УДК 621.81 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.147.2014.74887

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗБІЛЬШЕННЯ РЕСУРСУ ТЯГОВИХ ЗУБЧАТИХ ПЕРЕДАЧ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ

Д-р техн. наук О.Б. Бабанін, В.І. Громов

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСА ТЯГОВЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ЗА СЧЕТ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА

Д-р техн. наук А.Б. Бабанин, В.И. Громов

FORECASTING OF THE INCREASE THE RESOURCE TRACTIVE TRANSMISSIONS ELECTRIC TRAIN TO ACCOUNT OF THE IMPROVEMENT TO TECHNOLOGIES OF THE REPAIR

Doct. of techn. sciences O. Babanin, V. Gromov

Обґрунтовано актуальність науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, спрямованих на подовження встановлених термінів експлуатації електропоїздів. Виділено важливість розробок щодо забезпечення експлуатаційної надійності та довговічності тягових зубчатих передач за рахунок удосконалення технології їх ремонту. Наведено математичні залежності для визначення лінійних зносів зубців шестерень та коліс для режимів припрацювання, нормальної експлуатації та аварійного зношення. Представлено результати досліджень з оцінювання ресурсу тягових передач при їх комплектації ремонтними шестірнями та колесами з різним ступенем зносу.

Ключові слова: *електропоїзд, тягова зубчата передача, знос, ресурс, удосконалена технологія ремонту.*

Обоснована актуальность научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на продление установленных сроков эксплуатации электропоездов. Выделена важность разработок по обеспечению эксплуатационной надежности и долговечности тяговых зубчатых передач за счет усовершенствования технологии их ремонта. Приведены математические зависимости для определения линейного износа зубьев шестерен и колес для режимов приработки, нормальной эксплуатации и аварийного изнашивания. Представлены результаты исследований по оценке ресурса тяговых передач при их комплектации ремонтными шестернями и колесами с различными степенями износа.

Ключевые слова: *электропоезд, тяговая зубчатая передача, износ, ресурс, усовершенствованная технология ремонта.*

Motivated urgency research and research and development work, directed on extension of the installed periods to usages electric train. Chosenned importance of the developments on ensuring the serviceability and longevity tractive transmissions to account of the improvement to technologies of their repair. The mathematical dependencies are brought for determination of the linear wear-out teeth travell about for mode of the wear-in, normal usage and emergency wear-out. The Presented results of the studies on estimation of the resource of the tractive transmissions under their completing repair anything numbered six and wheel with different degree of the wear-out.

Keywords: *electric train, tractive transmission, wear-out, resource, advanced technology of the repair.*

Вступ. У здійсненні на мережах залізниць України пасажироперевезень у приміському сполученні моторвагонний рухомий склад (МВРС) посідає провідне місце. Намітилась стійка тенденція до використання МВРС інвентарного парку Укрзалізниці в місцевих і прямих перевезеннях [1,2].

Постановка проблеми у загальному вигляді і її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Основу інвентарного парку електричного МВРС Укрзалізниці складають електропоїзди (ЕП) серій ЭР2 (2Р,Т), ЭР9Т (М,П), ЭПЛ2Т, ЭПЛ9Т, які в більшості функціонують у наднормативний термін. З урахуванням повільного впровадження нових серій ЕП актуальності набувають науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, спрямовані на обґрунтоване подовження встановлених заводами-виробниками строків експлуатації МВРС. Серед комплексу таких робіт слід виділити розробки, спрямовані на забезпечення експлуатаційної надійності та довговічності основних конструктивних модулів секцій ЕП, до яких належать екіпажна частина, тяговий привід і, зокрема, тягова зубчата передача (ТЗП) [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основним показником, що регламентує надійність і ресурс ТЗП, є зношування зубців шестірні і колеса. Це складний процес, що залежить від великої кількості факторів. Зі збільшенням тривалості роботи ТЗП відбувається поступова зміна умов зношування. Змінюються умови змащення, динамічний режим навантаження, характер взаємодії зубців та ін. [4].

До останнього часу отримали розвиток роботи, спрямовані на подовження терміну експлуатації ТЗП за рахунок застосування РВС-технології – процесу утворення модифікованого шару на поверхнях пар тертя за рахунок додавання ремонтно-відбудовних сполучень (РВС) у мастило, яке вже має у своєму складі продукти тертя [5,6]. Разом з тим результати проведених в Українській державній академії залізничного транспорту досліджень показали, що перспективним напрямком збільшення ресурсу ТЗП може бути використання удосконаленої технології ремонту, при якій забезпечується обґрунтований селекційний підбір пар «шестірня-колесо» з відповідними ступенями зносу зубців за хордами ділильних кіл δ_1 і δ_2 [3,7,8].

