

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.423.2:621.31

О. М. БОНДАРЄВ^{1*}, Д. О. ЯГОДА¹, О. О. БОНДАРЄВ², В. М. СКОБЛЕНКО²

^{1*}Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел./факс +38 (056) 793 19 08, ел. пошта onildpps@gmail.com

²Державна адміністрація залізничного транспорту України, вул. Тверська, 5, 49150, Київ, Україна

ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ КОРПУСІВ ТЯГОВИХ РЕДУКТОРІВ ЗВАРНОЇ КОНСТРУКЦІЇ КЕВРЗ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ СЕРІЙ ЕР2, ЕР9

Мета. Перевірка відповідності вимогам Норм [10] експериментальних зразків тягових редукторів для електропоїздів серій ЕР2, ЕР9 з корпусами зварної конструкції виробництва Київського електровагоноремонтного заводу (КЕВРЗ). **Методика.** Для досягнення поставленої мети було розроблено розрахункові моделі для теоретичного визначення рівнів напружень у корпусі тягового редуктора зварної конструкції шляхом моделювання навантаженості, що може створюватися в умовах експлуатації, та експериментально оцінено напруження в різних точках корпусу тягового редуктора, а також рівні вертикальних прискорень корпусу тягового редуктора та навантаженості вузла прикріплення корпусу до рами візка. **Результати.** На підставі аналізу отриманих результатів розрахунків було встановлено, що тягові редуктори з корпусами зварної конструкції КЕВРЗ відповідають вимогам Норм [10]. **Наукова новизна.** На підставі експериментальних та теоретичних досліджень виконано науковий супровід робіт з розробки та введення в експлуатацію оновлених тягових редукторів для електропоїздів серій ЕР2, ЕР9. **Практична значимість.** Розроблено та передано спеціалістам Укрзалізниці для впровадження технічне рішення із заходами, які мають виконуватися під час експлуатації та ремонтів електропоїздів вказаних серій з корпусами тягових редукторів зварної конструкції виробництва КЕВРЗ.

Ключові слова: розрахункові моделі; теоретичні розрахунки; електропоїзди серій ЕР2, ЕР9; моторний візок; тяговий редуктор; показники міцності

Вступ

Досвід експлуатації моторвагонними депо України електропоїздів серій ЕР2, ЕР9 з корпусами тягових редукторів литої конструкції показав, що їх певна кількість була зруйнована (рис. 1). У більшості випадків причиною руйнувань є накопичення пошкоджень від втоми як через неякісне виготовлення литих конструкцій, так і наявність отворів для з'єднання половин корпусу. Такі випадки спостерігалися в електропоїздах подібних серій, які експлуатуються і на залізницях Росії. Враховуючи те, що поїзди вказаних серій зараз є досить поширеними на

залізницях України, спеціалістам КЕВРЗ та науковцям університету було доручено впровадити заходи з виготовлення корпусів тягових редукторів зварної конструкції [9, 12]. При цьому виробничу діяльність мав здійснювати КЕВРЗ, а університет – науковий супровід вказаних робіт.

Мета

Метою дослідження є науковий супровід робіт із розробки і виготовлення корпусів тягових редукторів зварної конструкції та впровадження їх в експлуатацію на електропоїздах серій ЕР2, ЕР9.

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

Методика

Для реалізації зазначеної мети було необхідно: провести теоретичні дослідження напружено-деформованого стану корпусу тягового редуктора шляхом моделювання найбільш гострих, з точки зору навантаженості, ситуацій; виконати експериментальну оцінку рівнів напружень та встановити відповідність показників міцності вимогам Норм [10].

Питанням дослідження навантаженості елементів тягових передач тягового та моторвагонного рухомого складу, у тому числі й тягових редукторів, присвячено багато наукових публікацій. Зокрема, слід відмітити праці вчених, надруковані в Росії [1, 2, 3, 4], Україні [5–7], а також інших державах [13–14].

Результати

Згідно з вимогами чинної нормативної документації [10] корпус тягового редуктора повинен проектуватися з урахуванням впливу на нього таких видів навантаження:

- навантаження від перекосу підвіски редуктора при зміщенні колісної пари під дією вагона та балки центрального підвішування;
- навантаження від передачі тягового (гальмового) моменту та низькочастотних крутильних коливань;
- навантаження від фрикційних автоколивань при буксуванні;
- динаміки необресорених мас;
- динаміки зубчатого зачеплення.



Рис. 1. Загальний вигляд зруйнованих литих корпусів тягових редукторів

Для зниження впливу на корпус та інші деталі редуктора динаміки необресорених мас та динаміки зубчатого зачеплення необхідно забезпечити виконання таких вимог:

- корпус редуктора не повинен мати локальних зон, частота вільних коливань яких дорівнює частоті пересполучення або подвійній

частоті пересполучення при швидкостях руху від 40 км/год до конструктивної швидкості;

- корпуси рекомендується виконувати моноблочними. У тягових редукторах рекомендується застосування косозубої (з кутом нахилу зубів $4^\circ \dots 7^\circ$) або шевронної зубчастої передачі. В обґрунтованих випадках можливе використання прямозубої передачі.

Навантаженість елементів тягового привода визначається:

- спільною дією крутного моменту, що передається, у годинному режимі або в режимі реостатного (рекуперативного) гальмування, динамічного крутного моменту та сил, що виникають при радіальному розцентруванні та осьовому переміщенні валів;

- навантаженням від фрикційних автоколивань при буксуванні.

На рис. 2 зображено розроблену модель корпусу редуктора [11, 12], а на рис. 3 – його скінченно-елементні розрахункові схеми [8, 11].



