

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

А. В. Донченко к.т.н., с.н.с.

(директор ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

Д. В. Федосов-Ніконов

(старший науковий співробітник ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОНСТРУКЦІЇ ДОВГОБАЗНОЇ ПЛАТФОРМИ

У статті розглянуто питання щодо застосування методів теоретичних і експериментальних досліджень міцності основних несучих елементів конструкції довгобазних платформ. Виконано розрахунок несучих елементів конструкції на втому з використанням обчислювального комплексу, що реалізує метод скінчених елементів (МСЕ).

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

В статье рассмотрен вопрос о применении методов теоретических и экспериментальных исследований прочности основных несущих элементов конструкции длиннобазных платформ. Выполнен расчет элементов рамы на усталость с использованием вычислительного комплекса, реализующего метод конечных элементов (МКЭ).

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

Починаючи з 2003 року, різко зросла кількість контейнерних перевезень і, як наслідок, зріс попит на платформи для перевезення контейнерів. Для задоволення ринкового попиту і зростаючих потреб перевізників, розширення номенклатури своєї продукції та зниження собівартості перевезень виробниками України, Росії та інших країн СНД було розроблено і поставлено на серійне виробництво безліч нових моделей довгобазних вагонів-платформ для перевезення контейнерів різного конструктивного виконання. В процесі експлуатації довгобазних платформ виникли проблеми з міцністю основних несучих елементів конструкції. У багатьох моделях в основних несучих елементах конструкції були виявлені тріщини втомного характеру. Аналіз руйнувань і пошкоджень рам довгобазних платформ свідчить, що причиною цього є недостатня міцність елементів конструкції та динамічні навантаження, зумовлені як нерівностями рейкової колії, так і конструктивними особливостями платформи.

© Донченко А. В., Федосов-Ніконов Д. В., 2016

Проблеми динаміки та міцності рухомого складу розглядалися в роботах В.А. Лазаряна, Є.П. Блохіна, С.В. Мямліна, В.М. Бубнова й інших учених. Однак і сьогодні, під час розробки нових моделей довгобазних платформ різного конструктивного виконання, дослідження міцності елементів довгобазних платформ викликає багато запитань.

Для дослідження міцності несучих елементів довгобазних платформ потрібно застосовувати спеціальні методи як теоретичного, так і експериментального характеру. Один із таких методів дослідження із застосуванням математичної моделі, що адекватно відображає конструкцію і навантаження, які діють на неї, наведений у статті. Під час дослідження міцносних якостей довгобазних платформ особливу увагу потрібно приділяти вибору розрахункової схеми та математичної моделі. Спрощення реальної схеми приведе до невірних результатів. Прагнення більш докладно описати її ускладнить математичну модель і відповідно, вирішення завдання.

Розрахунок елементів рами на втому проводився за дії на платформу максимально допустимих навантажень, для перерізів з високим рівнем напружень (рис. 1).

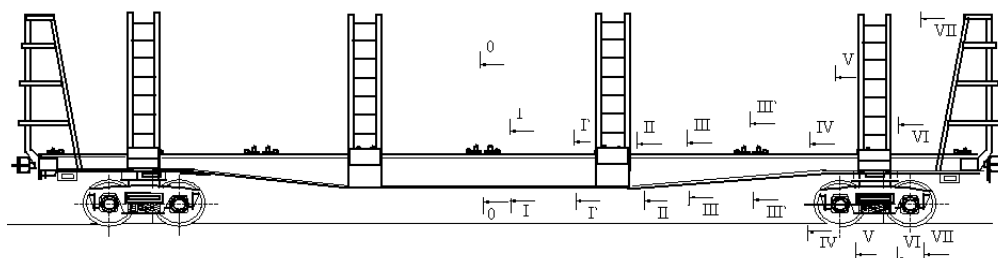


Рис. 1. Схема розташування перерізів з максимальними напруженнями на універсальній довгобазній платформі

