

**Мороз В.І.,
Братченко О.В.,
Громов В.І.**

Український державний університет
залізничного транспорту,
м. Харків, Україна
E-mail: mpmkafedra@gmail.com

ЗБІЛЬШЕННЯ РЕСУРСУ ТЯГОВИХ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ НА ОСНОВІ ЇХ ОПТИМІЗАЦІЙНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

УДК 621.833: 629.4.02

Мороз В.І., Братченко О.В., Громов В.І. «Збільшення ресурсу тягових зубчастих передач рухомого складу залізниць на основі їх оптимізаційного проектування»

Стаття присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі збільшення ресурсу тягових зубчастих передач (ТЗП) рухомого складу залізниць на основі їх оптимізаційного проектування.

За результатами аналізу останніх досліджень з забезпечення надійності ТЗП встановлено, що одним з перспективних напрямків є удосконалення їх конструкції за результатами їх оптимізаційного проектування. Головною метою такого проектування ТЗП є знаходження відповідних конструктивних параметрів, при яких забезпечуються найкращі умови взаємодії контактуючих профілів зубців шестірні та колеса, характеристики та показники зачеплення, очікуваний ресурс передачі.

Представлено математичний запис задачі оптимізаційного проектування ТЗП у вигляді мінімізації відповідної цільової функції, яка описує зв'язок між обраним критерієм (різниця між максимальними коефіцієнтами питомих ковзань $\Delta\lambda$) та обраними в якості незалежних змінних коефіцієнтами зміщення шестірні x_1 і колеса x_2 . Для її вирішення запропоновано використання розроблених авторами блокувальних контурів (БК), які забезпечують знаходження оптимальних коефіцієнтів x_1^ і x_2^* при всіх заданих умовах на проектування ТЗП. Представлені математичні моделі, які необхідні для побудовання блокувальних контурів досліджуваних ТЗП тепловозів серій 2М62, 2ТЕ116, ТЕП70 і електропоїздів серій ЕР2 і ЕР2Р. Для знайдених величин коефіцієнтів x_1^* і x_2^* з використанням розробленого методичного і програмного забезпечення розраховані всі конструктивні параметри, характеристики і показники зачеплення зубців шестірні та колеса, необхідні для визначення технічного ресурсу ТЗП. В якості кількісного показника розглядають величини пробігів локомотива (моторної секції) від початку експлуатації до виникнення граничних зносів зубців шестірні L_1 і колеса L_2 за відповідними постійними ходами. Наведено приклади БК та результати розрахункового дослідження для розглянутих ТЗП. За результатами досліджень встановлено, що за рахунок використання визначених при оптимізаційному проектуванні конструктивних параметрів шестірні та колеса може бути досягнуто суттєве збільшення технічного ресурсу ТЗП. За показником L_2 : до 20% для тепловозів 2М62, до 7% для тепловозів 2ТЕ116, 16% для тепловозів ТЕП70, 11% для електропоїздів серій ЕР2 і ЕР2Р. За показником L_1 : до 18% для тепловозів 2М62, до 2% для тепловозів 2ТЕ116, 16% для тепловозів ТЕП70, 11% для електропоїздів серій ЕР2 і ЕР2Р. Це свідчить про наявність суттєвих резервів збільшення технічного ресурсу ТЗП наявного рухомого складу залізниць за рахунок їх оптимізаційного проектування. Для їх виявлення доцільно використовувати представлений в статті метод оптимізаційного проектування тягових зубчастих передач.*

Ключові слова: рухомий склад залізниць, тягова зубчаста передача, шестірня, колесо, ресурс, оптимізаційне проектування.

Moroz V.I., Bratchenko O.V., Hromov V.I. «Increasing the resource of traction gears of rolling stock of railways based on their optimization design»

The article is devoted to solving the urgent scientific and technical problem of increasing the traction gear (TG) resource of rolling stock on the basis of their optimization design.

The results of the analysis of recent studies to ensure the reliability of TG revealed that one of the promising areas is to improve their design according to the results of their optimization design. The main purpose of this TG design is to find the appropriate design parameters under which the best conditions of interaction of the contacting prongs of the gear wheels and wheels, the characteristics and indicators of engagement, the expected transmission resource.