Рис. 2. Модель корпусу тягового редуктора

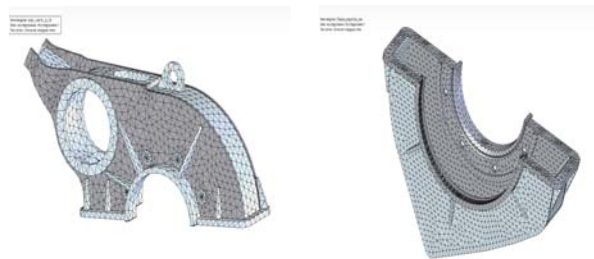


Рис. 3. Розрахункові скінченно-елементні схеми корпусу редуктора

Ця схема містить 90 000 скінченних елементів, 168 013 вузлів з'єднання цих елементів та 502 605 степенів вільності.

На рис. 4–5 наведено розташування місць закріплень та прикладання навантажень.

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

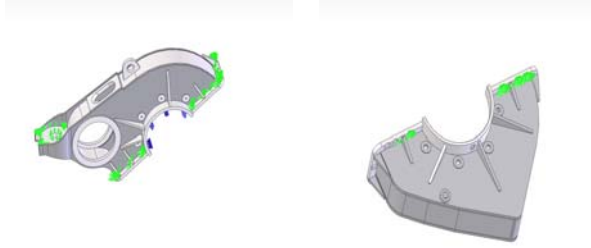


Рис. 4. Місця закріплення корпусу редуктора

Найбільші рівні напружень визначалися шляхом моделювання експлуатаційних ситуацій, які призводять до створення найбільших рівнів навантажень. Було розглянуто: режим зрушення електропоїзда з місця; режим зрушення та створення при цьому кругового вогню в колекторно-щітковому блоці, при якому виникають динамічні ударні навантаження тягового моменту; рух у режимі тяги на швидкості 100 км/год та створення горизонтальних поперечних сил на рівні граничних за Нормами [10] значень.

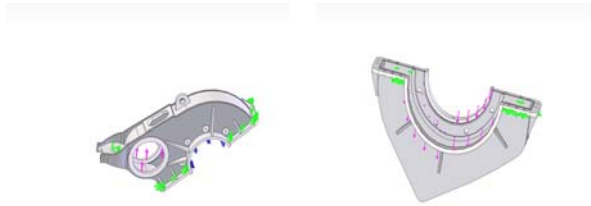


Рис. 5. Місця прикладання навантаження

Під час виконання розрахунків приймалися такі значення навантажень. При моделюванні зрушення електропоїзда з місця величина зусилля, яке передається на підшипникові вузли верхньої та нижньої частин корпусу тягового редуктора від взаємодії зубчатої передачі, дорівнює 50 кН. У випадку появи кругового вогню в колекторно-щітковому блоці створюються динамічні навантаження, які перевищують статичні та квазістатичні величини в декілька разів. Тому при визначенні показників міцності для цього випадку приймалося, що коефіцієнт динаміки $K_d = 6$, і, таким чином, зусилля взаємодії в зубчатій передачі будуть дорівнювати 300 кН.

Горизонтальна поперечна рамна сила, відповідно до граничного за Нормами [10] значення, становить $H_{\max} = 0,4P_{\text{СТ}}$. Під час визначен-

ня H_{\max} приймалося, що вага порожнього моторного вагона складає 592 кН, до цього додамо вагу від пасажирів у розмірі 80 кН, і таким чином отримаємо, що на вісь колісної пари припадає 168 кН. У такому разі $H_{\max} = 67,2$ кН. Зусилля в зубчатій передачі при швидкості руху 100 км/год дорівнює 28,8 кН.

Нижче на рис. 6–8 наведено поля розподілу напружень у корпусі тягового редуктора при моделюванні вищезазначених ситуацій.

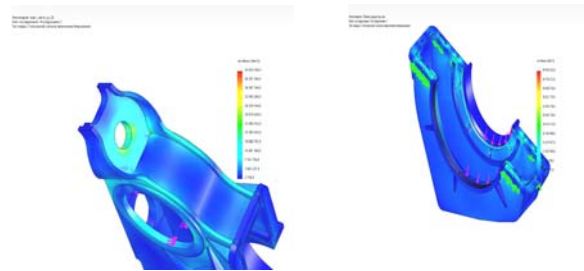


Рис. 6. Поля розподілу напружень при зрушенні електропоїзда з місця

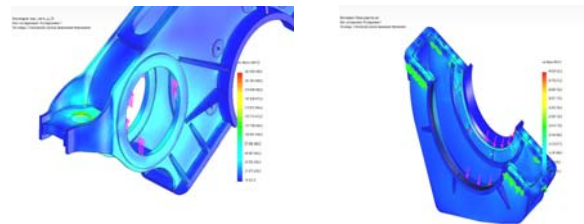
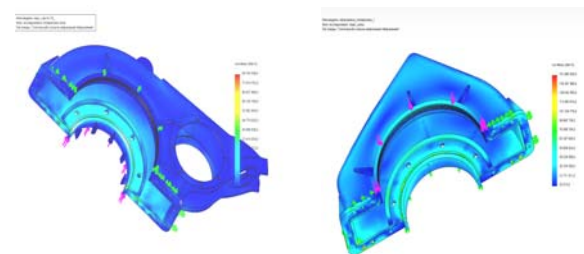


Рис. 7. Поля розподілу напружень при зрушенні електропоїзда з місця та створенні кругового вогню у колекторно-щітковому блоці

Рис. 8. Поля розподілу напружень від дії горизонтальної поперечної сили $H_{\max} = 0,4P_{\text{СТ}}$

Під час аналізу отриманих результатів розрахунків з визначення найбільших рівнів напружень, які створюються в елементах корпусу тягового редуктора, було виявлено:

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

1. У випадку звичайних експлуатаційних режимів руху – зрушення електропоїзда з місця, рух у режимі тяги зі швидкостями до 100 км/год в прямих, рух у режимі тяги зі швидкостями до 100 км/год в кривих (при дії граничної за нормами горизонтальної поперечної сили) – напруження змінюються в межах від 30 до 100 МПа.