Розрахунок виконувався з використанням обчислювального комплексу, що реалізує метод скінченних елементів (МСЕ) на ПЕОМ стандарту ІВМ-РС, застосовувалася пластинчаста скінченно-елементна модель і скінченні елементи типу SHELL 63. Скінченні елементи мають квадратичні функції форми і шість ступенів свободи в кожному вузлі: переміщення уздовж осей x , y , z і повороти навколо цих осей. В якості глобальної системи 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 завдання щільності матеріалу моделі, з подальшим прикладенням до кожного вузла розрахункової схеми прискорення $9,81 \text{ м/с}^2$ уздовж вертикальної осі « Y ». Оцінка втомної міцності проводилася за коефіцієнтом запасу опору втомі за формулою :

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,3}} \geq [n], \quad (1)$$

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

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

[n] – мінімально допустимий коефіцієнт запасу опору втомі за обраний термін служби.

Статичні напруги від сили ваги бруто вагона були отримані із застосуванням методу скінченних елементів. Розрахунок проводився для двох варіантів завантаження з найбільшими згинальними моментами (рис. 2 та 3).

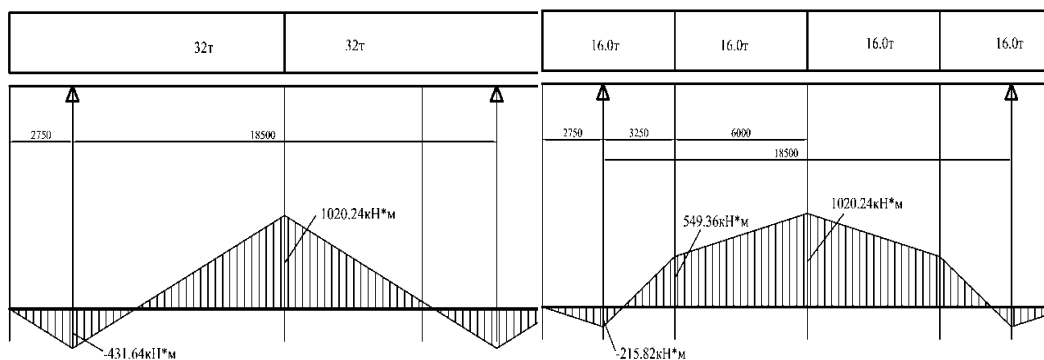


Рис. 2. Два 40-футових контейнери

Рис. 3. Чотири 20-футових контейнери

Напружено деформований стан вагона від дії статичного вертикального навантаження (брутто) наведено на рисунку 4 та 5.

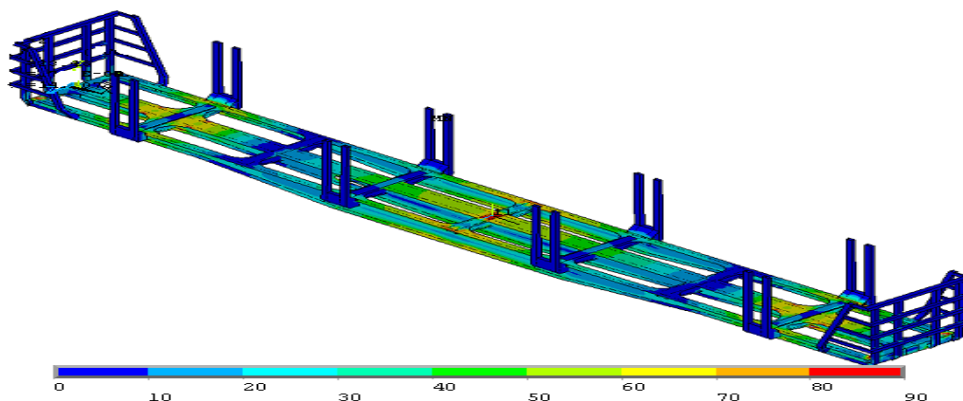


Рис. 4. Напруження від дії статичного вертикального навантаження двох 40-футових контейнерів