Визначення мети і задачі дослідження. В статті подані результати дослідження, спрямованого на прогнозування збільшення ресурсу тягових зубчатих передач електропоїздів за рахунок реалізації цього напрямку.

Основна частина дослідження. Залежність зростання лінійного зносу δ контактуючих поверхонь від часу тривалості роботи t для найбільш загального випадку звичайно виражають типовою кривою (рис. 1), запропонованою В.Ф. Лоренцом [6, 9]. Така крива має три ділянки, що відповідають трьом періодам зношувального процесу: *I* – припрацювання (тривалістю за часом t_1), *II* – сталого зношування (тривалістю t_2), *III* – інтенсивного аварійного зношування (тривалістю t_2).

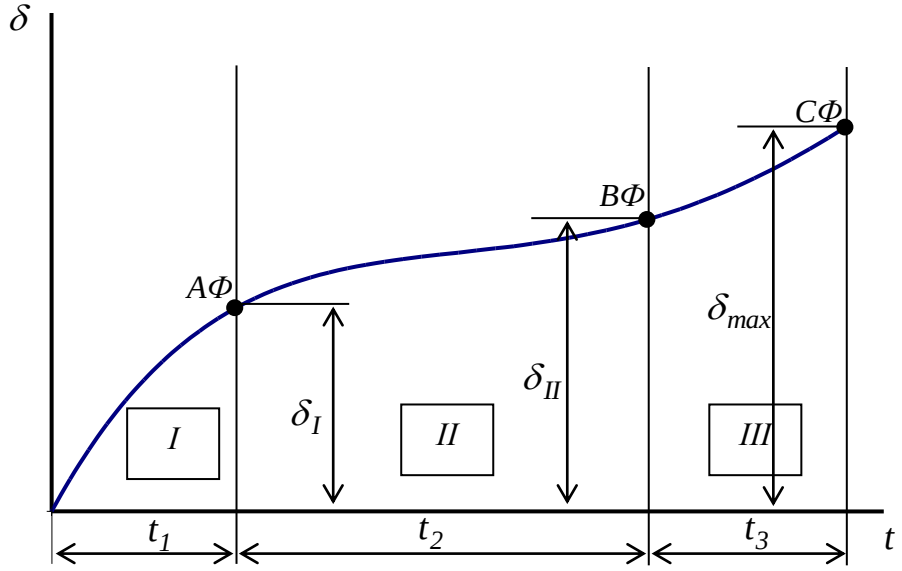

Рис. 1. Типова крива зміни лінійного зносу контактуючих поверхонь за часом (крива Лоренца)

Вважалось, що швидкість зношування $v = d\delta / dt$ протягом усього періоду *II* змінюється несуттєво, а аварійне зношування починається після досягнення деякої критичної точки (т. *B* на рис. 1). Такий характер залежності величини зношування від часу виявився справедливим для великої кількості різних вузлів тертя, що і послужило підставою для широкого визнання «кривої Лоренца».

Проте пізніше було виявлено, що у деяких випадках (наприклад, при урахуванні додаткового впливу старіння металів на процеси тертя) протікання процесу зношування відрізняється від типової кривої. Зокрема, в роботах [5,6] показано інші можливі варіанти зміни за часом лінійного зносу і швидкості зношування.

Особливості зміни швидкості зношування в період після закінчення припрацювання (т. *A* на рис. 1) пояснюється рядом причин. Ці причини можуть бути невипадковими – закономірна зміна площі контакту деталей у процесі зношування, фізичних властивостей матеріалу деталей по глибині, динамічних навантажень і умов змащення при збільшенні зазору. До випадкових причин слід віднести нестаціонарний режим роботи машини, коливання властивостей матеріалів деталей і мастила, температури, вологості і запиленості середовища, кваліфікацію обслуговуючого персоналу та багато інших випадкових факторів.

Протікання процесу зношування в часі можна описувати тим або іншим математичним рівнянням. Для того щоб знайти точне рівняння цього процесу, довелося б розглядати ідеалізовану фізичну модель зношування, у якій всі фактори, що впливають на швидкість протікання процесу, є визначеними. Але практичне здійснення такої моделі навіть для найпростіших пар тертя найчастіше неможливе. Однак на основі аналізу результатів експлуатації вузлів можна підібрати наближене рівняння, яке достатньо узгоджується з фактичними даними випробувань зношування лабораторних зразків або деталей у реальних умовах. Тому в процесі дослідження використовувалась запропонована в роботах [5,6] спрощена математична модель, яка передбачає визначення характерних точок кривої зміни лінійного зносу за часом з використанням наведених нижче рівнянь.

