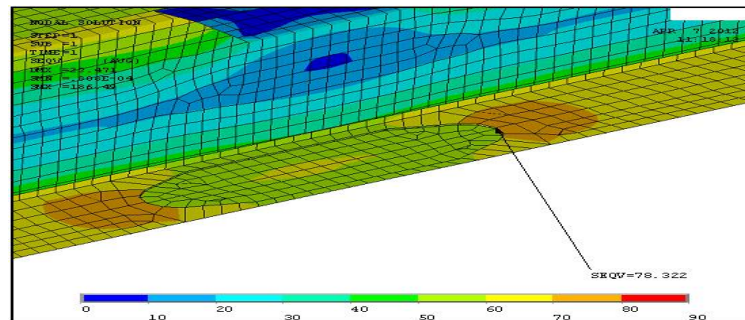


Рис. 5. Напружено-деформований стан в зоні шва накладки в центрі бічної балки до пропонованого доопрацювання

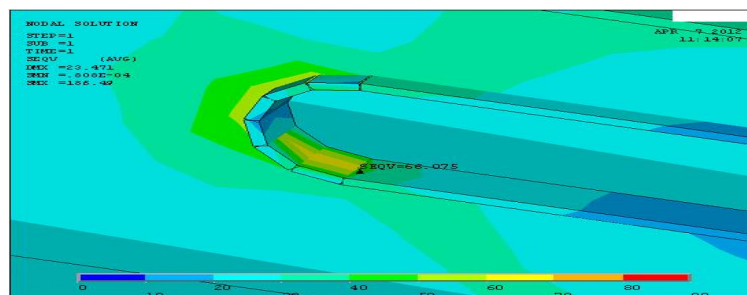


Рис. 6. Напружено-деформований стан у зоні вікна горизонтального важеля хребтової балки до пропонованого доопрацювання

Таблиця 1. Коефіцієнт запасу опору втом при завантаженні двома 40-футовими контейнерами

Елемент	переріз	точка	№ вузла моделі	Результати розрахунків				
				$\sigma_{ст}$	$\sigma_{аЭ}$	$(\overline{k_{\sigma}})_k$	σ_{aN}	n
Хребтова балка	I-I	т.1	6948	83,2	46,383	4,5	41,293	0,89
Хребтова балка	I-I	т.3	43015	93,4	52,069	4,0	46,455	0,89
Хребтова балка	I-I	т.4	40158	83,4	46,494	4,5	41,293	0,89
Хребтова балка	III-III	т.5	39428	86,8	48,390	4,5	41,293	0,85
Хребтова балка	III-III	т.6	6179	87,4	48,724	4,5	41,293	0,85
Хребтова балка	V-V	т.7	39523	65,4	36,459	3,0	61,940	1,70
Хребтова балка	V-V	т.8	6274	65,8	36,682	3,0	61,940	1,69
Хребтова балка	VI-VI	т.9	48292	10,1	5,631	3,0	61,940	11,00
Хребтова балка	VI-VI	т.10	15179	10	5,575	3,0	61,940	11,11
Шворнева балка	I-I	т.21	22937	58,9	32,836	4,0	46,455	1,41
Шворнева балка	I-I	т.17	10504	29,5	16,446	4,5	41,293	2,51
Шворнева балка	I-I	т.19	22893	28,4	15,833	4,5	41,293	2,61
Шворнева балка	0I-0I	т.22	56272	58,9	32,836	4,5	41,293	1,26
Шворнева балка	0I-0I	т.18	43684	29,5	16,446	4,5	41,293	2,51
Шворнева балка	0I-0I	т.20	56228	28,5	15,888	4,5	41,293	2,60
Балка бокова	0-0	т.23	23455	98,8	55,079	4,0	46,455	0,84
Балка бокова	0-0	т.24	504	68,8	38,355	4,0	46,455	1,21
Балка бокова	I'-I'	т.27	90821	93,3	52,013	4,5	41,293	0,79
Балка бокова	I'-I'	т.28	94116	91,1	50,787	4,5	41,293	0,81
Балка бокова	I'-I'	т.30	126001	91,1	50,787	4,5	41,293	0,81
Балка бокова	I'-I'	т.29	122580	93,3	52,013	4,5	41,293	0,79
Балка бокова	II-II	т.31	59382	111,2	61,992	4,0	46,455	0,75
Балка бокова	II-II	т.32	26006	111,4	62,104	4,0	46,455	0,75
Балка бокова	III'-III'	т.33'	66644	76,3	42,536	4,5	41,293	0,97
Балка бокова	III'-III'	т.35'	52273	2,9	1,617	4,5	41,293	25,54
Балка бокова	III'-III'	т.34'	33092	76,1	42,425	4,5	41,293	0,97
Балка бокова	III'-III'	т.36'	23918	93,1	51,902	4,5	41,293	0,80
Балка бокова	IV-IV	т.34	410	69,6	38,801	4,0	46,455	1,20
Балка бокова	V-V	т.35	66121	56,6	31,554	4,0	46,455	1,47
Балка бокова	V-V	т.36	32578	56,5	31,498	4,0	46,455	1,47
Балка бокова	VI-VI	т.37	60111	6,9	3,847	4,0	46,455	12,08
Балка бокова	VI-VI	т.38	26732	6,9	3,847	4,0	46,455	12,08
Балка бокова	VII-VII	т.39	58800	0,9	0,502	4,0	46,455	92,59
Балка бокова	VII-VII	т.40	1661	3,5	1,951	4,0	46,455	23,81