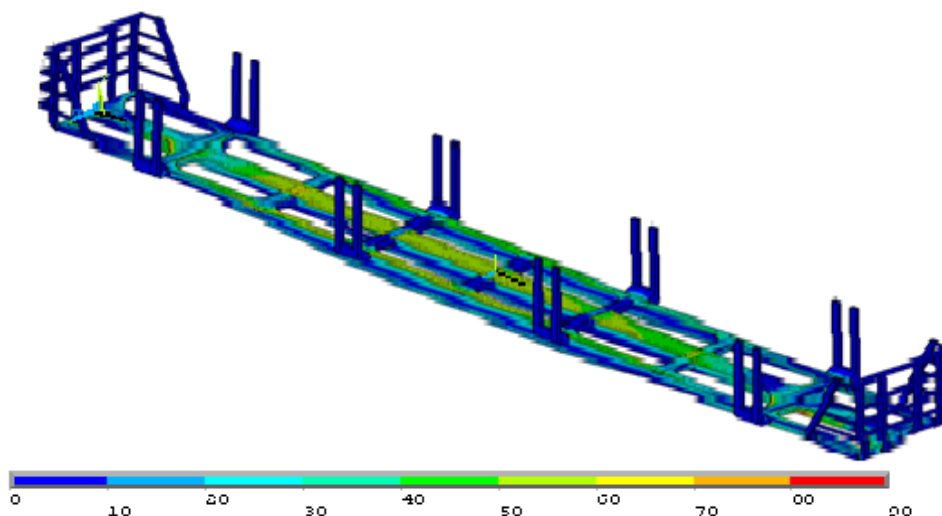


Рис. 5. Напруження від дії статичного вертикального навантаження чотирьох 20-футових контейнерів

Результати розрахунку коефіцієнта запасу опору втомі у разі завантаження платформи двома 40-футовими контейнерами наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Коефіцієнт запасу опору втомі у разі завантаження платформи двома 40-футовими контейнерами

Елемент	переріз	точка	№ вузла моделі	Результати розрахунків				
				$\sigma_{ст}$	$\sigma_{aЭ}$	$(\bar{k}_\sigma)_k$	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

Як видно з таблиці 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 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 для випадку завантаження двома 40-футовими контейнерами показано на рис. 5 і 6. Руйнування у цих зонах, при випробуваннях на опір втомі, показано на рис. 7 і 8.

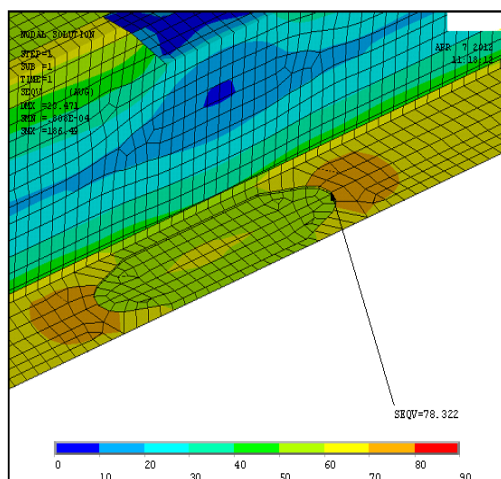


Рис. 5. Напружено-деформований стан в зоні шва накладки в центрі бічної балки до пропонованого доопрацювання

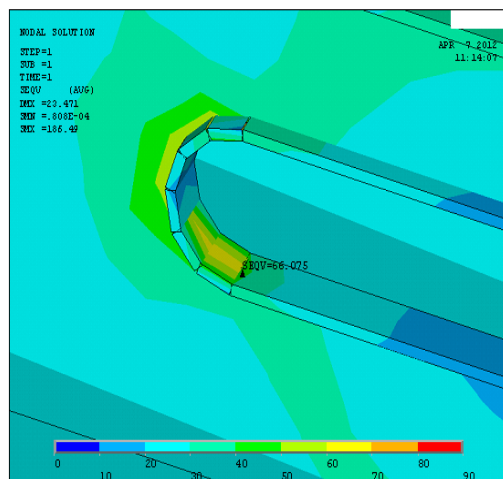


Рис. 6. Напружено-деформований стан у зоні вікна горизонтального важеля хребтової балки до пропонованого доопрацювання



Рис. 7. Фото руйнування конструкції платформи, при випробуваннях на опір втомі, в зоні шва накладки в центрі бічній балки



Рис. 8. Фото руйнування конструкції платформи, при випробуваннях на опір втомі, у зоні вікна горизонтального важеля хребтової балки

Результати розрахунку коефіцієнта запасу опору втомі у цих зонах представлені в таблиці 2.