A mathematical record of the TG optimization design problem is presented in the form of minimization of the corresponding objective function, which describes the relationship between the selected criterion (the difference between the maximum coefficients of sliding on the gear teeth legs λ_{1max} and the wheel λ_{2max} - $\Delta\lambda$) and selected as independent variables, the displacement coefficients x_1 and wheels x_2 . To solve it, we propose the use of locking circuits (LC) developed by the authors, which ensure finding the optimal coefficients x_1^ and x_2^* under all given conditions for the design of TG. The mathematical models that are necessary for the construction of the blocking circuits of the studied TG locomotives of series 2M62, 2TE116, TEP70 and electric trains of the ER2 and ER2R series are presented.*

For the found values of coefficients x_1^* and x_2^* using the developed methodological and software, all design parameters, characteristics and indicators of gearing of gears and wheels necessary for determination of technical resource of TG are calculated. As a quantitative indicator consider the magnitude of the runs of the locomotive (motor section) from the beginning of operation until the emergence of marginal wear of the cogwheels L_1 and wheels L_2 at appropriate constant strokes.

Examples of LC and the results of the computational study for the TG are given. According to the research results it is established that by using the gears and wheels defined in the optimization design of gears and wheels, a significant increase in the technical resource of the TG can be achieved. By L_2 : up to 20% for locomotives 2M62, up to 7% for locomotives 2TE116, 16% for locomotives TEP70, 11% for electric trains of the ER2 and ER2R series. By indicator L_1 : up to 18% for locomotives 2M62, up to 2% for locomotives 2TE116, 16% for locomotives TEP70, 11% for electric trains of the ER2 and ER2R series. This indicates that there are significant reserves to increase the technical resources of the TG of the existing rolling stock of railways due to their optimization design. To identify them, it is advisable to use the method of optimization design of traction gear presented in the article.

Keywords: rolling stock of railways, traction gear, pinion, wheel, resource, optimization design

Актуальність проблеми

Досягнення високого рівня показників функціонування залізниць України нерозривно зв'язано з рішенням науково-прикладної проблеми забезпечення надійності тягового (ТРС) і моторвагонного (МВРС) рухомого складу для здійснення вантажних і пасажирських перевезень. Разом з тим значний обсяг перевезень на мережах АТ «Українська залізниця» здійснюється переважно локомотивами та електропоїздами з наднормативними термінами експлуатації. Тому Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року (схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України №1555-р від 16 грудня 2009 року) та Державна програма оновлення рухомого складу на 2017-2021 роки (затверджена на засіданні АТ «Укрзалізниця» від 29 листопада 2016) передбачають подовження термінів експлуатації існуючого рухомого складу на основі проведення відповідних науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт [1].

Одним з напрямків таких досліджень є забезпечення надійності, технічного ресурсу основних модулів конструкції ТРС і МВРС. До них відноситься тяговий привід в цілому та функціонуюча в його складі тягова зубчаста передача (ТЗП). При цьому досвід проведення ремонтів ТЗП засвідчив, що з причин досягнення граничних зносів зубців передчасно відбраковуються понад 90% шестерень і близько 60% коліс [2,3].

Аналіз останніх досліджень

Для вирішення цієї задачі в Українському державному університеті залізничного транспорту проведені комплексні розрахунково-експериментальні дослідження з аналізу різних видів руйнувань, пошкоджень, інтенсивних зносів бокових поверхонь зубців шестерень і коліс ТЗП і встановлено, що окрім особливих умов експлуатації, значну роль в їх виникненні відіграють параметри, встановлені ще на стадії проектування ТЗП (модуль і числа зубців, коефіцієнти зміщення, коефіцієнти форми зуба, коефіцієнти відносного ковзання профілів, коефіцієнти перекриття та інш.). Це обґрунтувало доцільність проведення досліджень, спрямованих на удосконалення існуючих методів проектування з метою визначення конструктивних параметрів шестерень і коліс, при яких забезпечуються кращі умови взаємодії зубців, відповідні характеристики зачеплення та збільшення технічного ресурсу ТЗП. При цьому до перспективних напрямків подальшого розвитку сучасних методів проектування ТЗП слід віднести: удосконалення процедури визначення оптимальних

коефіцієнтів зміщення шестерень x_1 і коліс x_2 на основі побудови і аналізу відповідних блокувальних контурів. Для її відтворення розроблений представлений в роботі [4] новий удосконалений метод оптимізаційного проектування ТЗП. Він базується на використанні відповідного формалізованого описання задачі умовної багатомірної оптимізації з обмеженнями.

