

---

## РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ

---

УДК 658.562:629.421.1

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.158.2015.63242>

### МОДЕЛЬ ОЦІНКИ РЕСУРСУ ТЯГОВОЇ ПЕРЕДАЧІ МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Д-р техн. наук О.Б. Бабанін, магістр С.Е. Яровий, асп. В.І. Бульба

### МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РЕСУРСА ТЯГОВОЙ ПЕРЕДАЧИ МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Д-р техн. наук А.Б. Бабанин, магистр С.Э. Яровой, асп. В.И. Бульба

### MODEL OF AN ESTIMATION OF A RESOURCE OF TRACTION TRANSFER OF A MOTOR CARLOAD ROLLING STOCK

Doct. of techn. sciences A. Babanin, master student S. Yarovoy, postgraduate V. Bulba

*У статті розглянуто питання визначення ресурсу колісно-моторного блока тягової передачі моторвагонного рухомого складу. Визначені задачі прогнозування технічного стану відповідальних вузлів тягової передачі. Формалізовано модель зношення, у якій виділено періоди припрацювання, нормальної експлуатації, інтенсивного зношення та продовження терміну служби колісно-моторного блока моторвагонного рухомого складу за весь його життєвий цикл. Для кожного виділеного періоду запропоновано відповідні залежності швидкості й інтенсивності зносу. За даними залежностями проведено розрахунки й отримано аналітичні вирази зношення зубів шестерень силового редуктора тягової передачі, які дають змогу прогнозувати її ресурс в експлуатації.*

**Ключові слова:** залежність, знос, інтенсивність, період, прогноз, ресурс, експлуатація.

*В статье рассмотрены вопросы определения ресурса колесно-моторного блока тяговой передачи моторвагонного подвижного состава. Определены задачи прогнозирования технического состояния ответственных узлов тяговой передачи. Формализована модель износа, в которой выделены периоды приработки, нормальной эксплуатации, интенсивного износа и продления срока службы колесно-моторного блока моторвагонного подвижного состава за весь его жизненный цикл. Для каждого выделенного периода предложены соответствующие зависимости скорости и интенсивности износа. По данным зависимостям проведены расчеты и получены аналитические выражения износа зубьев шестерен силового редуктора тяговой передачи, которые позволяют прогнозировать его ресурс в эксплуатации.*

**Ключевые слова:** зависимость, износ, интенсивность, период, прогноз, ресурс, эксплуатация.

*In clause questions of definition of a resource of the wheel motor block traction transfer of a motor carload rolling stock are considered. Problems of forecasting of a technical condition of responsible units of traction transfer are certain. The model of deterioration in which the periods extra earnings are allocated, normal operation, intensive deterioration and prolongation of service life of the wheel motor block of a motor carload rolling stock is formalized for weigh his life cycle. For each allocated period meeting dependences of speed and intensity of deterioration are offered. According to dependences calculations are lead and analytical expressions of wear of points of cog-wheels of power reducing of traction transfer which allow to predict his resource in operation are received.*

**Keywords:** dependence, deterioration, intensity, period, forecast, resource, operation.

**Вступ.** Продовження термінів служби моторвагонного рухомого складу змушує

шукати нові підходи й методи до оцінки його технічного стану. Цього можна досягти тільки

застосуванням у технології обслуговування й ремонту сучасних наукових методів, які дають змогу виявляти й запобігати відмовам, підтримувати експлуатаційні показники в заданих межах. Тягові зубчасті передачі електропоїздів посідають сьогодні друге місце за кількістю несправностей, поступаючись тільки тяговим електродвигунам. Тому рівень їх надійності в основному залежить від зносостійкості складових його деталей, до яких зокрема належить тягова зубчаста передача.