2. При моделюванні виникнення кругового вогню в колекторно-щітковому блоці та значенні коефіцієнта динамічності $K_d = 6$ найбільші значення напружень з короткочасною дією (десяти частки секунди) у місці розташування одного з отворів болтового з'єднання половин корпусів редуктора досягли 210 МПа.

У звичайних умовах експлуатації електропоїздів з корпусами редукторів зварної конструкції КЕВРЗ найбільші рівні напружень в елементах їх корпусів не перевищують 100 МПа, що значно менше границі текучості для сталі марки 09Г2 – 295 МПа. При цьому величина коефіцієнта запасу міцності відносно границі текучості дорівнює $n_T = 2,95$ при допустимому значенні $[n] = 2$.

Щоб зробити остаточні висновки про можливість введення в експлуатацію корпусів тягових редукторів зварної конструкції, було проведено ще й міцнісні ходові випробування з метою визначення: навантажень у вузлі кріплення корпусу до рами візка; напруженого стану корпусу тягового редуктора та його вертикальних прискорень.

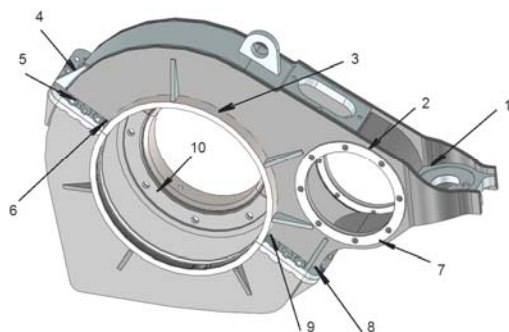


Рис. 9. Місця встановлення вимірювальних пристроїв

На рис. 9–12 зображено вимірювальні пристрої, місця їх встановлення та реєструвальну й оброблювальну апаратуру.

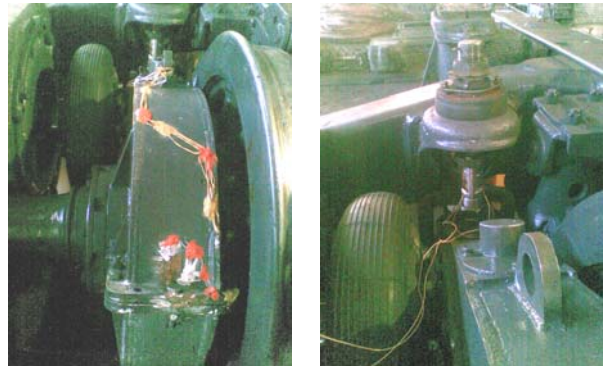


Рис. 10. Тяговий редуктор з вимірювальними пристроями



Рис. 11. Реєструвальна та оброблювальна апаратура

У табл. 1 наведено позначення вимірювальних пристроїв (Т – тензорезистори для вимірювання напружень, ТР1, ТР2 – тензорезистори для вимірювання зусиль у болті кріплення корпусу тягового редуктора до рами візка, a_z – датчик вимірювання прискорень) та величини напружень у відповідних точках, які було отримано в розрахунках за МСКЕ.

За наведеними прикладами осцилограм зміни зареєстрованих під час дослідної поїздки процесів (рис. 12–14) можна зробити такі висновки. Під час проїзду стрілочного перевалу в режимі вибігу (див. рис. 12) на збурювальній дії його нерівностей відреагували всі датчики. Але суттєвого зростання зусиль та напружень не відбулося. При цьому під час реалізації процесів зміни напружень у точках Т61Х, Т61Z спостерігаються високочастотні вібрації.

Позначення вимірювальних пристроїв та найбільші значення напружень

№ точок контролю	Величини головних напружень σ_{\max} , МПа	Місця встановлення датчика прискорень, а також тензорезисторів та їх позначення				
		Корпус тягового редуктора			Болт підвішування редуктора	Бічна стінка
2	81	T41Z	T41Y	–	–	–
5	123	–	T42Y	–	–	–
		T51Z	–	T51X	–	–
6	93	–	–	T52X	–	–
		T61Z	–	T61X	–	–
9	66	–	–	T92X	–	–
11	–	–	–	–	TP1	–
12	–	–	–	–	TP2	–
13	–	–	–	–	–	a_z

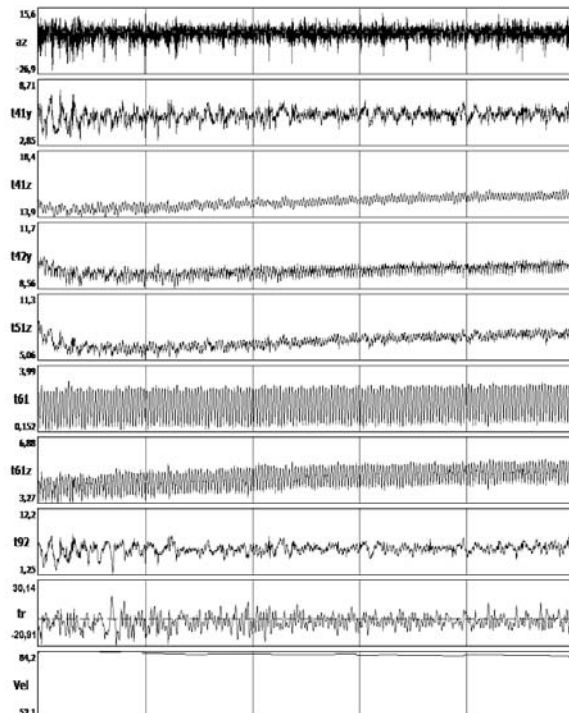


Рис. 12. Рух на вибігу по стрілочному переводу, швидкість 80 км/год

У режимі тяги на корпус передається височастотна вібрація (див. рис. 13), до якої найбільш чутливими є датчики T41Y, T41Z, T51.

