

УДК 621.81

В.С. Тіщенко, В.І. Громов

Український державний університет залізничного транспорту, Україна

МЕТОДИЧНИЙ АСПЕКТ ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗНОСІВ ТЯГОВИХ ЗУБЧАТИХ ПЕРЕДАЧ МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Розглянуто методичний аспект визначення особливостей зносів тягових зубчатих передач електропоїздів. Для отримання характеристик формування зносів зубів шестерні та колеса тягової зубчатої передачі у часі запропонована поетапна схема, яка базується на використанні матричного метода обробки значних масивів експериментальних даних. Представлено результати досліджень у вигляді залежності величини зносів зубів тягової зубчатої передачі за певний термін експлуатації моторвагонного рухомого складу. Розглянуті перспективи використання отриманих результатів при прогнозуванні залишкового ресурсу і можливості використання запропонованої схеми при дослідженнях зубчатих передач інших транспортних засобів.

Ключові слова: зубчата передача, знос, матричний метод, поетапна схема.

Постановка проблеми

Однією з найважливіших галузей економіки України є транспортна мережа, в складі якої можна виділити залізничний транспорт, що задовольняє значну частку потреб в пасажирських та вантажних перевезеннях. В свою чергу, при виконанні пасажирських перевезень, особливо в приміському сполученні, вагому роль відведено експлуатації сучасного моторвагонного рухомого складу (МВРС). Поряд з цим, більшу частину існуючого парку електропоїздів складає рухомий склад зі значними термінами експлуатації, що пов'язано з низькими темпами оновлення. Це визначає актуальність питання підтримки працездатного та надійного робочого стану електропоїздів [1]. В свою чергу це потребує вирішення задачі прогнозування залишкового ресурсу основних систем та вузлів моторвагонного рухомого складу що експлуатується.

Значну частку парку електропоїздів, що експлуатуються на мережах залізниць України постійного струму (в тому числі регіональна філія Південна залізниця ПАТ Українська залізниця), складають МВРС серій EP2, EP2P та EP2T. В складі конструкції таких електропоїздів можна виділити ряд систем, серед яких однією з найвідповідальніших є механічна система тягового приводу. В кості одного з найбільш навантажених модулів конструкції тягового приводу [2] розглядається тягова зубчата передача (ТЗП), яка працює в умовах високих навантажень та відповідних зносів. Це обґрунтовує доцільність проведення досліджень, які спрямовані на визначення особливостей формування експлуатаційних зносів ТЗП. [3]

У відповідності до правил ремонту [4] знос зубів шестерні та колеса оцінюється в залежності від зміни їх товщини за ділильними хордами. Тобто зміна цього показника у часі характеризує особливості зносу тягової зубчатої передачі в експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз літературних джерел [5-7] показав, що основна увага приділяється аналізу аварійних пошкоджень зубів ТЗП тягового рухомого складу, пов'язаних зруйнуванням від втомленості під дією циклічних навантажень. В той же час питання, пов'язані з механічним зношуванням бокових поверхонь зубців в процесі експлуатації ТЗП існуючого МВРС не знайшли достатнього висвітлення. Це ускладнює вирішення актуальної задачі з прогнозування залишкового ресурсу [8, 9] ТЗП і тягового приводу в цілому.

Метою статті є висвітлення методичного аспекту дослідження формування сталих механічних зносів зубів тягової зубчатої передачі моторвагонного рухомого складу і запропонованої послідовності дій для його реалізації. Завдання дослідження полягає у розробці схеми до поетапної обробки та аналізу масивів статистичних даних [10] зносів ТЗП за певний період експлуатації електропоїздів (2014-2017 р.р.)

Виклад основного матеріалу

На першому етапі, використовуючи раніше складений масив зібраних експериментальних даних [11], що представляє собою зведену таблицю номерів (N) шестерень і зубчатих коліс, дат їх обмірів (t) та відповідних розмірів (S), було сформовано чотири

вихідні окремі масиви для шестерень і зубчатих коліс електропоїздів EP2 і EP2P з EP2T (в зв'язку з особливостями конструкції). Наприклад, в табл. 1 представлено фрагмент масиву результатів вимірювання шестерні електропоїздів серії EP2P та EP2T.

Таблиця 1
Фрагмент масиву результатів вимірювання

Дата вимірювання	Номер шестерні	Результат вимірювання шестерні	Рухомий склад
-	-	-	-
15.11.2017	61	17,6	EP-2T
16.11.2017	434	17,2	EP-2P
17.11.2017	018	17,3	EP-2T
-	-	-	-

Масив представляє собою велику кількість неупорядкованих даних (до 2000 вимірювань), що обумовлює складність досліджень спрямованих на описання характеру формування зносу за часом. Тому виникає необхідність у розробці відповідної схеми аналізу таких масивів.