**Постановка проблеми.** Технічний стан колісно-моторних блоків (КМБ) моторвагонного рухомого складу визначають за величиною зношення основних сполучень і деталей. Для КМБ одним з таких сполучень є шестеренна пара зубчастої передачі. Якщо прийняти зношення всіх сполучень КМБ за 100 %, то на знос зубчастого редуктора припадає 70...80 %. Тому в процесі експлуатації дуже важливо знати його залишковий ресурс.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зубчасті передачі посідають вагомe місце у механічних системах. Тому це викликає велику кількість досліджень, які пов'язані з покращенням їх роботи. Так, у роботі [13] запропонована нова методика визначення надійності зуба і зубчастого колеса в цілому за умовами втомної міцності за обмеженням статистичної інформації про параметри їх роботи. У цьому ж напрямку істотне значення мають дослідження Міхліна В.М. [4], на основі яких запропоновано шляхи усунення вагoмoгo недоліку щодо існуючих методів визначення відхилень параметрів при технічному обслуговуванні машин. У дослідженнях [6] запропонована залежність для визначення числа циклів навантаження (довговічності) без появи ознак утомного руйнування для випадків лінійного контакту поверхонь зубів. За результатами досліджень Решетова Д.М. [7] отримано теоретичні і комп'ютерні моделі контакту у зубчастих передачах, які дають змогу розраховувати основні характеристики контактної взаємодії. У подальшому ці напрямки були розвинуті у дослідженнях Рудзита Я.А., Суслова А.Г. та ін. [8, 11]. Прогнозуванням відмов зубчастих передач на основі використання методів непараметричної

статистики присвячена робота Сизранцевої К.В. [12]. Разом із тим необхідно відмітити, що сучасна інженерна трибологічна практика зустрічається із значними труднощами у визначенні швидкості, інтенсивності та прогнозування зносу відповідальних вузлів, до яких зокрема належать зубчасті передачі КМБ моторвагонного рухомого складу.

**Метою дослідження** є створення моделі щодо оцінки ресурсу КМБ моторвагонного рухомого складу.

**Матеріали та результати досліджень.** Застосування методів прогнозування в період експлуатації КМБ дає змогу вирішувати ряд важливих завдань [4]:

- обґрунтувати раціональні терміни профілактичних робіт, тому що визначається час майбутньої відмови КМБ;

- оптимізувати програму пошуку несправностей у зв'язку з визначенням деталей, у яких очікується відмова;

- обмежити кількість обслуговуючого персоналу шляхом автоматизації процесу контролю й визначення технічного стану на деякий певний період часу;

- визначити кількість запасних частин, обчислюючи число деталей, у яких очікується відмова на заданому інтервалі експлуатації.

Тому основним показником, що регламентує надійну роботу КМБ (крім тягового електродвигуна), є знос його елементів, тобто зубчастого редуктора.

В умовах експлуатації знос вузлів тертя КМБ моторвагонного рухомого складу розвивається як випадковий процес із відносно великою дисперсією (коефіцієнт варіації перебуває в межах 0,3÷0,8). Тому для опису такого процесу найбільш прийнятливою є імовірнісна математична модель на різних стадіях її життєвого циклу. При цьому визначалася зміна величини зносу  $\delta$ , швидкості  $V$  і прискорення  $W$  у функції часу роботи  $t$  у періоди припрацювання (I), нормальної експлуатації (II), інтенсивного зносу (III) і продовження терміну служби (IV). Геометрична інтерпретація запропонованої моделі наведена на рис. 1.

Формалізацію оцінки зносу у періоді I запропоновано здійснювати виходячи із залежності

$$\delta_{np} = k \left( \frac{\sigma_H}{HB} \right)^{\alpha_1} \left( \frac{\chi}{h_m} \right)^{\alpha_2} \left( \frac{RT}{Q} \right)^{\alpha_3} \left( \frac{v_{100}}{v_T} \right)^{\alpha_4}, \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що враховує фізико-хімічні властивості контактуючих поверхонь зубчастих коліс;

$\sigma_H$  – контактна напруга, що допускається;

$HV$  – площа поверхонь, що контактують між собою;

$\chi$  – наведений параметр шорсткості поверхонь, що контактують між собою;

$h_m$  – товщина мастильного шару;

$R$  – універсальна газова постійна;

$T$  – температура у контактних поверхнях;

$Q$  – теплота абсорбції мастильного матеріалу;

$\nu_{100}$ ,  $\nu_T$  – відповідно кінематична в'язкість мастила при 100 °C і робочій температурі.