Формулювання мети дослідження

Метою даного дослідження є оцінювання резервів збільшення технічного ресурсу тягових зубчастих передач сучасного рухомого складу залізниць на основі їх оптимізаційного проектування.

Методичний підхід в проведенні досліджень

Головною метою такого проектування ТЗП є знаходження відповідних конструктивних параметрів, при яких забезпечуються найкращі умови взаємодії контактуючих профілів зубців шестірні та колеса, характеристики та показники зачеплення, очікуваний ресурс передачі.

Встановлено, що при заданих попередньо міжцентровій відстані a_w і передаточному числі u_{12} ТЗП, обраних модулі m і числах зубців z_1, z_2 на рівні основних конструктивних параметрів і показників зачеплення визначальний вплив оказують коефіцієнти зміщення шестерні x_1 та колеса x_2 . Тому їх доцільно розглядати як керовані фактори, інтервали зміни яких виділяють параметричні обмеження і область можливих рішень D . В якості критеріальної оцінки оптимальності (за поліпшенням умов зношування) доцільно розглядати ступінь вирівнювання максимальних коефіцієнтів питомих ковзань на ніжках зубців шестерні λ_{1max} та колеса λ_{2max} . Тобто, зменшення різниці між цими коефіцієнтами $\Delta\lambda$ доцільно розглядати як головний критерій. Інші показники (залежності вторинних критеріїв та граничних умов від x_1 і x_2) розглядаються як функціональні обмеження, які виділяють область допустимих рішень D_x вибору найкращих значень коефіцієнтів x_1 і x_2 за головним критерієм [5,6]. Тоді математичний запис задачі оптимізаційного проектування приймає вид

$$\begin{aligned} \Delta\lambda(x_1, x_2) &\rightarrow \min, \\ x_1, x_2 &\in D_x \in D. \end{aligned} \quad (1)$$

Для її вирішення запропоновано використання для досліджуваних ТЗП «блокувальних контурів» (БК) – комплексних графіків (рис.1), на яких для конкретного сполучення чисел зубців z_1 і z_2 в прямокутних координатах x_1 і x_2 нанесені відповідні обмежувальні ізолінії. Кожна з них відповідає певній граничній умові на проектування зубчастої передачі і конкретизує області, в яких обираються коефіцієнти x_1 і x_2 для чисел зубців z_1 і z_2 . Загальна область графіка обмежена обраними інтервалами варіювання коефіцієнтів зміщення x_1 і x_2 . Пошук оптимальних величин коефіцієнтів зміщення шестірні x_1^* і колеса x_2^* (умовно відповідають точці P на графіку) повинний здійснюватись в межах БК $A-B-C-D-E-F-G-H$ (незатемнена область графіка), окресленого шістьма обмежувальними лініями відповідних параметрів ТЗП: 1 – $\varepsilon_{\alpha min} = 1,2$ (мінімальна величина коефіцієнту перекриття); 2 – $S_{a1}/m = 0,25$ (умова відсутності загострення зубців шестірні); 3,4,5 – граничні умови відсутності інтерференції з боку шестерні та колеса; 6 – x_{1min} (за умов відсутності підрізання зубців шестірні). Додаткові лінії: 7 – відношення заданої міжосьової відстані до модуля зубців a_w/m ; 8 – умова $\Delta\lambda = |\lambda_{1max}| - |\lambda_{2max}| = 0$; 9 – $\varepsilon_{\alpha} = 1,3$; 10 – $\varepsilon_{\alpha} = 1,45$; 11 – $\varepsilon_{\alpha} = 1,6$;

12 – $S_{a1}/m=0,4$; 13 – $S_{a2}/m=0,7$; 14 – $S_{a2}/m=0,8$. Побудування БК передбачає наявність математичних моделей виду $x_1 = f(x_2, z_1, u_{12})$.