На першому етапі з вихідного масиву були відокремлені чотири матриці які відповідають замірам шестерень та коліс окремо для електропоїздів EP2 та EP2P з EP2T. При проведенні подальших етапів досліджень ці масиви оброблялись окремо, але з використанням однакової запропонованої послідовності дій.

Такі масиви мають формалізований запис, що представлено нижче:

$$M_{ш} = \begin{pmatrix} N_{ш1}, S_{ш1}, t_{ш1} \\ N_{ш2}, S_{ш2}, t_{ш2} \\ N_{ш3}, S_{ш3}, t_{ш3} \\ \dots \\ N_{ши}, S_{ши}, t_{ши} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$M_{к} = \begin{pmatrix} N_{к1}, S_{к1}, t_{к1} \\ N_{к2}, S_{к2}, t_{к2} \\ N_{к3}, S_{к3}, t_{к3} \\ \dots \\ N_{ки}, S_{ки}, t_{ки} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

На наступному етапі впорядковується масив номерів шестерні та колісної пари (N) і вишукується позиція (номер строки n) кожного елемента у вихідній таблиці. Слід зазначити, що у вихідному масиві одна й та ж шестерня, або зубчате колесо повторюється декілька разів, а особливістю пошуку в розрахунковій програмі є те що вона виводить перше за порядком шукане значення, тому масиви що оброб-

ляються розбиваються на менші у відповідності до кількості повторів. В цьому випадку формалізований запис отриманих масивів набуде вигляду:

$$M_{ш} = \begin{pmatrix} N_{ш13}, n_{13}, S_{ш13}, t_{ш13} \\ N_{ш82}, n_{57}, S_{ш57}, t_{ш57} \\ N_{ш82}, n_{82}, S_{ш82}, t_{ш82} \\ \dots \\ N_{ш91}, n_{91}, S_{ш91}, t_{ш91} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$M_{к} = \begin{pmatrix} N_{к51}, n_{51}, S_{к51}, t_{к51} \\ N_{к82}, n_{82}, S_{к82}, t_{к82} \\ N_{к113}, n_{113}, S_{к113}, t_{к113} \\ \dots \\ N_{к214}, n_{214}, S_{к214}, t_{к214} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

На наступному етапі в оброблених масивах вишукується номери шестерень та коліс що повторюються, для них визначається різниця в часі між замірами (за одиницю часу була прийнята доба) та різниця між значеннями замірів. Наприклад:

$$M_{ш} = \begin{pmatrix} \dots \\ N_{ш13}, S_{ш13}, t_{ш13} \\ N_{ш13}, S_{ш13}, t_{ш57}, \Delta S, \Delta t \\ \dots \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$M_{к} = \begin{pmatrix} \dots \\ N_{к82}, S_{к82}, t_{к82} \\ N_{к82}, S_{к82}, t_{к113}, \Delta S, \Delta t \\ \dots \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Формується чотири масиви впорядкованих за датою обміру, які дають уявлення про зміну величини ділильної хорди зуба, що формується в залежності від часу.

$$M_{ш} = \begin{pmatrix} \Delta t_{ш1}, \Delta S_{ш1} \\ \Delta t_{ш2}, \Delta S_{ш2} \\ \Delta t_{ш3}, \Delta S_{ш3} \\ \dots \\ \Delta t_{ши}, \Delta S_{ши} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

$$M_{к} = \begin{pmatrix} \Delta t_{к1}, \Delta S_{к1} \\ \Delta t_{к2}, \Delta S_{к2} \\ \Delta t_{к3}, \Delta S_{к3} \\ \dots \\ \Delta t_{ки}, \Delta S_{ки} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

В якості прикладу в табл. 2 наведено фрагменти масивів (7) та (8) для електропоїздів серії EP2.

Таблиця 2
Фрагменти масивів зносів в залежності від часу

Шестерня		Зубчате колесо	
Пробіг Δt_{III}	Знос ΔS_{III}	Пробіг Δt_K	Знос ΔS_K
...
234	1,6	210	0,1
235	0,8	251	0,2
236	1,3	306	0,7
...

Отримані матриці дозволяють побудувати характеристики зносу тягової зубчатої передачі електропоїздів EP2, EP2P та EP2T. В якості прикладу на рис. 1 наведені криві формування зносу ТЗП електропоїзда EP2.