Результати розрахунку коефіцієнта запасу опору втоми у цих зонах подані в табл. 2.

Таблиця 2. Коефіцієнт запасу опору втоми в зонах руйнувань при завантаженні двома 40-футовими контейнерами

Елемент	переріз	№ вузла моделі	Результати розрахунків				
			$\sigma_{ст}$	$\sigma_{aЭ}$	$(\bar{k}_{\sigma})_k$	σ_{aN}	n
Бокова балка	I-I	34553	66,1	27,3	5,0	37,2	1,36
Хребтова балка	III-III	64578	78,3	32,3	5,0	37,2	1,15

Як впливає з табл. 2, значення коефіцієнта запасу опору втоми нижче допустимого $[n] = 1,5$. Отже, ці зони потребують посилення. Для зони руйнування в перерізі I-I було запропоновано виключити накладку на нижньому поясі, що дозволило видалити концентратор біля шва і знизити коефіцієнт концентрації з 5,0 до 2,5. Для зони руйнування по вікну, в перерізі III-III, пропонується перенести стиковий шов підсилюючого обода в зону з більш низькими напруженнями, що дозволило знизити рівень напруження з 66,1 МПа до 5,1 МПа. Напружено-деформований стан зазначених зон після конструктивних змін подано на рис. 7 і 8, а результати розрахунку наведені в табл. 3.

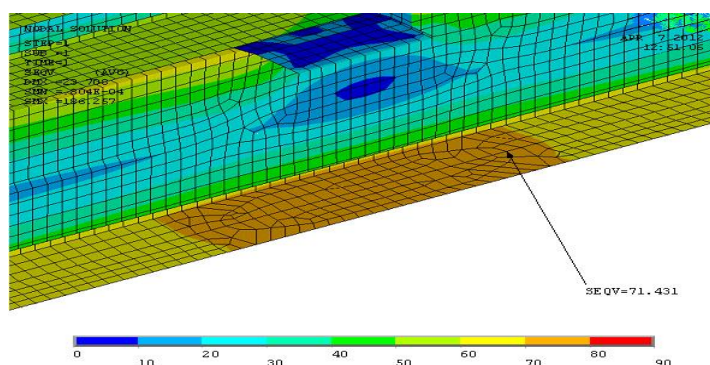


Рис. 7. Напружено-деформований стан в зоні шва накладки в центрі бічної балки після пропонуваного доопрацювання

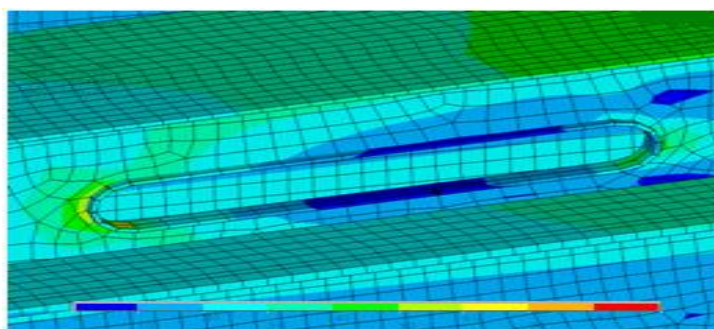


Рис. 8. Напружено-деформований стан у зоні вікна горизонтального важеля хребтової балки до пропонуваного доопрацювання

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

Таблиця 3. Коефіцієнт запасу опору втоми в зонах руйнувань після доопрацювання, завантаження 40-футовими контейнерами

Елемент	переріз	№ вузла моделі	Результати розрахунків				
			$\sigma_{ст}$	$\sigma_{aЭ}$	$(\overline{k_{\sigma}})_k$	$\sigma_a N$	n
Бокова балка	I-I	34553	71,4	2,1	2,5	37,2	17,67
Хребтова балка	III-III	64578	5,1	29,5	1,6	116,1	3,94

Висновки та пропозиції. Після вдосконалення конструкції рами був проведений розрахунок на відповідність платформи вимогам «Норм для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» [9] за I, III і ремонтним режимами навантажень та на співудар.