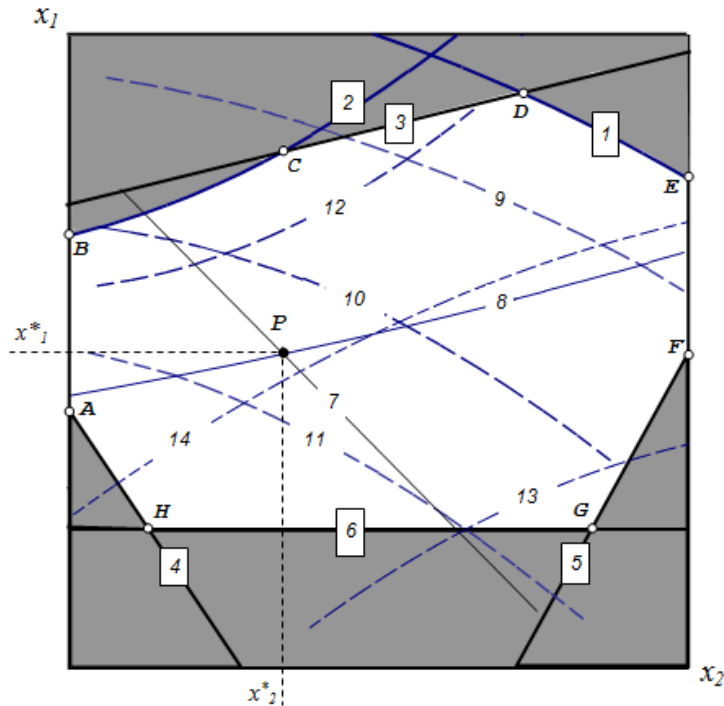


Рис.1. Загальний вид БК для оптимізаційного проектування ТЗП

$$x_1 = a_0 + a_1 \cdot x_2 + a_2 \cdot z_1 + a_3 \cdot u_{12} + a_{11} \cdot x_2^2 + a_{22} \cdot z_1^2 + a_{33} \cdot u_{12}^2 + a_{12} \cdot x_2 \cdot z_1 + a_{13} \cdot x_2 \cdot u_{12} + a_{23} \cdot z_1 \cdot u_{12}. \quad (2)$$

Величини коефіцієнтів математичних моделей для побудування ліній БК при оптимізаційному проектуванні ТЗП зведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Коефіцієнти математичних моделей (2) для отримання БК

№ лінії рис.2	a_0	a_1	a_2	a_3	a_{11}	a_{22}	a_{33}	a_{12}	a_{13}	a_{23}	σ_{x_1}
1	-0,471	-0,649	0,0924	0,187	-0,104	-0,00097	-0,0132	0,0101	0,0654	-0,0025	$\pm 0,02$
2	0,4192	0,839	0,0606	-0,156	0,263	-0,0004	0,0146	-0,0005	-0,1102	-0,0008	$\pm 0,0114$
3	1,189	0,117	0,005	-0,0543	-0,0088	-0,00006	0,0054	0,00125	-0,0133	-0,0004	$\pm 0,0033$
4	0,1516	-1,064	-0,03	-0,0935	0,174	0,00035	0,00467	-0,0152	-0,0558	0,0012	$\pm 0,0035$
5	0,179	-2,798	0,0011	0,0681	1,958	0,00013	0,0083	-0,0086	-0,162	0,0005	$\pm 0,0043$
8	0,792	0,297	-0,0253	-0,012	0,0315	0,00033	0,00317	0,004	-0,0536	-0,0003	$\pm 0,0073$
9	-0,834	-0,7662	0,0953	0,227	-0,114	-0,0011	-0,0159	0,0116	0,0774	-0,0029	$\pm 0,0183$
10	-0,491	-0,991	0,0513	0,0767	-0,195	0,00008	0,0065	0,0158	0,103	-0,0039	$\pm 0,0117$
11	-1,847	-1,163	0,0966	0,355	-0,19	-0,0011	-0,0252	0,0215	0,137	-0,0048	$\pm 0,0115$
12	0,695	0,989	0,0304	-0,0273	0,298	-	0,0259	-0,006	-0,1427	0,00088	$\pm 0,0081$
						0,0000 2					
13	1,095	-0,113	-0,0108	-0,109	-0,61	-0,0008	-0,0097	0,0615	0,258	-0,0185	$\pm 0,02$
14	0,835	-0,0958	0,0164	0,0025	-0,264	-0,0005	-0,0026	0,0243	0,0904	-0,0084	$\pm 0,0089$

Результати перевірки адекватності отриманих математичних моделей за величиною дисперсії середньоквадратичного відхилення σ_{x_i} підтвердили можливість їх використання в подальших дослідженнях.