Величина зносу в кінці періоду припрацювання (період *I* на рис. 1)

$$\delta_1 = k\left\{\frac{[\sigma_H]}{HB}\right\}^{\alpha_1}\left\{\frac{\chi}{h_m}\right\}^{\alpha_2}\left\{\frac{RT}{Q}\right\}^{\alpha_3}\left\{\frac{\nu_{100}}{\nu_T}\right\}^{\alpha_4}, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт, що враховує фізико-хімічні властивості контактуючих поверхонь зубчастих коліс; $\alpha_1..\alpha_4$ - коефіцієнти, що визначаються експериментально; $[\sigma_H]$ - допустимі контактні напруження; HB - твердість контактуючих поверхонь; χ - наведений параметр шорсткості контактуючих поверхонь; h_m - товщина масляного шару; R - універсальна газова постійна; T - температура в контактуючих поверхнях; Q - теплота абсорбції мастильного матеріалу; ν_{100}, ν_T - відповідно кінематична в'язкість масла при *100 ℃* і робочій температурі.

Для оцінювання величини часу нормальної експлуатації (період *II* на рис. 1) при стабільних умовах роботи ТЗП використовувалась формула

$$t_2 = \frac{\delta_{II}}{\nu_m}, \quad (2)$$

де δ_{II} - допустима величина лінійного зносу; ν_m - середня швидкість зношування.

Для періоду інтенсивного зношування *III* - аналітична залежність

$$v = \frac{d(k \cdot p \cdot v_{ск})}{dt}, \quad (3)$$

де *p* – питомий тиск на лінії контакту зубців; $v_{ск}$ – швидкість сковзання, *k* – коефіцієнт зносу [10].

Для оцінювання можливості збільшення ресурсу ТЗП на основі удосконаленої технології ремонту використовувались наведені в роботах [3,7,8] узагальнені результати розрахунково-експериментальних досліджень. А саме рекомендації що до підбору ремонтних пар «шестірня-колесо» з різними ступенями зносу за умов отримання потрібних характеристик зачеплення, показників міцності та надійності.

На рис. 2 подано допоміжний графік, який показує сумісний вплив зносів зубців шестірні δ_1 і колеса δ_2 на величину контактних напружень у ТЗП електропоїздів серії ЕР-2 [8]. Наприклад, різниця між варіантами ТЗП *I* і *II* за величиною контактних напружень складає більш ніж 10 %. Крім того, для варіанта *II* додатково поліпшуються показники сковзання активних профілів зубців та характеристики зачеплення.

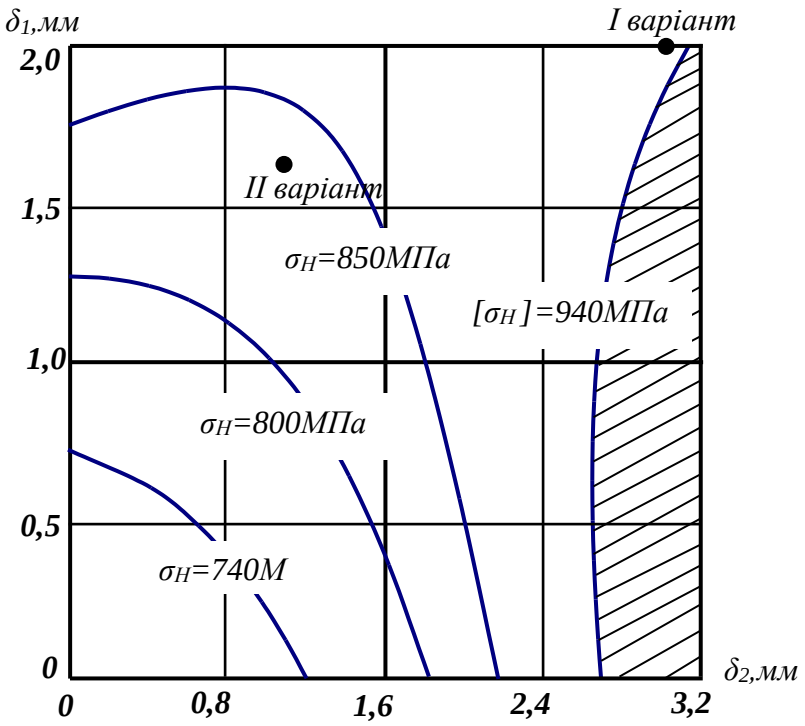

Рис. 2. Допоміжний графік залежності контактних напружень в ТЗП електропоїздів серії ЕР-2 від зносів зубців шестірні і колеса

У процесі дослідження визначалась зміна характеристик зносу та ресурсу різних варіантів ТЗП після ремонту (рис. 3). При цьому збільшення ресурсу еквівалентувалось за відрізком $C - C'$. Встановлено, що за рахунок реалізації запропонованого підходу може бути досягнуто збільшення ресурсу ТЗП на 15…20 %.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Наведені в статті матеріали свідчать, що одним з перспективних напрямків збільшення ресурсу тягових передач МВРС залізниць є впровадження удосконалених технологій їх ремонту, які передбачають комплексне оцінювання ступенів зносу поверхонь зубців та оптимальний підбір варіантів «шестірня-колесо» для подальшої експлуатації. Практична реалізація цього напрямку надасть змогу збільшити ресурс ТЗП до 20 %.