Таблиця 2. Коефіцієнт запасу опору втомі в зонах руйнувань у разі завантаження двома 40-футовими контейнерами

Елемент	переріз	№ вузла моделі	Результати розрахунків				
			$\sigma_{ст}$	$\sigma_{aЭ}$	$(\overline{k_{\sigma}})_k$	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 втомі 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 дало змогу видалити концентратор біля шва і знизити коефіцієнт концентрації $(\overline{k_{\sigma}})_k$ 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 дало змогу знизити рівень напруження з 66,1 МПа до 5,1 МПа. Напружено-деформований стан зазначених зон після конструктивних змін показано на рисунках 9 і 10, а результати розрахунку наведені в табл. 3.

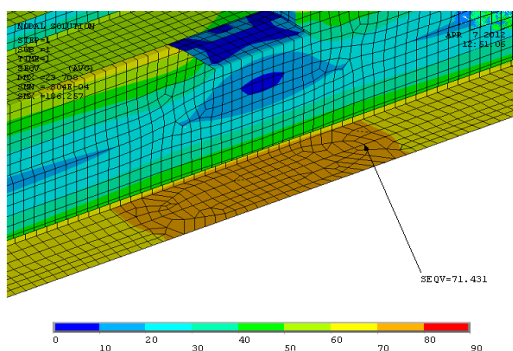


Рис. 9. Напружено-деформований стан в зоні шва накладки в центрі бічної балки після пропонуваного доопрацювання

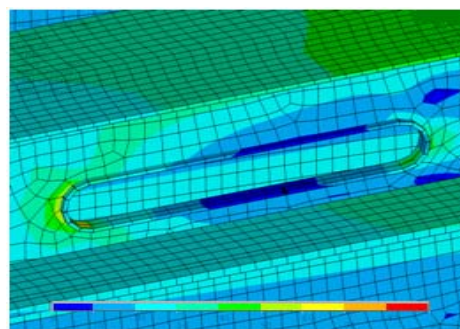


Рис. 10. Напружено-деформований стан у зоні вікна горизонтального важеля хребтової балки після пропонуваного доопрацювання

Таблиця 3. Коефіцієнт запасу опору втомі в зонах руйнувань після доопрацювання, для випадку завантаження 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	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

Як видно з таблиці 3, втомна міцність рами забезпечується на весь термін експлуатації для схем навантаження чотирма 20-ти футовими і двома 40-ка футовими контейнерами.

Висновок. Після вдосконалення конструкції рами був проведений розрахунок на відповідність платформи вимогам [1] 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 [1], не перевищують допустимих значень. Задовільна збіжність результатів розрахунків і випробувань свідчить про достовірність і правильність проведених розрахунків.

ЛІТЕРАТУРА

1. «Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (не-самоходных). ГосНИИВ-ВНИИЖТ. Москва. 1996. Изменения и дополнения».
2. Годыцкий-Цвирко А.М. Взаимодействие пути и подвижного состава железных дорог / Годыцкий-Цвирко А.М. – М.: Гострансиздат, 1931. – 214 с.
3. Марье Г. Взаимодействие пути и подвижного состава / Марье Г. – М.: Госжелдориздат, 1933. – 338 с.
4. Винокуров М.В. Исследование колебаний и устойчивости вагонов / М.В. Винокуров // Научн. тр. ДИИТ, 1989. – Вып. 12. – 292 с.
5. Лазарян. В.А. Динамика вагонов / Лазарян. В.А. – М.: Транспорт, 1964. – 256 с.