При проведенні оптимізаційного проектування для знайдених величин коефіцієнтів x_1^* і x_2^* з використанням розробленого методичного і програмного забезпечення розраховуються всі конструктивні параметри, характеристики і показники зачеплення зубців шестірні та колеса, необхідні для визначення технічного ресурсу ТЗП.

В дослідженнях, спрямованих на збільшення технічного ресурсу ТЗП тягового та моторвагонного рухомого складу залізниць (при безаварійних умовах його експлуатації) в якості кількісного показника розглядають величини пробігів локомотива (моторної секції) від початку експлуатації до виникнення граничних зносів зубців шестірні L_1 і колеса L_2 [2,9]. При цьому граничні зноси зубців визначаються граничними змінами (зменшенням) їх товщин за відповідними постійними хордами шестірні і колеса. Для визначення величин L_1 і L_2 при проведенні досліджень рекомендовані в роботі [2] формули, які передбачають використання обраних при проектуванні конструктивних і геометричних параметрів профілів зубців шестірні та колеса, показників їх зачеплення.

Результати досліджень

В рамках дослідження було проведено оптимізаційне проектування ТЗП тепловозів серій ТЕП70, 2ТЕ116, 2М62 і електропоїздів серій ЕР2 і ЕР2Р, які експлуатуються в теперішній час на мережі залізниць України.

Для кожної ТЗП були побудовані відповідні БК, здійснено пошук оптимальних значень коефіцієнтів x_1^* і x_2^* . З їх використанням проведено розрахункове дослідження, визначені всі необхідні конструктивні параметри та характеристики зачеплення і очікуваний технічний ресурс ТЗП. В якості прикладу на рис. 2 показані БК для ТЗП тепловозів серії ТЕП70 і електропоїздів серії ЕР2.

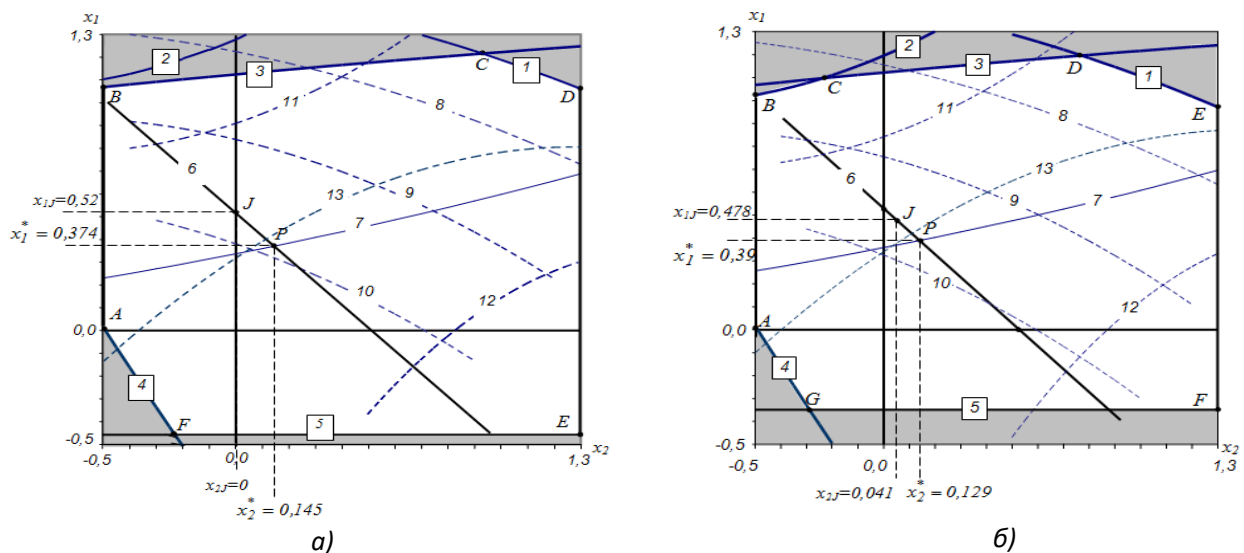


Рис.2. БК для вибору коефіцієнтів зміщення x_1^* і x_2^* при оптимізаційному проектуванні ТЗП тепловозів серії ТЕП70 (а) і електропоїздів серії ЕР2 (б)

Результати розрахункових досліджень з визначення геометричних параметрів і показників зачеплення на прикладі ТЗП тепловозів серії ТЕП70 наведені в таблиці 2 (варіант 1 – при серійних коефіцієнтах зміщення, варіант 2 – встановлених оптимальних коефіцієнтах зміщення).