Для формалізації періоду  $II$  запропоновано (якщо умови роботи досить стабільні й швидкість зносу можна вважати постійною) термін служби нормальної експлуатації визначати як

$$t_{max} = \frac{\delta_{max}}{\bar{V}}, \quad (2)$$

де  $\delta_{max}$  – величина зносу, що допускається;

$\bar{V}$  – середня швидкість зносу.

Цю залежність можна застосувати, якщо знос досягає значення  $\delta_{max}$  [6].

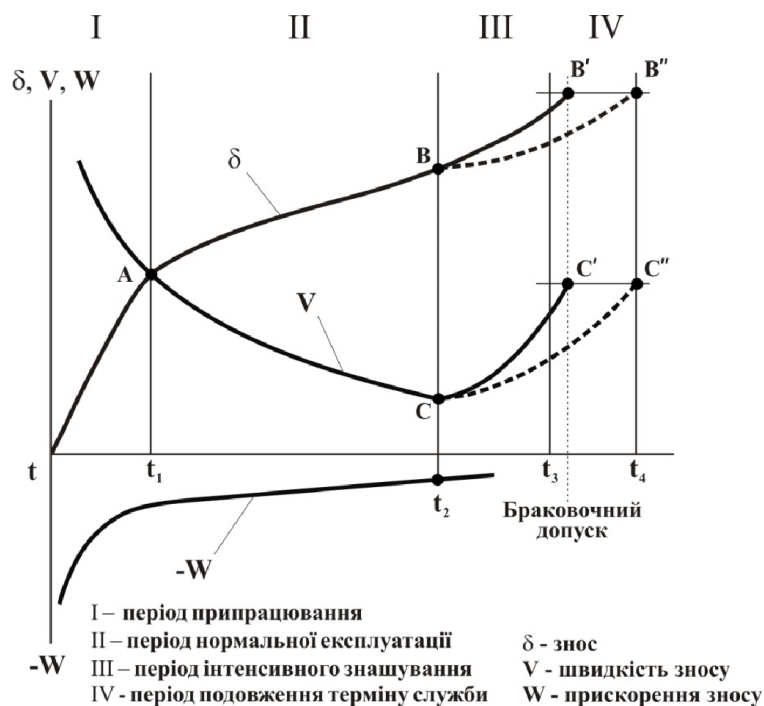


Рис. 1. Геометрична інтерпретація життєвого циклу КМБ моторвагонного рухомого складу

Якщо прийняти тривалість міжремонтного періоду  $t_p$ , то за цей час знос збільшиться на величину  $(\bar{V} \cdot t_p)$  і КМБ необхідно замінити, якщо його знос буде перебувати у межах

$$\delta_{max} > \delta > (\delta_{max} - \bar{V} \cdot t_p). \quad (3)$$

Значення припустимого зносу, починаючи з якого при поточних ремонтах КМБ необхідно ремонтувати, визначимо так

$$\delta_{np} = \delta_{max} - \bar{V} \cdot t_p. \quad (4)$$

Якщо даний поточний ремонт є  $N$ -м з моменту останнього ремонту, то термін служби  $t_b$  КМБ для періоду  $II$  нормальної експлуатації пропонується визначати як

$$t_{\delta} = \frac{\delta_{np}}{V} = \frac{\delta_{max}}{V} \cdot \frac{N}{N+1}. \quad (5)$$

На підставі обробки статистичного матеріалу отримані аналітичні залежності верхнього  $V_{IIe}$  і нижнього  $V_{III}$  інтервалів зносу для періоду  $II$

$$V_{IIe} = e^{0,0028t-1,96}, \quad (6)$$

$$V_{III} = 0,0357 - 1,65t. \quad (7)$$

Для періоду  $III$  інтенсивного зносу прийнята аналітична залежність

$$\bar{\delta} = (\bar{\delta}_1 + h) \cdot 10^{\frac{t-t_1}{A}} - h, \quad (8)$$

де  $A$  – коефіцієнт, який визначає форму кривої зносу (він вимірюється в одиницях напрацювання);

$h$  – коефіцієнт, який визначає положення кривої відносно початку координат.

