

**Чернець М.В.,\*\* \*\*****Чернець Ю.М.\***

\* Дрогобицький державний педагогічний університет ім. Івана Франка, м. Дрогобич, Україна

\*\* Люблінський політехнічний інститут, м. Люблін, Польща

E-mail: chernets@drohobych.net

**ОЦІНКА КОНТАКТНОЇ МІЦНОСТІ,  
ЗНОШУВАННЯ І ДОВГОВІЧНОСТІ  
ЦИЛІНДРИЧНОЇ ПРЯМОЗУБОЇ ТЯГОВОЇ  
ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОВОЗА ЗА ВИСОТНОГО  
КОРИГУВАННЯ ЗАЧЕПЛЕННЯ**

УДК 539.3: 539.538: 539.621

Для тягової прямозубої циліндричної передачі електровоза проведено розрахунок максимальних контактних тисків, зношування зубів і довговічності при висотному коригуванні зачеплення. Встановлено закономірності зміни трибоконтактних тисків у зачепленні після досягнення допустимого зношування у залежності від величин коефіцієнтів зміщення у фазах дво – одно – двопарного зачеплення. Спостерігається суттєво більша величина максимальних контактних тисків на вході в однопарне зачеплення, ніж на вході у двопарне зачеплення. Залежно від величини коефіцієнтів зміщення максимальне (допустиме) зношування зубів колеса досягається у різних характерних точках контакту: на вході у однопарне зачеплення зубів у некоригованій передачі та на виході з нього за наявності коригування. Довговічність передачі має оптимум при коефіцієнтах зміщення  $x_1 = -x_2 = 0,1$  і в цьому випадку вона є вищою в 1,245 рази, ніж у некоригованій передачі.

**Ключові слова:** циліндрична евольвентна прямозуба передача, висотне коригування зачеплення, контактний тиск, зношування зубів, довговічність передачі.

У електровозах застосовують тягову циліндричну передачу з прямими зубами. Відповідно тут виникатиме мішане (дво - одно - двопарне) зачеплення зубів з коефіцієнтом перекриття  $\varepsilon_\alpha > 1,3$ . У цій силевій передачі використовується висотне коригування зубів з метою забезпечення її підвищеної навантажувальної здатності та згинальної міцності зубів при незмінній міжосьовій відстані. Оскільки у процесі роботи передачі виникатиме дво – одно – двопарне зачеплення зубів, то у статті з використанням методу [1 - 4] наведено результати досліджень впливу парності як на максимальні контактні напруження (тиски), так і на зношування та довговічність зубчастих передач. Слід зазначити, що у літературі наявні окремі дослідження впливу висотного коригування зачеплення на контактні напруження [5 - 7], однак відсутні дослідження його впливу на зношування та довговічність зубчастих передач.

Розв'язок трибоконтактної задачі проведено при таких даних:

$$z_1 = 24 \text{ – кількість зубів шестерні;}$$

$$b_w = 230 \text{ мм – ширина шестерні;}$$

$$P = 670 \text{ кВт – номінальна потужність передачі;}$$

$$K_g = 1,6 \text{ – коефіцієнт динамічності роботи;}$$

$$m = 16 \text{ мм – модуль зачеплення;}$$

$$u = 4 \text{ – передавальне відношення передачі;}$$

$$n_1 = 400 \text{ об/хв – кількість обертів шестерні;}$$

$$h_{1*} = 1,4 \text{ мм – допустиме зношування зубів шестерні;}$$

$$h_{2*} = 2,0 \text{ мм – допустиме зношування зубів колеса;}$$

$$f = 0,05 \text{ – коефіцієнт тертя ковзання при граничному терті;}$$

мащення – олива для передач локомотивів ОС – Л (літня) з кінематичною в'язкістю  $\nu_{+100^\circ} = 7 \dots 12 \text{ сСт;}$

коефіцієнти зміщення –  $x_1 = -x_2 = 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4;$

$$a_w = 960 \text{ мм – міжосьова відстань.}$$

Матеріали коліс:

- шестерня – сталь 20ХНЗА цементация або нітроцементация на глибину 1,6 ... 2,4 мм,  $58 \pm 3 \text{ HRC;}$

$$C_1 = 5,5 \cdot 10^6, m_1 = 1,9 \text{ – характеристики зносостійкості;}$$

- колесо – сталь 55Ф об'ємне гартування з високим відпуском, 280–321 НВ;  $C_2 = 0,4 \cdot 10^6, m_2 = 2,2;$

-  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  - модуль Юнга,  $\nu = 0,3$  – коефіцієнт Пуассона.