Таблиця 2

Результати розрахунків геометричних параметрів і показників ТЗП тепловозу ТЕП70

Найменування параметру (показника), позначення	Величина	
	Варіант 1	Варіант 2
1	2	3
Кут вихідного контуру, α , градус	20	20
Коефіцієнт радіального зазору, c^*	0,25	0,25
Коефіцієнт висоти голівки зубця, h^*	1	1
Кут зачеплення, α_w , градус	21,46	21,463
Міжцентрова відстань, a_w , мм	520,02	520,002
Ділильний діаметр кола шестерні, d_1 , мм	250	250
Основний діаметр шестерні, d_{b1} , мм	234,92	234,92
Початковий діаметр шестерні, d_{w1} , мм	252,42	252,42
Діаметр западин шестерні, d_{f1} , мм	235,4	232,48
Діаметр вершин шестерні, d_{a1} , мм	279,98	277,12
Ділильний діаметр колеса, d_2 , мм	780	780
Основний діаметр колеса, d_{b2} , мм	732,96	732,96
Діаметр початкового кола колеса, d_{w2} , мм	787,56	787,56
Діаметр кола западин колеса, d_{f2} , мм	755	757,88
Діаметр кола вершин колеса, d_{a2} , мм	799,58	802,52
1	2	3
Ділильний крок, p , мм	31,416	31,416
Постійна хорда шестерні, \bar{S}_{C1} , мм	17,21	16,27
Висота (від вершин) до постійної хорди шестерні, \bar{h}_{C1} , мм	11,86	10,6
Постійна хорда колеса, \bar{S}_{C2} , мм	13,87	14,8
Висота (від вершин) до постійної хорди колеса, \bar{h}_{C2} , мм	7,27	8,57
Різниця максимальних питомих ковзань на ніжках зубців шестерні та колеса, $\Delta\lambda$	0,403	0,005
Товщина зубця шестерні на поверхні вершин, s_{a1} , мм	5,522	6,1
Товщина зубця колеса на поверхні вершин, s_{a2} , мм	8,17	7,97
Торцевий коефіцієнт перекриття, ε_a	1,546	1,584

В таблиці 3 представлені зведені результати проведеного дослідження з оцінювання резервів збільшення технічного ресурсу ТЗП розглянутих серій тепловозів і електропоїздів. Вони містять кінцеві значення критеріального показника $\Delta\lambda$ і розглянутих показників технічного ресурсу L_1 і L_2 для варіантів конструкції ТЗП з серійними та оптимізованими коефіцієнтами зміщення шестірни та колеса.

Таблиця 3

До оцінювання резервів збільшення ресурсу ТЗП

Параметри, показники	2М62		2ТЕ116		ТЕП70		ЕР2		ЕР2Р	
	Серійний	Новий	Серійний	Новий	Серійний	Новий	Серійний	Новий	Серійний	Новий
x_1	0,8	0,57	0,505	0,502	0,52	0,374	0,478	0,041	0,45	0,069
x_2	0,424	0,654	0,437	0,439	0	0,146	0,39	0,129	0,405	0,114
$\Delta\lambda$	0,82	0,001	0,025	0,003	0,403	0,005	0,3	0,002	0,25	0,001
L_1 , тис.км	440	520	810	826	1020	1180	1076	1190	1120	1230
L_2 , тис.км	740	890	1300	1400	1460	1690	1669	1850	1640	1820

Аналіз наведених в таблиці 3 даних свідчить, що за рахунок використання визначених при оптимізаційному проектуванні конструктивних параметрів шестірні та колеса може бути досягнуто суттєве збільшення технічного ресурсу ТЗП. За показником L_2 : до 20% для тепловозів 2М62, до 7% для тепловозів 2ТЕ116, 16% для тепловозів ТЕП70, 11% для електропоїздів серій ЕР2 і ЕР2Р. За показником L_1 : до 18% для тепловозів 2М62, до 2% для тепловозів 2ТЕ116, 16% для тепловозів ТЕП70, 11% для електропоїздів серій ЕР2 і ЕР2Р.

Практичні рекомендації

Представлені розробки з побудування блокувальних контурів, відповідні математичні моделі дозволяють проводити дослідження з оцінювання та збільшення ресурсу тягових зубчастих передач різних серій рухомого складу, що знаходиться в експлуатації.