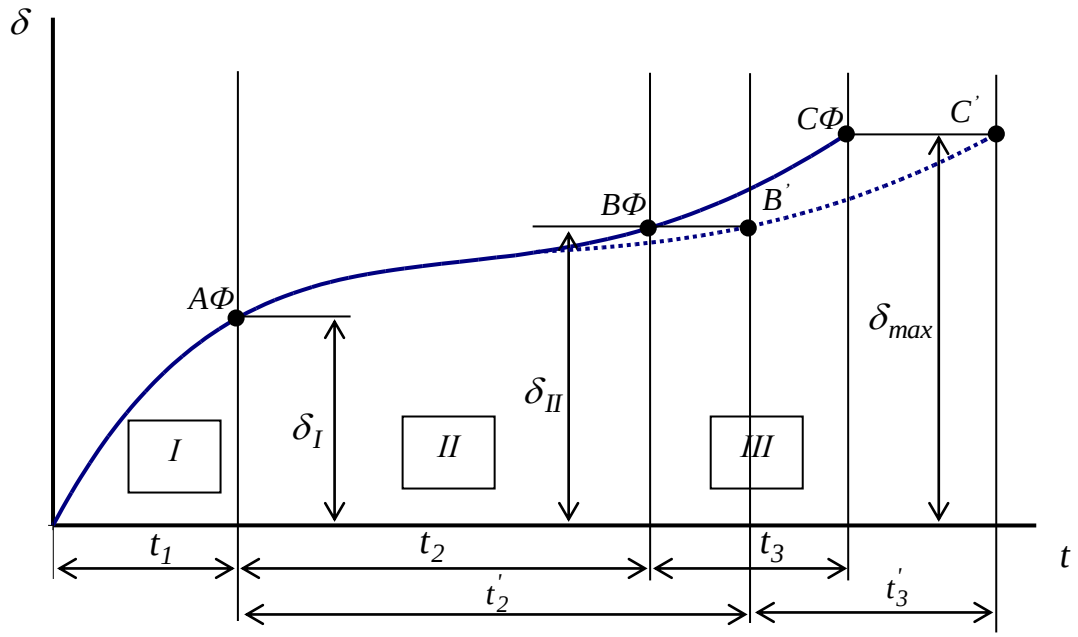

Рис. 3. До аналізу збільшення ресурсу ТЗП за рахунок удосконаленої технології ремонту:

——— *I* варіант ТЗП;
····· *II* варіант ТЗП

Список використаних джерел

1. Тартаковський, Е.Д. Пріоритетні напрямки досліджень у галузі тягового рухомого складу [Текст]/ Е.Д. Тартаковський // Зб. наук. праць. – Харків:УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 64. – С. 5-12.

2. Басов, Г.Г. Розвиток електричного моторвагонного рухомого складу [Текст]: монография / Г.Г. Басов, С.І. Яцько. – Харків: Аспект+, 2005. – 248 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. Бирюков, И.В. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог [Текст] / И.В. Бирюков, А.И. Беляев, Е.К. Рыбников. – М.: Транспорт, 1986. – 256 с.

5. Далека, В.Х. Прогнозування ресурсу тягових приводів електропоїздів [Текст]/ В.Х. Далека, Д.Ю. Зубенко // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків – 2004. – № 42. – С.43-51.

6. Зубенко, Д.Ю. Прогнозування ресурсу тягових передач електропоїздів метрополітену [Текст] / Д.Ю. Зубенко // Зб. наук. праць. – Харків.: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 64. – С. 117-123.

7. Мороз, В.І. Нова методика визначення експлуатаційних зносів 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.

8. Братченко, О.В. Узагальнені математичні моделі для удосконаленої технології ремонту тягових зубчатих передач рухомого складу [Текст] / О.В. Братченко, В.І. Громов// Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 139 – С. 169-174.

9. Селиванов, А.И. Основы теории старения машин [Текст] / А.И. Селиванов. – М.: Машиностроение, 1971. – 408 с.

10. Теория механизмов и машин: учебник для втузов [Текст] / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др. – М.: Высшая школа, 1987. – 496 с.

Бабанін Олександр Борисович, д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-53.

Громов Володимир Ігорович, студент Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-53.

Babanin Oleksandr Borisovich, doct. of techn. sciences, professor department of expluataciji ta remontu ruhomogo skladu, Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-53.
Gromov Volodimir Igorovich, student of Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-53.