Результати розв'язку подано на рис. 1 - 4. Зокрема на рис. 1 подано зміну початкових максимальних контактних тисків  $p_{j \max}$  у залежності від кута  $\Delta\phi$  повороту шестерні при обертанні коліс в точках  $j = 0, 1, 2, \dots$ , що відповідають кутам  $\Delta\phi = 0, 4^\circ, 8^\circ$  і т.д.

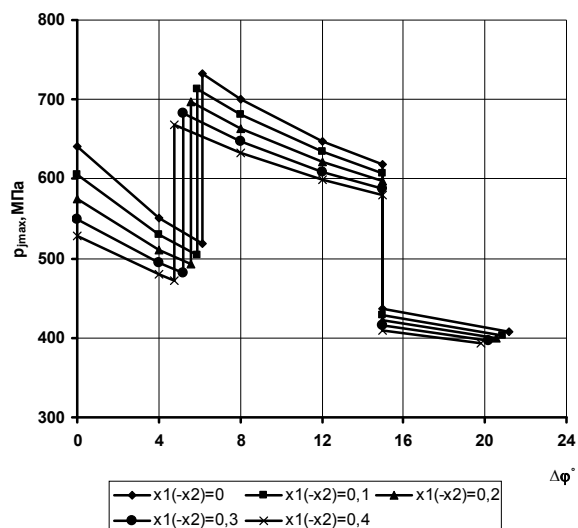


Рис. 1 – Максимальні контактні тиски у зачепленні

Максимальні тиски  $p_{j\max}$  є у 1,41 рази меншими у першій фазі двопарного зачеплення, ніж у фазі однопарного зачеплення при усіх величинах коефіцієнтів зміщення  $x_1 = -x_2$ . Коригування зубів забезпечує їх зниження у порівнянні з некоригованим зачепленням у першій фазі двопарного та однопарного зачеплення. У другій фазі двопарного зачеплення їх зміна є менш значимою.

Зуби колеса швидше досягають допустимого зношування  $h_{2*}$ , ніж зуби шестерні  $h_{1*}$ . Перебіг зношування  $h_{2j}$  зубів колеса у залежності від повороту коліс показано на рис. 2.