Висновки

Наведені в статті матеріали свідчать про наявність суттєвих резервів збільшення технічного ресурсу ТЗП експлуатуємого рухомого складу залізниць за рахунок їх оптимізаційного проектування.

Список використаних джерел

1. Горбунов Н.И., Ковтанец М.В., Демин Р.Ю. Методология инновационного развития железнодорожного транспорта. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Луганськ. 2014. №3 (210). С. 22-27.
2. Бирюков И.В., Беляев А.И., Рыбников Е.К. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог. Москва: Транспорт, 1986. 256 с.
3. Колодяжный П.В. Эксплуатационные повреждения зубчатых передач тягового подвижного состава и технологии их упрочнения при изготовлении. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Луганськ. 2011. Ч.2. №1 (155). С. 88-96.
4. Мороз В.І., Братченко О.В., Громов В.І. Особливості вибору коефіцієнтів зміщення шестерні та колеса при оптимізаційному проектуванні тягових зубчастих передач. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», серія «Машинознавство та САПР»*. Харків. 2018. № 25 (1301). С. 107 – 111.
5. Мороз В.І. Генетичний та методологічний аспект створення технічних засобів нового покоління для залізничного транспорту. *Залізничний транспорт України*. Київ. 2000. № 5-6. С. 61-62.
6. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. Москва: Мир, 1981. 456 с.
7. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. Киев: Техника, 1975. 168 с.
8. Громов В.І. Дослідження поверхонь відгуку показників міцності тягових зубчастих передач з різним ступенем зносу профілів зубців. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Харків. 2017. №168. С. 37 – 44.
9. Громов В.І. Збільшення ресурсу тягових зубчастих передач рухомого складу за рахунок удосконалення методів проектування та ремонту: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Харків, 2019. 20 с.

References

1. Gorbunov N.I., Kovtanec M.V., Demin R.Yu. Metodologiya innovacionnogo razvitiya zheleznodorozhnogo transporta. Visnik Shidnoukrayinskogo nacionalnogo universitetu imeni Volodimira Dalya. Lugansk. 2014. №3 (210). S. 22-27.
2. Biryukov I.V., Belyaev A.I., Rybnikov E.K. Tyagovye peredachi elektropodvizhnogo sostava zheleznyh dorog. Moskva: Transport, 1986. 256 s.
3. Kolodyazhnyj P.V. Ekspluatacionnye povrezhdeniya zubchatyh peredach tyagovogo podvizhnogo sostava i tehnologii ih uprochneniya pri izgotovlenii. Visnik Shidnoukrayinskogo nacionalnogo universitetu imeni Volodimira Dalya. Lugansk. 2011. Ch.2. №1 (155). S. 88-96.
4. Moroz V.I., Bratchenko O.V., Hromov V.I. Osoblivosti viboru koeficiyentiv zmishennya shesterni ta koleasa pri optimizacijnomu proektuvanni tyagovih zubchastih peredach. Visnik Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «Harkivskij politehnicnij institut», seriya «Mashinoznavstvo ta SAPR». Harkiv. 2018. № 25 (1301). S. 107 – 111.
5. Moroz V.I. Genetichnij ta metodologichnij aspekt stvorenniya tehnicnih zasobiv novogo pokolinnya dlya zaliznichnogo transportu. Zaliznichnij transport Ukrayini. Kiyiv. 2000. № 5-6. S. 61-62.
6. Ditrh Ya. Proektirovanie i konstruirovanie: Sistemnyj podhod. Moskva: Mir, 1981. 456 s.
7. Vinarskij M.S., Lure M.V. Planirovanie eksperimenta v tehnologicheskikh issledovaniyah. Kiev: Tehnika, 1975. 168 s.
8. Hromov V.I. Doslidzhennya poverhon vidguku pokaznikov micnosti tyagovih zubchatih peredach z riznim stupenem znosu profiliv zubciv. Zbirnik naukovih prac Ukrayinskogo derzhavnogo universitetu zaliznichnogo transportu. Harkiv. 2017. №168. S. 37 – 44.
9. Hromov V.I. Zbilshennya resursu tyagovih zubchastih peredach ruhomogo skladu za rahunok udoskonalennya metodiv proektuvannya ta remontu: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. Harkiv, 2019. 20 s.