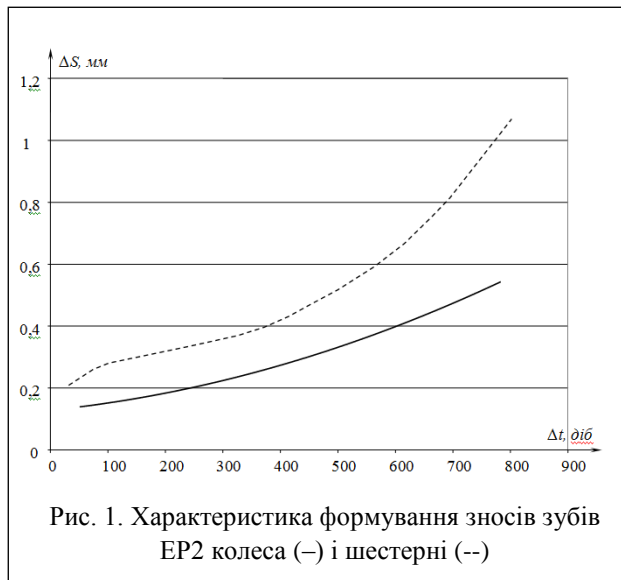


Рис. 1. Характеристика формування зносів зубів EP2 колеса (—) і шестерні (---)

Особливостями отриманих результатів є наступне:

1 слід відмітити, що показані на рисунку лінії усереднюють майже 250 значень зносів, визначених для певних пробігів при вихідному масиві біля 2000 вимірювань;

2 при цьому за своєю інтенсивністю знос зубів шестерні значно перевищує знос зубів колеса;

3 за своїм характером вони побудовані для ділянки кривої Лоренца що відповідає сталому зносу (тобто початок координат не охоплює період припцювання);

Представлені на рисунку закономірності формування зносів зубів тягової зубчатої передачі дозволяють оцінити зміни зносів при певних термінах експлуатації. Наприклад знос шестерні електропоїзда з пробігом що відповідає PR2 буде майже 0,4 мм, а пробігом до PR3 майже 1,1 мм.

Висновки

В статті розглянуто методичний аспект визначення особливостей зносів тягових зубчатих передач моторвагонного рухомого складу. Для отримання характеристик формування зносів зубів шестерні та колеса ТЗП у часі запропонована поетапна схема, яка базується на використанні матричного метода обробки значних масивів експериментальних даних і містить елементи наукової новизни. Результати дослідження доцільно використовувати при визначенні залишкового ресурсу ТЗП електропоїздів що експлуатуються. Також слід зауважити, що запропонована схема може бути використана для дослідження зносів зубчатих передач і інших транспортних засобів.

Література

1. Державна програма оновлення рухомого складу на 2017-2021 роки. [Текст] Затверджена на засіданні ПАТ Укрзалізниці від 29 листопада 2016 р.
2. Мороз, В.І. Новий підхід до класифікації тягових приводів рухомого складу залізниць [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, С.В. Бобрицький // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – Донецьк: ДонІЗТ, 2012 – Вип. 29. – С. 162-166.
3. Бабанін, О.Б. Прогнозування збільшення ресурсу тягових зубчатих передач електропоїздів за рахунок удосконалення технології ремонту [Текст] / О.Б. Бабанін, В.І. Громов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 147. – С. 104 – 109.
4. Правила технічного обслуговування та поточного ремонту електропоїздів і електросекцій [Текст]: ЦТ-0046. Київ, 2005. - 320 с.
5. Вельгодская, Т.В. Повышение работоспособности тягового редуктора тепловоза. [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.07 / Т.В. Вельгодская. - Омский государственный университет путей сообщения. – Омск, 2007. – 163 с.
6. Эстлинг, А.А. Повышение работоспособности тяговых зубчатых передач тепловозов. [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.07 / А.А. Эстлинг. - Петербургский государственный университет путей сообщения. – Санкт - Петербург, 1995. – 233 с.
7. Степанов, В.А. Разработка и исследование методов и средств комплексной диагностики смазываемых узлов трения газотурбинных двигателей по параметрам продуктов износа в масле [Текст]: дис. ... док. тех. наук: 05.04.12 / В.А. Степанов. - Центральный институт авиационного машиностроения. – Москва, 2000. – 363 с.
8. Михайлов, Г.И. Об оптимизации и дальнейшей систематизации технических требований в ГОСТ 30803 «Колеса зубчатые тяговых передач тягового подвижного состава». [Текст] / Г.И. Михайлов // ИПЕМ: Техника железных дорог. Москва. 2017. - № 2 (38). - С. 19-25.
9. Ткачев, А.А. Прогнозное проектирование эвольвентных цилиндрических передач. [Текст] / А.А. Ткачев // Интеллектуальные системы в производстве. – Москва, 2011. - №2(18). - С. 173–178.
10. Мороз, В.І. Узагальнена матриця циліндрових навантажень в перерізах колінчатих валів V-подібних

тепловозних дизелів [Текст] / В.І. Мороз, О.В.Братченко, В.С.Тищенко // *Materiály V mezinárodní vědecko-praktická konference "DNY VĚDY 2009" 27 března – 05 dubna 2009 roku. Díl 17. Technické vědy. Matematika. - Praha, 2009. – S. 45 – 48*