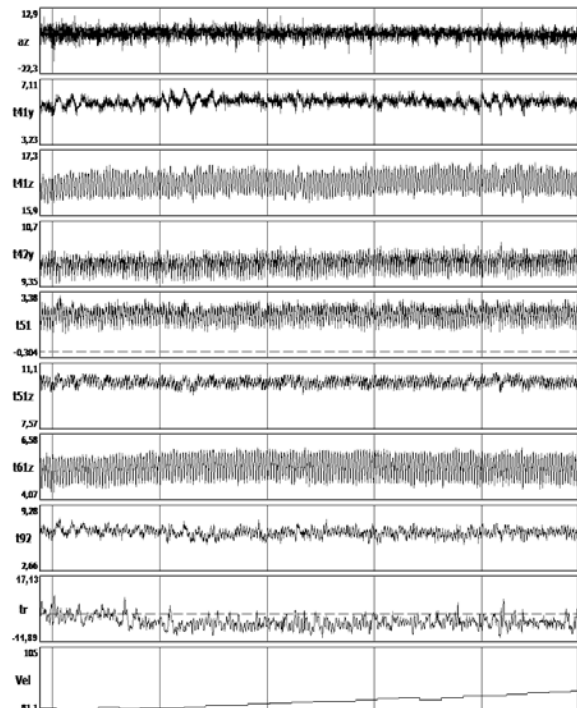


Рис. 13. Набір тяги в кривій радіуса 925 м, швидкість 85 км/год

На гальмування реагують практично всі тензорезистори, які призначені для визначення напружень, а також зусиль у болті приєднання корпусу редуктора до рами візка (див. рис. 14).

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

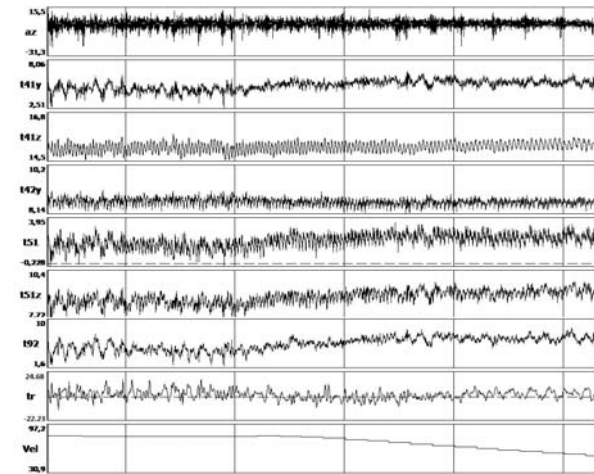


Рис. 14. Гальмування, вхід у криву радіуса 1 600 м, швидкість 90 км/год

На рис. 15–21 наведено приклади амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) зареєстрованих процесів під час руху на вибігу та в режимі набору тяги.

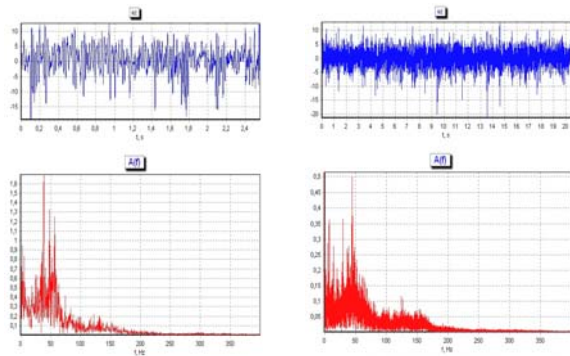


Рис. 15. АЧХ вертикальних прискорень під час руху на вибігу та в режимі набору тяги

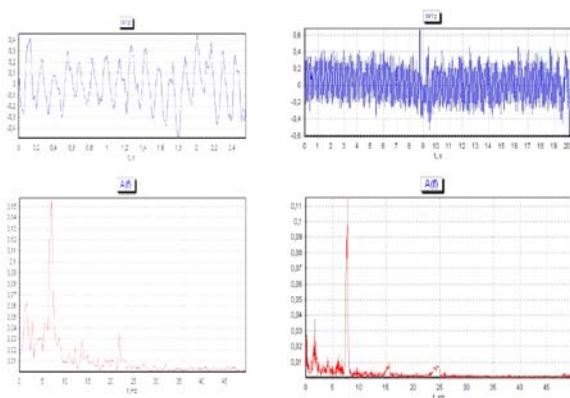


Рис. 16. АЧХ процесу зміни напружень по тензорезистору Т41Z під час руху на вибігу та в режимі тяги

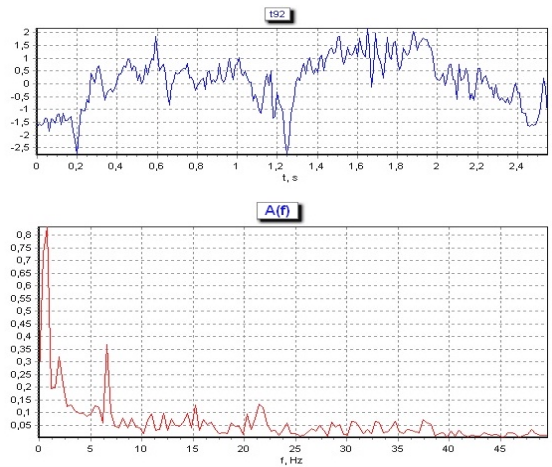


Рис. 17. АЧХ процесу зміни напружень по тензорезистору Т92Z під час руху на вибігу