Розрахункові та експериментальні напруження у всіх елементах довгобазного вагона-платформи від усіх експлуатаційних навантажень, згідно з «Норм для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» [9], не перевищують допустимих значень. Збіжність результатів розрахунків і випробувань задовільна, що свідчить про правильність проведених розрахунків. Обґрунтована доцільність впровадження вдосконалення конструкції та експериментально підтверджено зменшення напружено-деформованого стану в несучих елементах конструкції довгобазного вагона-платформи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Годыцкий-Цвирко А.М. Взаимодействие пути и подвижного состава железных дорог / Годыцкий-Цвирко А.М. – М.: Гострансиздат, 1931. – 214 с.
2. Марье Г. Взаимодействие пути и подвижного состава / Марье Г. – М.: Госжелдориздат, 1933. – 338 с.
3. Винокуров М.В. Исследование колебаний и устойчивости вагонов / М.В. Винокуров // Научн. тр. ДИИТ, 1989. – Вып. 12. – 292 с.
4. Лазарян В.А. Динамика вагонов / Лазарян В.А. – М.: Транспорт, 1964. – 256 с.
5. Фомін, О.В. Використання профілю з перерізом у вигляді прямокутної труби в якості елементів каркасів кузовів залізничних напіввагонів / О.В Фомін, В.В Фомін // 36. наук. праць. – Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2012. – Вип.№.3(174)- С.244-250.
6. Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». – 2015. – № 1 – P.45-48.
7. Фомін, О.В. Варіаційне описання конструктивних виконань вантажних вагонів/ О.В Фомін, А.В. Гостра // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Київ: ДЕТУТ, 2015. – Вип. 26-27. – С.137-147.
8. Фомін, О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів // Вісник КДУ імені Михайла Остроградського. – Вип. 6/2013 (83). – Кременчук, 2013. – С. 87–91.
9. «Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)». ГосНИИВ-ВНИИЖТ. Москва. 1996. Изменения и дополнения».

REFERENCES

1. Goditsky-Tsvirko A.M. Interaction of the Way and the Rolling Stock of the Railways / Goditsky-Tsvirko A.M – Moscow: Gostransidat, 1931. – 214 pp.
2. Marie G. Interaction of the Way and the Rolling Stock / Marie G. – M.: Goszhelordizdat, 1933. – 338 pp.
3. Vinokurov M.V. Investigation of vibrations and stability of wagons / M.V. Vinokurov // Sci. tr DIAT, 1989. – Issue 12. – 292 pp.
4. Lazaryan V.A. Dynamics of cars / Lazaryan V.A. – M.: Transport, 1964. – 256 pp.

5. Fomin, O.V. *Using of rectangle profiles by elements of gondola bodies* / O.V. Fomin, V.V. Fomin, // Zbirnyk naukovykh prac' EU V. Dahl National University, 2012.– (3(174)) – P. 244-250.
6. Fomin, O. *Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model* / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45-48.
7. Fomin, O.V. *Variacijne opisannja konstruktivnih vikonan' vantazhnih vagoniv* [Variations describe the structural designs of freight cars] / O.V. Fomin, A.V. Gostra // Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series «Transport systems and technologies.» – Kyiv: DETUT, 2015. – Vyp.26-27. – S.137-147.
8. Fomin, O., *Theoretical bases of programmatic determination complex and use of mathematical models of wagon elements*. // Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 6, 2013, no. 83, pp. 87–91.
9. «Norms for calculating and designing rail cars of the IGS rail gauge 1520 mm (non-self propelled). Gos-NIIV-VNIIZhT. Moscow. 1996. Changes and additions «.

Алексей Фомин, д.т.н., доц.,
(профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Государственный университет инфраструктуры и технологий)
Дмитрий Федосов-Никонов,
(старший научный сотрудник, Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»)

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛИННОБАЗНОГО ВАГОНА-ПЛАТФОРМЫ НА ПРОЧНОСТЬ

В статье рассмотрен вопрос о прочности основных несущих элементов конструкции длиннобазного вагона-платформы, применение специальных методов теоретического и экспериментального характера. Выполнен анализ расчета элементов рамы на усталость.

Ключевые слова: длиннобазные вагоны-платформы, прочность элементов, коэффициент запаса сопротивления усталости, расчетные и экспериментальные напряжения.

Alexei Fomin, Ph.D., associate professor,
(professor department «Cars and carriage facilities» State University of Infrastructure and Technology)
Dmitry Fedosov-Nikonov,
(senior researcher, State Enterprise «Ukrainian Research Institute of Wagon Building»)

RESEARCH OF LONG-TERM WAGON-PLATFORM CONSTRUCTIONS ON DENSITY

The article deals with the question of the strength of the main bearing elements of the long-wagon-platform construction, the application of special methods of theoretical and experimental nature. The analysis of frames' elements calculation is performed.

Keywords: long-wagon-platform cars, strength of elements, coefficient of reserve of fatigue resistance, design and experimental stresses.

Стаття надійшла до редакції 30.10.2017 р.