

УДК 629.42: 62-233.3/.9

*Канд. техн. наук О.В. Братченко,
В.І. Громов*

*Cand. of techn. sciences O.V. Bratchenko,
V.I. Gromov*

**УЗАГАЛЬНЕНІ МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ
ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ТЯГОВИХ ЗУБЧАТИХ ПЕРЕДАЧ
РУХОМОГО СКЛАДУ**

**GENERALIZED MATHEMATICAL MODEL FOR IMPROVEMENT
REPAIR TECHNOLOGY GEARS TRACTION ROLLING STOCK**

Представила д-р техн. наук, професор Л.А. Тимофєєва

Постановка проблеми і аналіз останніх досліджень у напрямку її вирішення. Згідно з основними положеннями Державної цільової програми, затвердженої постановою КМУ

№1390 від 16.12.2009 р., подальше реформування залізничного транспорту пов'язане з придбанням та використанням рухомого складу нового покоління. Тривалість такого процесу, обумовлена

необхідністю інвестування великих обсягів коштів, визначає актуальність наукових досліджень щодо забезпечення працездатності наявного тягового рухомого складу (ТРС). Серед комплексу робіт у вказаному напрямку слід виділити розробки, спрямовані на удосконалення технологій ремонту основних конструктивних елементів ТРС, до яких відноситься тягова зубчата передача (ТЗП) [1,2].

За результатами проведених в Українській державній академії залізничного транспорту досліджень встановлено, що при проведенні ремонтів комплектування шестірні і колеса ТЗП виконується без аналізу очікуваних характеристик зачеплення в експлуатації. Це негативно впливає на характеристики роботи та надійність ТЗП і тягового привода в цілому [3,4]. Тому актуальною задачею є впровадження удосконалених технологій ремонту ТЗП, при яких комплектування їх елементів здійснюється за умов забезпечення найкращих характеристик зачеплення і вимог згинної та контактної міцності в експлуатації ТРС.

Одним з можливих варіантів вирішення такої задачі є застосування розробленої в УкрДАЗТ відповідної технології, в основу якої закладено використання узагальнених математичних моделей (УММ) [5], які описують зміни основних показників якості зачеплення та міцності в залежності від ступенів зносу зубців шестірні та колеса ТЗП. Тому на особливу увагу заслугоує вирішення задачі раціонального отримання таких УММ на основі використання сучасних методів математичного планування експерименту (МПЕ) [5,6].

Мета статті і викладення основного матеріалу. Метою статті є висвітлення результатів досліджень, спрямованих на отримання шуканих УММ на прикладі ТЗП електропоїздів серії ЕР-2 (модуль $m = 10$ мм; число зубців шестірні $z_1 = 23$, колеса $z_2 = 73$; номінальна товщина зубця

за хордою ділильного кола шестерні $\bar{S}_1 = 18,89$ мм, колеса $\bar{S}_2 = 16,28$ мм).

При здійсненні деповських ремонтів електропоїздів зазначеної серії формування ТЗП виконується з урахуванням граничних зносів зубців за хордами ділильних кіл, які складають для шестірні $\Delta_{1max} = 3,39$ мм, для колеса - $\Delta_{2max} = 5,28$ мм.

При проведенні досліджень як основні контрольовані показники ураховувались: показник якості зачеплення – коефіцієнт перекриття ε ; міцнісні показники – максимальні напруження згину зубців шестірні σ_{F1} та контактні напруження в ТЗП σ_H . Як керовані змінні прийняті відносні зноси за хордами ділильних кіл зубців шестірні $\bar{\Delta}_1 = \Delta_1 / \Delta_{1max}$ і колеса $\bar{\Delta}_2 = \Delta_2 / \Delta_{2max}$ (Δ_1, Δ_2 - встановлені величини зносів за хордами ділильних кіл зубців шестірні та колеса).

Відповідно до вимог МПЕ, дослідження, спрямоване на отримання УММ вигляду $\varepsilon = f(\bar{\Delta}_1, \bar{\Delta}_2)$, $\sigma_{F1} = f(\bar{\Delta}_1, \bar{\Delta}_2)$, $\sigma_H = f(\bar{\Delta}_1, \bar{\Delta}_2)$, проводилось у викладеній нижче послідовності.