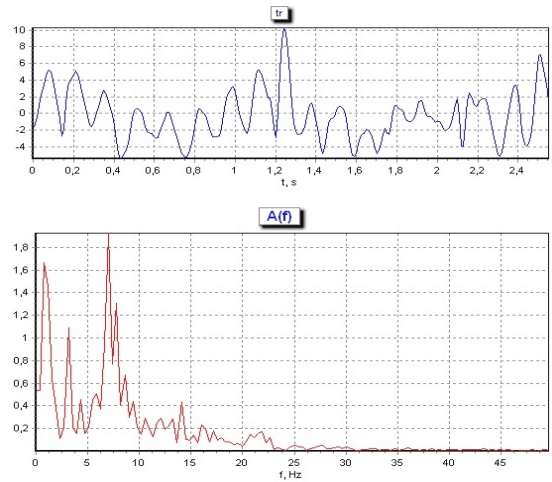


Рис. 18. АЧХ процесу зміни зусиль у болті закріплення тягового редуктора до рами візка ТР під час руху на вибігу

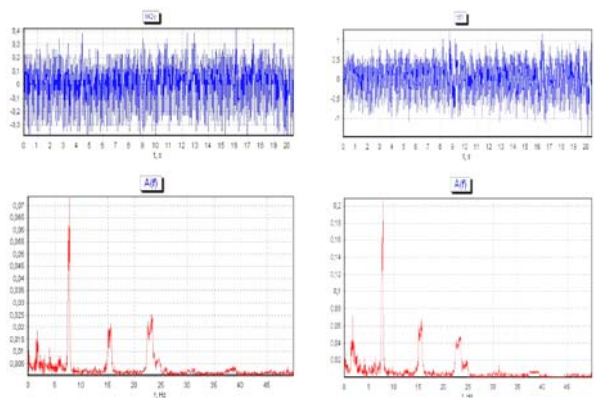


Рис. 19. АЧХ процесу зміни напружень по тензорезисторах Т42У, Т51 під час руху в режимі набору тяги

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

Проаналізувавши наведені рисунки (див. рис. 15–19) для АЧХ, можемо зробити такі висновки. У спектрі частот вертикальних прискорень корпусу тягового редуктора (рис. 15) при переході в режим тяги додаються високочастотні складові, які є результатом взаємодії зубів зубчастої передачі. Основні несучі частоти вертикальних прискорень змінюються в діапазоні 37...60 Гц.

Подібне спостерігається і за тензорезистором Т41Z (рис. 16). Основні частоти процесу за цим датчиком змінюються в діапазоні 6,25...7,5 Гц.

У точці Т92Z (рис. 18) під час руху на вибігу резонансною є частота 1,1 Гц.

У болті кріплення корпусу тягового редуктора до рами візка під час руху на вибігу (рис. 18) резонансні частоти становлять 1,25 та 7,5 Гц.

У точках Т42У та Т51 під час руху в режимі набору тяги (рис. 19) спостерігаються три резонансні частоти 7,5, 15,5 та 23,3 Гц.

Нижче в табл. 2–6 наведено результати статистичної обробки вимірних значень вищевказаних величин, а саме: найбільші значення; середні значення та середньоквадратичні відхилення (s). У наведених таблицях верхнє значення відповідає рухові у прямих, а нижнє – у кривих.

Таблиця 2

Значення прискорень, m/s^2 , корпусу редуктора на прямих/кривих ділянках

V , км/год	Тяга			Вибіг			Гальмування		
	Найбільші значення	Середні значення	s	Найбільші значення	Середні значення	s	Найбільші значення	Середні значення	s
20	31,95	20,20	5,90	30,80	21,30	4,80	–	–	–
	–	–	–	23,11	23,11	3,740	–	–	–
40	28,16	18,60	4,80	29,31	24,10	2,60	25,67	20,90	2,40
	33,75	20,60	6,50	29,94	22,47	3,74	24,23	24,23	0,00
60	28,93	20,0	4,50	27,23	19,60	3,80	22,50	18,20	2,10
	26,62	22,79	1,91	28,45	24,02	2,22	23,29	23,29	0,00
80	23,80	16,30	3,70	28,20	18,70	4,70	–	–	–
	17,82	17,53	0,15	13,73	13,73	0,00	–	–	–
100	21,49	16,50	2,00	23,40	15,20	4,10	–	–	–
	–	–	–	21,58	21,58	0,00	–	–	–

Таблиця 3

Значення напружень, МПа, за датчиком Т51 на прямих/кривих ділянках

V , км/год	Тяга			Вибіг			Гальмування		
	Найбільші значення	Середні значення	s	Найбільші значення	Середні значення	s	Найбільші значення	Середні значення	s
20	3,28	2,30	0,50	2,71	1,70	0,47	–	–	–
	–	–	–	1,86	1,86	0,00	–	–	–
40	1,60	1,03	0,32	2,13	1,34	0,39	1,21	1,17	0,02
	1,78	1,41	0,36	2,85	2,32	0,27	2,47	2,47	0,00
60	1,77	1,28	0,24	1,61	1,27	0,17	3,50	1,94	0,78
	2,52	1,80	0,36	4,07	2,07	1,00	2,28	2,28	0,00