6. Лазарян В.А. Применение математических машин непрерывного действия к решению задач динамики подвижного состава железных дорог / Лазарян В.А. – М.: Трансжелдориздат, 1962. – 220 с.
7. Вершинский С.В. Динамика вагона / С.В. Вершинский // Технический справочник железнодорожника. – М.: Трансжелдориздат, 1952. – Т.6. – С. 651 – 712.
8. Шапошников Н.Н. Расчет машиностроительных конструкций на прочность и жесткость // Н.Н. Шапошников, Н.Д. Тарабасов, В.В. Петров, В.И. Мяченков. – М.: Машиностроение, 1981. – 333 с.
9. Блохин Е.П. Динамика поезда (нестационарные продольные колебания) / Е.П. Блохин, Л.А. Манашкин. – М.: Транспорт, 1982. – 222 с.
10. Блохин Е.П. О возможности понижении порядка системы дифференциальных уравнений движения поезда при возмущениях, распространяющихся вдоль его длины / Е.П. Блохин, Л.Г. Маслеева // Межвуз сб. науч. тр. – Днепропетровск: ДИИТ, 1978. – Вып. 199/25.– С. 47 – 54.
11. Мямлин С.В. Программа моделирования пространственных колебаний подвижного состава / С.В. Мямлин // Залізничний транспорт України. – 2000. – № 3. – С. 52 – 54.

METHOD OF THE CALCULATION-EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE LONG-WHEELBASE PLATFORM DESIGN

The paper considers the question of application of methods of theoretical and experimental studies of the strength of main load-bearing elements of construction long-wheelbase platforms. The questions about the strength of the main load-bearing structural elements in the long wheelbase flatcar and the use of the special methods of theoretical and experimental nature. The calculation of the elements frames fatigue is performed using calculated complex that implements the finite element method (FEM).

Keywords: *the long-wheelbase flatcar, elements strength, fatigue safety factor, calculated and experimental stress.*

REFERENCES

1. The norms for calculation and design of railcars on the track width 1520mm (unpowered). GosNII VNIIZHT. Moscow /1996. Amendments and additions.
2. Godytskiy-Tsvirko A.M. Interoperability of the railway and a rolling stock. / Godytskiy-Tsvirko A.M.- M.: Gostansizdat, 1931.-214p.
3. Mar'ye G. Interoperability of the railway track and a rolling stock./ Mar'ye G.- M.: Goszhelezdorizdat,1933.- 338p.
4. Vinokurov M.V. The research of waves and stability of the railcars./ M.V. Vinokurov// Scientif. Res. DIIT,1989 – issue 12-292p.
5. Lasaryan V.A. The railcars dynamic./ Lasaryan V.A.- Transport,1964 – 256p.
6. Lasaryan V.A. – The usage of the mathematical machines of continuous operation in problems solution of the rolling stock dynamic on the railway lines/ Lasaryan V.A. – M.: Transzhelezdorogisdat,1962. – 220p.
7. Vershinskiy C.V. The railcar dynamic./ C.V. Vershinskiy// The technical guide of a railman.- M. Transzheldorizdat, 195 T6 – pp 651-712.
8. Shaposhnikov N.N. The strength and rigidity calculation of machine building construction./ N.N.Shaposhnikov , N.D.Tarabasov, V.V. Petrov, V.I. Myachenkov – M.: Mashinostroenie, 1981 -333p.
9. Blochin E.P. The railcar dynamic (non-steady extension vibration). / E.P Blochin, L.A. Manashkin.- M.: Transport, 1982 – 222p.
10. Blochin E.P The reducing possibility of differential equations order system in railcar running during the perturbation along its length/ E.P Blochin, L.G. Masleeva // Dnepropetrovsk: DIIT, 1978 – issue 199/25 – pp. 47-54
11. Myamlin C.V. The spatial vibration modeling program of a rolling stock./ C.V. Myamlin// Zaliznychniy transport Ukraine.- 2000- №3- pp.52-54.