1. Призначались інтервали варіювання керованих змінних. За результатами проведених розрахунково-експериментальних досліджень виявлено, що при комплектації ТЗП електропоїздів ЕР-2 доцільно приймати $\bar{\Delta}_1 = 0..0,6$, $\bar{\Delta}_2 = 0..0,6$ [4].

2. Виконувався перехід від дійсних значень керованих змінних $\bar{\Delta}_1$ і $\bar{\Delta}_2$ до їх нормованих параметрів $x_{\bar{\Delta}_1}$ і $x_{\bar{\Delta}_2}$. Це визначило їх простий зв'язок (табл. 1), що дозволяє складати математичний план, маючи відповідну матрицю планування.

Таблиця 1

Таблиця відповідності нормованих параметрів дійсним значенням керованих змінних

$x_{\Delta_{1,2}}^-$	-2	-1	0	1	2
$\bar{\Delta}_1$	0	0,15	0,3	0,45	0,6
$\bar{\Delta}_2$	0	0,15	0,3	0,45	0,6

3.3 використанням матриці планування [5,6] складався ортогональний математичний план другого порядку для двох змінних, що варіюються на п'яти рівнях. При цьому для кожного j -го режиму математичного плану з використанням розроблених підходів до моделювання характеристик зачеплення ТЗП при

встановлених зносах зубців і відповідних методик [7] обчислювались значення контрольованих показників ε , σ_{F1} і σ_H (табл. 2).

4.3 використанням математичного плану шукані УММ отримувались у вигляді поліномів другого ступеня

$$y = a_0 + a_1 \cdot \bar{\Delta}_1 + a_2 \cdot \bar{\Delta}_2 + a_{11} \cdot \bar{\Delta}_1^2 + a_{22} \cdot \bar{\Delta}_2^2 + a_{12} \cdot \bar{\Delta}_1 \cdot \bar{\Delta}_2, \quad (1)$$

де y – контрольований показник;

a_i – коефіцієнти УММ, чисельні значення яких визначаються за допомогою розроблених програм, що забезпечують розв'язання системи нормальних рівнянь, наведених нижче у матричній формі [5]

$$C \cdot A = X_T \cdot Y, \quad (2)$$

де $C = X_T \cdot X$ - інформаційна матриця;

X - матриця планування;

X_T - транспонована матриця матриці

X ;

A – матриця – стовпець коефіцієнтів УММ;

Y - матриця – стовпець отриманих за планом значень відповідного показника y .

Таблиця 2

Матриця планування і математичний план дослідження

Номери режимів	Матриця планування		Математичний план				
	$x_{\Delta_1}^-$	$x_{\Delta_2}^-$	$\bar{\Delta}_1$	$\bar{\Delta}_2$	$\sigma_{F1}, \text{Mпа}$	$\sigma_H, \text{Mпа}$	ε
1	1	1	0,45	0,45	355	707	1,417
2	1	-1	0,45	0,15	275	722	1,467
3	-1	1	0,15	0,45	342	761	1,449
4	-1	-1	0,15	0,15	236	709	1,499
5	0	0	0,3	0,3	284	920	1,458
6	2	0	0,6	0,3	265	737	1,426
7	-2	0	0	0,3	215	897	1,49
8	0	2	0,3	0,6	504	998	1,408
9	0	-2	0,3	0	314	754	1,508
10	2	2	0,6	0,6	460	927	1,376
11	2	-2	0,6	0	325	930	1,476
12	-2	2	0	0,6	468	1030	1,44
13	-2	-2	0	0	199	612	1,54

Величини визначених коефіцієнтів шуканих УММ подано в табл. 3.

Перевірка адекватності отриманої математичної моделі виконувалась за величиною дисперсії середньоквадратичного відхилення σ величин дослідних показників y_j і значень показників y_{jp} , отриманих за моделлю (1),

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (y_j - y_{jp})^2}{m - k}}, \quad (3)$$

де m – число режимів математичного плану (у випадку застосування математичного плану за табл. 2 $m = 13$);

k – кількість коефіцієнтів a_i узагальнених математичних моделей (1), $k = 6$.