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

Закінчення табл. 3

V, км/год	Тяга			Вибіг			Гальмування		
	Найбільші значення	Середні значення	s	Найбільші значення	Середні значення	s	Найбільші значення	Середні значення	s
80	2,24	1,35	0,44	2,12	1,47	0,32	–	–	–
	1,71	1,56	0,08	1,33	1,33	0,00	–	–	–
100	1,94	1,47	0,23	1,52	1,29	0,11	–	–	–
	–	–	–	1,71	1,71	0,00	–	–	–

Таблиця 4

Значення напружень, МПа, за датчиком Т61 на прямих/кривих ділянках

V, км/год	Тяга			Вибіг			Гальмування		
	Найбільші значення	Середні значення	s	Найбільші значення	Середні значення	s	Найбільші значення	Середні значення	s
20	0,93	0,55	0,19	0,60	0,40	0,00	–	–	–
	–	–	–	0,68	0,68	0,00	–	–	–
40	1,34	1,10	0,10	1,51	1,10	0,16	1,36	1,20	0,00
	1,18	1,18	0,00	1,35	1,31	0,02	1,48	1,48	0,00
60	1,49	1,29	0,10	1,44	1,30	0,07	1,50	1,44	0,00
	1,69	1,41	0,14	1,51	1,39	0,06	2,05	2,05	0,00
80	1,60	1,44	0,00	2,20	1,59	0,31	–	–	–
	1,58	1,58	0,06	1,41	1,41	0,00	–	–	–
100	1,71	1,52	0,09	1,69	1,52	0,00	–	–	–
	–	–	–	1,49	1,49	0,80	–	–	–

Таблиця 5

Значення напружень, МПа, за датчиком Т92 на прямих/кривих ділянках

V, км/год	Тяга			Вибіг			Гальмування		
	Найбільші значення	Середні значення	s	Найбільші значення	Середні значення	s	Найбільші значення	Середні значення	s
20	4,94	3,50	0,54	5,46	3,59	0,94	–	–	–
	–	5,00	–	4,64	4,64	0,00	–	–	–
40	3,20	1,86	0,67	3,56	2,26	0,65	2,31	1,86	0,22
	3,97	2,79	0,59	6,50	4,37	1,06	1,48	1,48	–
60	3,22	2,11	0,55	2,96	2,16	0,40	3,40	2,50	0,45
	4,50	3,20	0,65	4,14	3,07	0,54	2,05	2,05	0,00
80	3,48	2,08	0,70	3,71	2,42	0,64	–	–	–
	3,92	3,00	0,45	2,21	2,21	0,00	–	–	–
100	3,29	2,41	0,44	2,22	2,07	0,08	–	–	–
	–	–	–	3,23	3,23	0,00	–	–	–

Значення зусиль, кН, у болті кріплення корпусу тягового редуктора до рами візка за датчиками TP1, TP2 на прямих/кривих ділянках

V, км/год	Тяга			Вибіг			Гальмування		
	Найбільші значення	Середні значення	s	Найбільші значення	Середні значення	s	Найбільші значення	Середні значення	s
20	25,84	17,98	3,93	23,27	16,53	3,37	–	–	–
	–	–	–	33,31	33,31	0,00	–	–	–
40	14,94	15,61	3,30	18,72	11,98	3,37	14,58	9,93	2,32
	19,96	16,84	1,56	25,61	24,97	0,32	17,98	17,98	–
60	17,76	10,11	3,83	11,84	9,15	1,35	19,13	12,04	3,55
	18,88	17,07	0,91	25,08	17,26	3,91	14,47	14,47	0,00
80	22,44	12,21	5,11	23,35	13,14	5,10	–	–	–
	15,94	11,96	0,39	9,60	9,60	0,00	–	–	–
100	15,76	12,10	1,80	14,57	11,60	1,48	–	–	–
	–	–	2,00	21,71	21,71	0,00	–	–	–

У результаті отримали такі найбільші значення напружень, МПа, для датчиків:

T51	4,07
T61	2,05
T92	6,50
TP, кН	33,31

Наукова новизна та практична значимість

На підставі експериментальних та теоретичних досліджень виконано науковий супровід робіт з розробки та введення в експлуатацію оновлених тягових редукторів для електропоїздів серій EP2, EP9.

Розроблено та передано спеціалістам Укрзалізниці для впровадження технічне рішення із заходами, які мають виконуватися під час експлуатації та ремонтів електропоїздів вказаних серій з корпусами тягових редукторів зварної конструкції КЕВРЗ.

Впровадження в експлуатацію корпусів тягових редукторів зварної конструкції буде сприяти покращенню показників міцності та стану безпеки руху електропоїздів вказаної серії.

Висновки

З аналізу експериментальних даних випливає, що найбільші значення напружень, отриманих під час проведення звичайної графікової поїздки

електропоїзда, виявилися невеликими та значно меншими аналітично визначених при моделюванні нештатних аварійних ситуацій. За визначеними величинами напружень, створюваних в корпусі зварної конструкції тягового редуктора, виготовленого та встановленого на моторному вагоні електропоїзда серії EP9П, впливає, що коефіцієнти запасу міцності в найбільш напружених точках не перевищують нормативних значень. Тому було запропоновано вважати за доцільне розглянути питання про впровадження в серійне виробництво вказаного корпусу тягового редуктора для використання в тягових редукторах електропоїздів серії EP2, EP9П, EP9М, EP9Е.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бирюков, И. В. Анализ износов зубчатых колес тяговой передачи электропоездов и их влияние на динамические нагрузки редукторного узла / И. В. Бирюков, С. Д. Крушев // Исслед. работы оборудования подвижного состава : межвуз. сб. / МИИТ. – М., 1978. – Вып. 605. – С. 69–75.
2. Бирюков, И. В. Динамические нагрузки тяговых приводов, вызванные пересопряжением зубьев тягового редуктора ЭПС / И. В. Бирюков, С. Д. Крушев // Вестн. машиностроения. – 1981. – № 2. – С. 43–44.
3. Бирюков, И. В. Механическая часть тягового подвижного состава / И. В. Бирюков, А. Н. Савоськин, Г. П. Бурчак. – М. : Транспорт, 1992. – 440 с.