Припустимо, що на знос шестерень КМБ значний вплив здійснюють фактори, пов'язані з витратою електроенергії та витратами на поточний ремонт. З урахуванням нижнього  $t_{нд}$  й верхнього  $t_{ед}$  значень розвитку зносу за

часом була запропонована прогнозна залежність

$$\delta_n = \left[ A \ln \left( \frac{t_{доо}}{h + t_{ед} + t_{нд} \tau} \right) \right] k_p, \quad (9)$$

де  $t_{доо}$  – прогнозоване збільшення терміну служби;

$k_p$  – коефіцієнт зносної рівномірності;

$\tau$  – поправковий коефіцієнт.

На підставі цього для  $IV$  періоду (у функції  $L$ ,  $10^3$  км) отримані аналітичні залежності верхнього  $\delta'$  й нижнього  $\delta''$  інтервалів зносу

$$\bar{\delta}' = 0,113 e^{\frac{L-274}{738,4}} - 0,038; \quad (10)$$

$$\bar{\delta} = 0,098 e^{\frac{L-274}{738,4}} - 0,038; \quad (11)$$

$$\bar{\delta}'' = 0,011 e^{\frac{L-274}{738,4}} - 0,038. \quad (12)$$

За цими рівняннями побудовані графічні залежності (рис. 2), які дають змогу прогнозувати знос тягового редуктора КМБ.