Таблиця 3

Результати обчислення коефіцієнтів шуканих УММ

Контрольований показник	Величина коефіцієнту a_i відповідної УММ					
	a_0	a_1	a_2	a_{11}	a_{22}	a_{12}
ε	1,534	-0,087	0,147	0	0	-0,658
σ_{F1}	223,58	436,11	-455,8	-477,42	1400,4	-205,23
σ_H	638,25	492,6	309,26	-162,23	498,9	-829,41

Величини дисперсії середньоквадратичного відхилення для отриманих УММ ($\sigma_\varepsilon = \pm 0,002$; $\sigma_{\sigma_{F1}} = \pm 4,05$ МПа; $\sigma_{\sigma_H} = \pm 12,32$ МПа), розраховані за формулою (1), свідчать про їх адекватність і придатність для використання в подальших дослідженнях з формування ремонтних ТЗП-підбору шестірень і коліс за величинами відносних зносів зубців $\bar{\Delta}_1$ і $\bar{\Delta}_2$ за умов забезпечення найкращих характеристик зачеплення і вимог згинної та контактної міцності в експлуатації ТРС.

Для вирішення такої задачі з застосуванням отриманих УММ доцільно використовувати допоміжні графіки (бінарні перерізи), на яких наносяться ізолінії контрольованих показників. Для прикладу на рисунку подано такий графік для визначення рівня контактних напружень σ_H в ремонтній ТЗП в

залежності від сполучення величин $\bar{\Delta}_1$ і $\bar{\Delta}_2$.

Сумісний аналіз таких графіків для всіх контрольованих показників ε , σ_{F1} і σ_H дозволяє здійснювати обґрунтований селекційний підбір шестірні і колеса ремонтної ТЗП з урахуванням наведених вище умов.

Висновки і перспективи подальшого використання. Наведені в статті матеріали є складовою робіт, спрямованих на удосконалення технології ремонту ТЗП рухомого складу. Їх доцільно використовувати в подальших дослідженнях з розроблення рекомендацій щодо формування ремонтних тягових зубчатих передач електропоїздів серії EP-2 за умов забезпечення найкращих характеристик зачеплення і вимог згинної та контактної міцності в експлуатації.

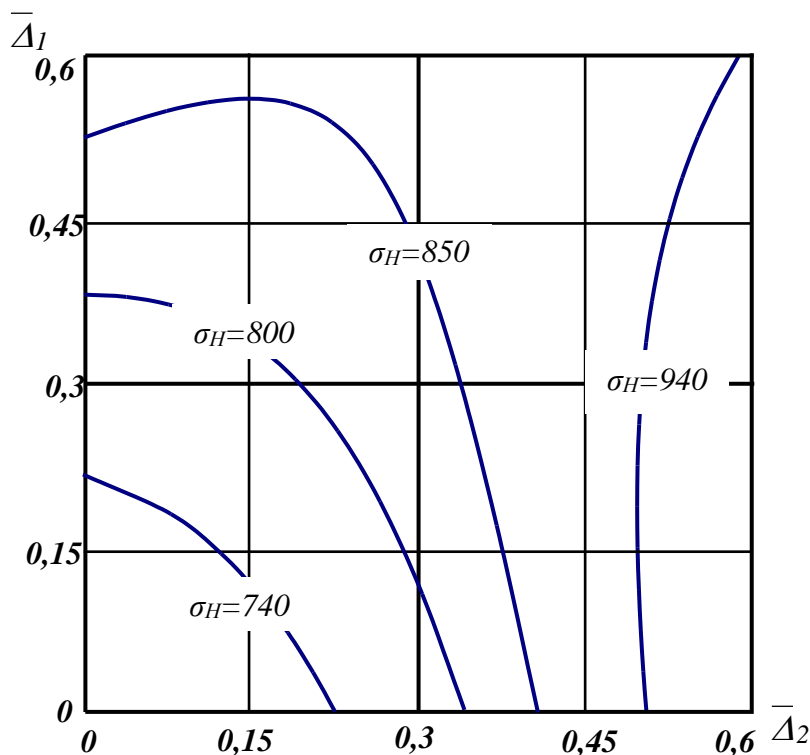


Рис. Допоміжний графік для визначення рівня контактних напружень σ_H в ТЗП в залежності від зносу зубців шестірні і колеса