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

4. Бирюков, И. В. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог / И. В. Бирюков, А. И. Беляев, Е. К. Рыбников. – М. : Транспорт, 1986. – 255 с.
5. Бондарев, О. М. Визначення умов розташування тягового редуктора, які забезпечують найменші рівні розцентрувань осей тягової передачі рухомого складу / О. М. Бондарев, А. І. Жулай, О. О. Бондарев // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 27. – С. 7–9.
6. Бондарев, О. М. Експериментальне визначення динамічної навантаженості елементів тягового привода локомотива / О. М. Бондарев // Підіймно-трансп. техніка. – 2008. – № 1. – С. 32–40.
7. Бондарев, О. М. Оцінка впливу конструктивних особливостей тягового привода локомотива на напружений стан його елементів / О. М. Бондарев // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 29. – С. 11–26.
8. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М. : Мир, 1975. – 271 с.
9. Концепція Державної програми реформування заліз. трансп. від 27 грудня 2006 р. № 651-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://uz.gov.ua/press_center/latest_news/archive/main_news/221561/. – Назва з екрану.
10. Нормы расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств экипажной части моторвагонного подвижного состава железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. – М. : ВНИИЖТ РФ, 1997. – 147 с.
11. Потемкин, А. Твердотельное моделирование в системе КОМПАС-3D. Серия «Мастер решений» / А. Потемкин. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 512 с.
12. Руководство по устройству электропоездов серии ЕД9М, ЕД9Т, ЕР9П. – М. : Центр Коммерческих Разраб., 2005. – 128 с.
13. Madej, J. Mechanika napędu pojazdów szynowych z elektrycznymi silnikami trakcyjnymi / J. Madej. – Warszawa : Państwowe wydawnictwo naukowe, 1983. – 347 p.
14. Ohyano, Tadao. Some problems of the fundamental adhesion at higher speeds / Tadao Ohyano // Quarterly Report of the Railway Technical Research Institute. – 1973. – № 3. – P. 181–187.
15. Osieski, J. Drgania skretne ukladow napadowych ze sprzeqlami cardana wtracyjnych pojazdach szynowych / J. Osieski // Archiwum Budowy Maszyn. – 1965. – 12 p.

А. М. БОНДАРЕВ^{1*}, Д. А. ЯГОДА¹, А. А. БОНДАРЕВ², В. М. СКОБЛЕНКО²

^{1*}Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел./ факс +38 (056) 793 19 08, эл. почта onildpps@gmail.com

²Государственная администрация железнодорожного транспорта Украины, ул. Тверская, 5, 49150, Киев, Украина

ТЕОРЕТИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ КОРПУСОВ ТЯГОВЫХ РЕДУКТОРОВ СВАРНОЙ КОНСТРУКЦИИ КЭВРЗ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ СЕРИЙ ЭР2, ЭР9

Цель. Проверка соответствия требованиям Норм [10] экспериментальных образцов тяговых редукторов для электропоездов серий ЭР2, ЭР9 с корпусами сварной конструкции производства Киевского электровагоноремонтного завода (КЭВРЗ). **Методика.** Для достижения поставленной цели были разработаны расчетные модели для теоретического определения уровней напряжений в корпусе тягового редуктора сварной конструкции путем моделирования нагруженности, которая может создаваться в условиях эксплуатации, и экспериментально оценены напряжения в разных точках корпуса тягового редуктора, а также уровни вертикальных ускорений корпуса тягового редуктора и нагруженности узла прикрепления корпуса к раме тележки. **Результаты.** На основании анализа полученных результатов расчетов было установлено соответствие требованиям Норм тяговых редукторов с корпусами сварной конструкции КЭВРЗ. **Научная новизна.** На основании экспериментальных и теоретических исследований выполнено научное сопровождение работ по разработке и вводу в эксплуатацию обновленных тяговых редукторов для электропоездов серий ЭР2, ЭР9. **Практическая значимость.** Разработано и передано специалистам Укрзалізничці технічне рішення з мерами, которые должны выполняться при эксплуатации и ремонте электропоездов указанных серий с корпусами тяговых редукторов сварной конструкции КЭВРЗ.

Ключевые слова: расчетные модели; теоретические расчеты; электропоезда серий ЭР2, ЭР9; моторная тележка; тяговой редуктор; показатели прочности

O. M. BONDAREV^{1*}, D. O. YAGODA¹, O. O. BONDAREV², V. M. SKOBLLENKO²^{1*}Dep. «Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, 49010, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel./fax +38 (056) 793 19 08, e-mail onildpps@gmail.com²The State Administration of Railway Transport in Ukraine, Tverska Str., 5, Kyiv, Ukraine**THEORETICAL AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF STRENGTH INDICES FOR TRACTION REDUCTION-GEAR HOUSINGS OF WELDED CONSTRUCTION KEVRZ FOR ELECTRIC TRAINS ER2, ER9**

Purpose. To check meeting the requirements of Standards for experimental specimens of traction gear boxes for electric trains of series ER2, ER9 with housings of welded construction by Kiev Electric Wagon Repair Works (KEVRZ). **Methodology.** To reach the objective in hand, performing the work, some computational models for theoretical determination of the stress levels in the reduction-gear housing of welded construction by simulating the loading conditions that can take place during the operation have been developed and the stresses at different points of the reduction-gear housing as well as the levels of vertical accelerations of the reduction-gear housing and loading of the unit of connecting the housing to the bodies frame have been experimentally evaluated. **Findings.** On the basis of analysis of the calculation results obtained meeting the requirements of Standards for traction reduction gears with the housings of welded construction by KEVRZ has been found. **Originality.** Based on the experimental and theoretical investigations, the scientific support of works on developing and putting into operation the renovated traction reduction gears for electric trains of series ER2, ER9 has been completed. **Practical value.** A technical solution with the measures to be fulfilled in operation of electric trains of the mentioned series with traction reduction-gear housings of welded construction by KEVRZ has been developed and given to experts of Ukrzaliznytsia to introduce the proposed measures during repairs.