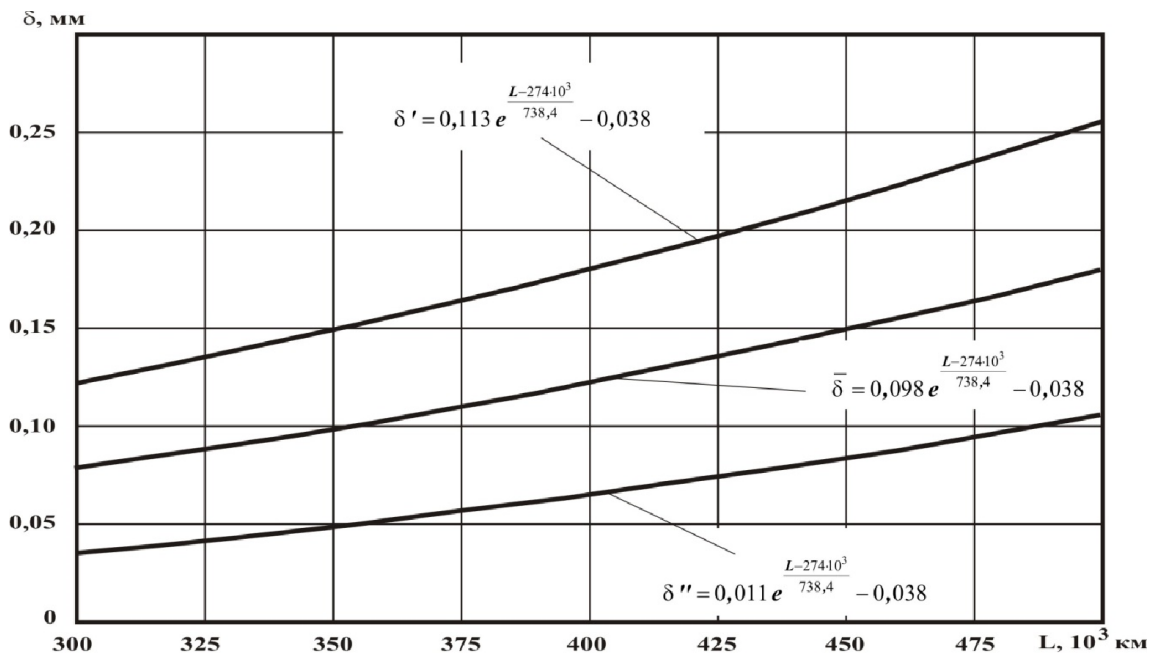


Рис. 2. Прогнозні залежності зношення зубів шестерень КМБ від пробігу

**Висновки.** Формалізована модель зносу КМБ, у якій виділені періоди припрацювання, нормальної експлуатації, інтенсивного зносу й продовження терміну служби. Для кожного періоду запропоновані відповідні аналітичні

залежності його зносу від величини терміну експлуатації.

Запропоновані залежності зносу зубів шестерень силового редуктора КМБ від пробігу, які дають змогу прогнозувати його ресурс в експлуатації.

### *Список використаних джерел*

1. Демкин, Н.Б. Развитие учения о контактном взаимодействии деталей машин [Текст] / Н.Б. Демкин // Вестник машиностроения. – 2008. – № 10. – С. 28-33.
2. Дюбуа, Д. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике [Текст] / Д. Дюбуа, А. Прад. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
3. Левина, З.М. Контактная жесткость машин [Текст] / З.М. Левина, Д.Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
4. Михлин, В.М. Метод определения допускаемых износов деталей, обеспечивающий повышение их безотказности [Текст] / В.М. Михлин // Вестник машиностроения. – 2008. – № 7. – С. 11-14.
5. Пинегин, С.В. Контактная прочность и сопротивление качению [Текст] / С.В. Пинегин. – М.: Машиностроение, 1969. – 243 с.
6. Подгаевский, О.Л. Несущая способность линейного локального контакта при циклическом нагружении зубьев плоскоцилиндрической передачи [Текст] / О.Л. Подгаевский // Вестник машиностроения. – 2007. – № 1. – С. 13-16.
7. Решетов, Д.Н. Расчет деталей станков [Текст] / Д.Н. Решетов. – М.: Машгиз, 1945. – 140 с.
8. Рудзит, Я.А. Микрогеометрия и контактное взаимодействие поверхностей [Текст] / Я.А. Рудзит. – Рига.: Зинатне, 1975. – 210 с.
9. Ряховский, А.М. К расчету износостойкости металлических материалов трущихся пар [Текст] / А.М. Ряховский // Вестник машиностроения. – 2008. – № 8. – С. 3-6.
10. Снесарев, Г.А. Расчет редукторов на надежность [Текст] / Г.А. Снесарев // Вестник машиностроения. – 1982. – № 7. – С. 45-48.
11. Суслов, А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей [Текст] / А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
12. Сызранцева, К.В. Прогнозирование отказов зубчатых передач методами непараметрической статистики [Текст] / К.В. Сызранцева // Вестник машиностроения. – 2009. – № 12. – С. 10-14.
13. Уткин, В.С. Определение надежности зубчатой передачи по условию усталостной прочности зуба при ограниченной статистической информации [Текст] / В.С. Уткин // Вестник машиностроения. – 2007. – № 4. – С. 12-15.

---

Бабанін Олександр Борисович, д-р техн. наук, професор, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. (093) 151-73-15.

Яровий Сергій, магістр ІППК, Український державний університет залізничного транспорту.

Бульба Вадим, аспірант, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. (093) 295-08-79.

Babanin Aleksandr, doct. of techn. sciences, professor, Ukrainian state university of a railway transportation. Tel.: (093) 151-73-15.

Yarovoy Sergiy, IPPK Ukrainian state university of a railway transportation.

Bulba Vadim, the graduate, Ukrainian state university of a railway transportation. Tel.: (093) 295-08-79.

Наукова праця здана до друку 02.09.2015 р.