Список літератури

1. Боднар, Б.Є. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування [Текст]: підруч. для внз залізнич. трансп. / Б.Є. Боднар, Є.Г. Нечаєв, Д.В.Бобир; під ред. Б.Є. Боднара. – Дніпропетровськ: Ліра ЛТД, 2010. – 358 с.
2. Бирюков, И.В. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог [Текст] / И.В. Бирюков, А.И. Беляев, Е.К. Рыбников. – М.: Транспорт, 1986. – 256 с.
3. Мороз, В.І. Обґрунтування перспективних напрямків підвищення експлуатаційної надійності тягових передач електропоїздів серії ЕР-2 [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, С.В. Бобрицький // Зб.наук.праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 111. – С. 176-182.
4. Мороз, В.І. Нова методика визначення експлуатаційних зносу профілів зубців та підбору парних коліс тягових зубчатих передач [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, С.В. Бобрицький // Зб.наук.праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 117. – С. 12-16.
5. Мороз, В.І. Основи конструювання і САПР [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, В.В. Лінков. – Харків: Нове слово, 2003. – 194 с.
6. Мороз, В.І. Основи конструювання і САПР технічних засобів залізничного транспорту [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, К.В. Астахова. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – 136 с.
7. Мороз, В.І. Уточнена методика проектувальних розрахунків тягових зубчастих передач моторвагонного рухомого складу [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, С.В. Бобрицький // Зб.наук.праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 107.– С. 153-158.

Ключові слова: рухомий склад, тягова зубчата передача, шестірня, колеса, знос, коефіцієнт перекриття, згинні напруження, контактні напруження, узагальнені математичні моделі.

Анотації

У статті обґрунтовано необхідність удосконалення технології ремонту тягових зубчатих передач залізничного рухомого складу, що передбачає розроблення рекомендацій щодо обґрунтованого підбору парних шестерень та коліс за умов досягнення їх високих експлуатаційних показників. Показано, що одним з можливих варіантів вирішення такої задачі є застосування технології, в основу якої закладено використання узагальнених математичних моделей, які описують зміни основних показників якості зацеплення та міцності в залежності від ступенів зносу зубців шестерні та колеса тягової зубчатої передачі. Представлений приклад отримання таких математичних моделей для тягових зубчатих передач електропоїздів серії ER-2. Надані висновки і рекомендації щодо подальшого використання результатів досліджень.

В статье обоснована необходимость усовершенствования технологии ремонта тяговых зубчатых передач железнодорожного подвижного состава, что предусматривает разработку рекомендаций по подбору парных шестерен и колес по условиям достижения их высоких эксплуатационных показателей. Показано, что одним из возможных вариантов решения такой задачи является применение технологии, в основу которой заложено применение обобщенных математических моделей, которые описывают изменение основных показателей зацепления и прочности в зависимости от степени износа зубьев шестерни и колеса тяговой зубчатой передачи. Представлен пример получения таких математических моделей для тяговых зубчатых передач электропоездов серии ЭР-2. Даны выводы и рекомендации по дальнейшему использованию результатов исследования.

The necessity of improvement of technology of repair of the hauling gearings of railway mobile composition is grounded in the article, that foresees development of recommendations on the selection of pair cog-wheels and wheels on the terms of achievement of their high operating indexes. It is shown that one of possible variants of decision of such task is application of technology, application of the generalized mathematical models which describe the change of basic indexes of hooking and durability depending on the degree of wear of cog-wheel and wheel of the hauling gearing is stopped up in basis of which. The example of receipt such mathematical models is represented for the hauling gearings of electric trains of series of ER-2. Conclusions and recommendations are given on the further use of research results.