Keywords: computational models; theoretical calculations; electric trains of series ER2, ER9; motor bogie; traction reduction gear; strength indices

REFERENCES

1. Biryukov I.V., Krushev S.D. Analiz iznosov zubchatykh koles tyagovoy peredachi elektropoyezdov i ikh vliyaniye na dinamicheskiye nagruzki reduktornogo uzla [Analysis of wears of traction transmission gear wheels for electric trains and their effect on the dynamic loads of reduction assembly]. *Issledovaniye raboty oborudovaniya podvizhnogo sostava* [The study of the equipment of the rolling stock], 1978, issue 605, pp. 69-75.
2. Biryukov I.V., Krushev S.D. Dinamicheskiye nagruzki tyagovykh privodov, vyzvannye peresopryazheniyem zubyev tyagovogo reduktora EPS [Dynamic loads of traction gears caused by excessive conjugation of the traction reduction gear teeth for electric rolling stock]. *Vestnik mashinostroyeniya – Bulletin of mechanical engineering*, 1981, no. 2, pp. 43-44.
3. Biryukov I.V., Savoskin A.N., Burchak G.P. *Mekhanicheskaya chast tyagovogo podvizhnogo sostava* [Mechanical part of traction rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1992. 440 p.
4. Biryukov I.V., Belyayev A.I., Rybnikov Ye.K. *Tyagovyie peredachi elektropodvizhnogo sostava zheleznykh dorog* [Traction drives of electric rolling stock of railways]. Moscow, Transport Publ., 1986. 255 p.
5. Bondarev O.M., Zhulay A.I., Bondarev O.O. Vyznachennia umov roztashuvannia tiahovoho reduktora, yaki zabezpechuiut naimenshi rivni roztcentruvan osei tiahovoi peredachi rukhomoho skladu. [Determination of conditions of traction reduction gear arrangement providing the lowest decentering levels of axles for rolling stock traction transmission]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 27, pp. 7-9.
6. Bondarev O.M. Eksperymentalne vyznachennia dynamichnoi navantazhenosti elementiv tiahovoho pryvoda lokomotyva [Experimental determination of dynamic loading of locomotive traction drive parts]. *Pidiomno-transportna tekhnika – Hoisting-and-conveying equipment*, 2008, no. 1, pp. 32-40.
7. Bondarev O.M. Otsinka vplyvu konstruktivnykh osoblyvostei tiahovoho pryvoda lokomotyva na napruzheniy stan yoho elementiv [Estimation of influence of design features of locomotive traction drive on the stress state of its parts]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika*

ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

- V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 29, pp.11-26.
8. Zenkevich O. *Metod konechnykh elementov v tekhnike* [The finite elements method in technology]. Moscow, Mir Publ., 1975. 271 p.
 9. *Kontsepsiia Derzhavnoi prohramy reformuvannia zaliznychnoho transportu* [Concept of the State Program of Reforming the Railway Transport]. Available at: http://uz.gov.ua/press_center/latest_news/archive/main_news/221561/ (Accessed 17 June 2013).
 10. *Normy rascheta i otsenki prochnosti nesushchikh elementov i dinamicheskikh kachestv ekipazhnoy chasti motorvagonnogo podvizhnogo sostava zheleznykh dorog MPS RF kolei 1520 mm* [Standards for calculating and assessing the strength of load-bearing members and riding qualities of the vehicle part of motor car rolling stock of railways of the Russian Federation Ministry of Railways of the track gauge 1520 mm]. Moscow, VNIIZhT RF Publ., 1997. 147 p.
 11. Potemkin A. *Tverdotelnoye modelirovaniye v sisteme KOMPAS-3D. Seriya "Master resheniy"* [Solid Modeling in KOMPAS-3D System. Series "Master of Solutions"]. Saint Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2004. 512 p.
 12. *Rukovodstvo po ustroystvu elektropoyezdov serii YeD9M, YeD9T, YeR9P* [Manual on Electric Trains Designs of Series ED9M, ED9T, ER9P]. Moscow, Tsentr Kommercheskikh Razrabotok Publ., 2005. 128 p.
 13. Madej J. *Mechanika napedu pojazdow szynowych z elektrycznymi silnikami trakcyjnymi*. Warszawa, Panstwowe wydawnictwo naukowe Publ., 1983. 347 p.
 14. Ohyano Tadao. Some problems of the fundamental adhesion at higher speeds. *Quarterly Report of the Railway Technical Research Institute*, 1973, no. 3, pp. 181-187.
 15. Osieski J. *Drgania skretne ukladow napedowych ze sprzeqlami cardana wtracyynych pojazdach szynowych*. *Archiwum Budowy Maszyn*, 1965. 12 p.

Стаття рекомендована до публікації к.т.н., доц. А. Л. Пуларією (Україна); к.т.н., доц. О. Д. Жаковським (Україна)

Надійшла до редколегії 07.05.2013

Прийнята до друку 30.07.2013