11. Тищенко, В.С. Розрахунково-експериментальне визначення ймовірностей появи різних за величиною зносів тягових зубчатих передач електропоїздів [Текст] / В.С. Тищенко, В.І. Громов, М.М. Одегов // *Зб. наук. праць. – Харків: УкрДУЗТ, 2018. – Вип. 176. – С. 23 – 30*

References

1. State program for the renewal of rolling stock for 2017-2021 (n.d.). Approved at the meeting of PJSC Ukrzaliznytsia of November 29, 2016.
2. Moroz, VI, Bratchenko, AV, Bobritsky, SV (2012) A new approach to the classification of traction drives of the rolling stock of railways. *Collection of scientific works of the Donetsk Institute of Railway Transport*, 29, 162-166.
3. Babanin, OB, Gromov, V.I. (2014) Forecasting the increase in the life of traction gears of electric trains due to the improvement of repair technology. *Sb. sciences. Works*, 147, 104 - 109.
4. *Rules of maintenance and current repair of electric trains and electric sections: ЦТ-0046* (2005), 320.
5. Velgodskaia, TV (2007) Increase of working capacity of the traction reducer of the locomotive.: dis. ... cand. those. Sciences: 05.22.07. *Omsk State Transport University*, 163.
6. Estling, AA (1995) Increase of efficiency of traction gears of diesel locomotives.: dis. ... cand. those. Sciences: 05.22.07. *Petersburg State Transport University*, 233.
7. Stepanov, V.A. (2000) Development and research of methods and means of complex diagnostics of lubricated friction units of gas turbine engines according to the parameters of wear products in oil: dis. ... doc. those.

Sciences: 05.04.12. *Central Institute of Aviation Engineering*, 363.

8. Mikhailov, GI (2017) On optimization and further systematization of technical requirements in GOST 30803 "Wheels of traction gears of traction rolling stock". *IEM: Technique of railways*, 2 (38), 19-25.
9. Tkachev, AA (2011) Forecasting the involute cylindrical gears. *Intellectual systems in production*, 2 (18), 173-178.
10. Moroz, V., Bratchenko, O.V., Tishchenko, V.S. (2009) Generalized matrix of cylinder loads in the cross sections of crankshafts of V-shaped diesel locomotives. *Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference "THE DAYS OF SCIENCE 2009" March 27 - 05, 2009 of the year. Volume 17. Engineering. Mathematics*, 45 - 48
11. Tishchenko, VS, Gromov, V.I., Odegov, MM (2018) Calculation-experimental determination of the probabilities of the appearance of different size of wear of traction gear gears of electric trains. *Prob. sciences works*, 176, 23 – 30.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.А. Тимофеева, Український державний університет залізничного транспорту, Україна.

Автор: ТИЩЕНКО Вадим Сергійович
кандидат технічних наук, доцент
Український державний університет залізничного транспорту
E-mail – mpmkafedra@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2401-1746>

Автор: ГРОМОВ Володимир Ігорович
аспірант
Український державний університет залізничного транспорту
E-mail – mpmkafedra@gmail.com

METHODICAL ASPECT OF DEFINITION OF FEATURES OF DETERIORATION OF THE DRIVE GEAR TRANSMISSIONS OF A MOTOR WAGON ROLLING STOCK

V.S. Tishchenko, V.I. Gromov

Ukrainian State University of Railway Transport, Ukraine

The necessity of maintaining the existing fleet of rolling stock in a workable and reliable condition is substantiated. The traction gear assembly is designed as operating under heavy loads and wear. The necessity of obtaining a characteristic of wear formation of traction gear in time with the purpose of determining residual wear is indicated. The original array is analyzed, which is a set of data, including the date of measurement, the number of gears or wheels and the corresponding size. The methodical aspect of determining the wear characteristics of traction gears of electric trains is considered. To obtain the characteristics of the wear formation of the gear teeth and the traction gear wheel in time, a step-by-step scheme is proposed, based on the use of a matrix method for processing large arrays of experimental data. Formalized records of the initial, intermediate and final matrices are presented. Steps are a step-by-step transposition of the original matrices, revealing the magnitude of the decrease in the pitch division of the gear teeth and the gear wheel. The final data array is obtained in the form of a series of values of the ranges of the rolling stock and the corresponding wear value of the division chord. An example of a fragment of the resulting array is given. The results of research in the form of the dependence of the wear value of the teeth of a traction gear transmission for a certain period of operation of a rolling stock rolling stock are presented. The features of the received characteristics among which the difference in the number of elements of the initial and received arrays, the wear rate, as well as the correspondence of the curves to the area of steady wear, are revealed. Prospects of using the results obtained in forecasting the residual resource and the possibility of using the proposed scheme for studying gears of other vehicles are considered.

Keywords: gearing, wear, matrix method, step-by-step scheme.