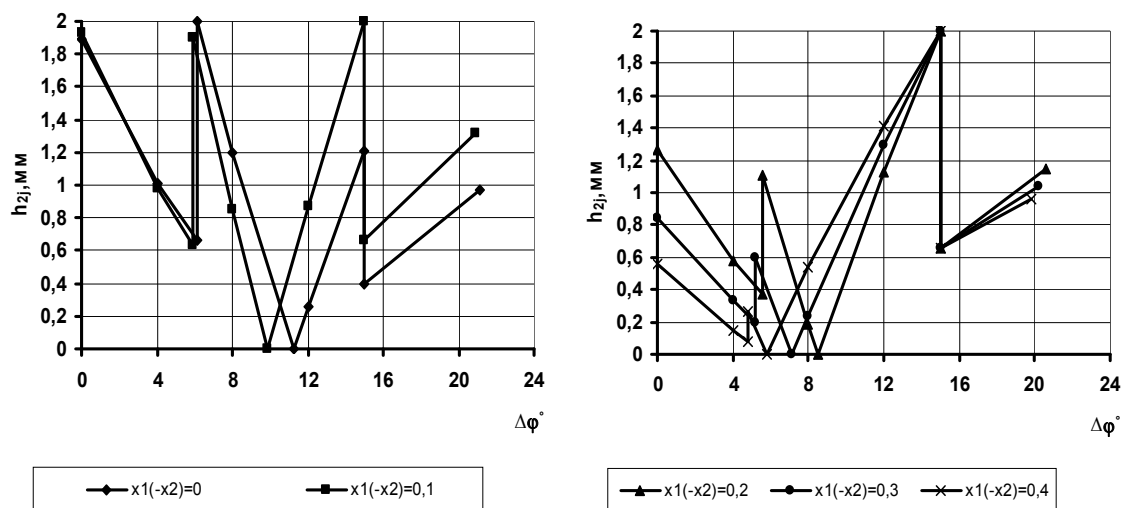


Рис. 2 – Вплив коригування зачеплення на зношування зубів колеса

Характер зношування зубів залежить від величини коефіцієнтів коригування. При  $x_1 = -x_2 = 0$  допустиме зношування зубів колеса і максимальне зношування зубів шестерні буде на вході у однопарне зачеплення, а в подальшому при збільшенні коефіцієнтів коригування воно буде на їх виході із нього. У некоригованій передачі зуби мають практично рівнорозмірне зношування на вході у двопарне і однопарне зачеплення. При коригуванні з коефіцієнтами  $x_1 = -x_2 = 0,1$  рівнорозмірне зношування буде на вході у двопарне, однопарне та на виході з однопарного зачеплення. Встановлено, що зуби колеса зношуються в 1,75 ... 1,85 рази швидше, ніж зуби шестерні.

На рис. 3 подано мінімальну довговічність  $t_{\min}$  передачі, тобто для тієї точки зачеплення, у якій найшвидше досягається задане допустиме зношування зуба колеса.

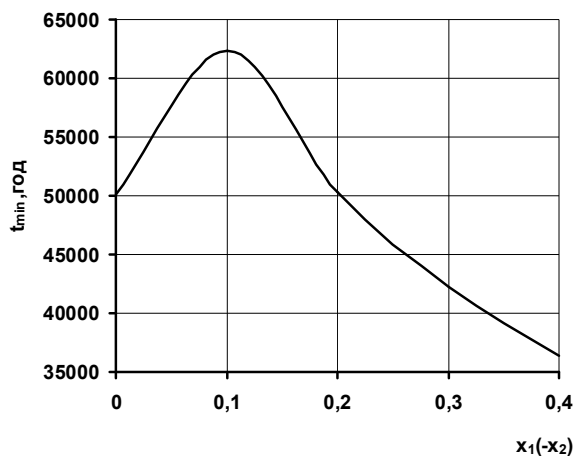


Рис. 3 – Довговічність передачі

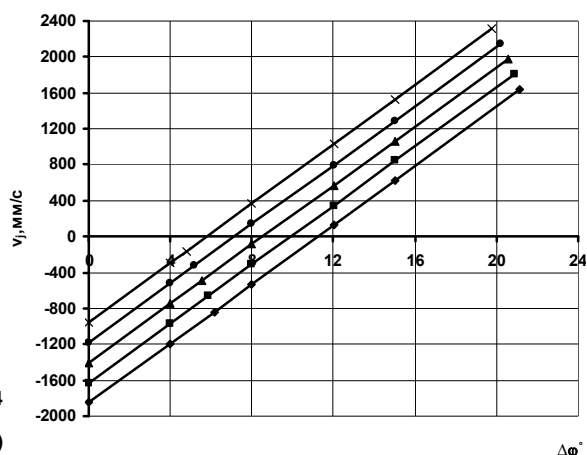


Рис. 4 – Швидкість ковзання при коригуванні зачеплення

Найвища довговічність досягається при коефіцієнтах коригування  $x_1 = -x_2 = 0,1$  зачеплення. Тоді вона перевищуватиме довговічність некоригованої передачі у 1,245 рази. Також з аналізу рис. 2, можна зауважити, що тоді і умови зношування профілів зубів є найбільш оптимальними.

При коригуванні зачеплення відбувається перерозподіл швидкості ковзання із її зменшенням на вході та збільшенням на виході зубів із зачеплення (рис. 4). Тому допустиме зношування зубів колеса у коригованих передачах досягається на виході із однопарного зачеплення.

### Література

1. Чернець М.В., Ярема Р.Я. Узагальнений метод оцінки впливу коригування зубів на ресурс, зношування та контактну міцність циліндричних евольвентних передач // ФХММ. – 2011. – № 4. – С. 115 - 121.
2. Чернець М.В., Ярема Р.Я. До питання про оцінку впливу коригування зубів циліндричної евольвентної косозубої передачі на їх контактну міцність // Проблеми трибології. – 2011. – № 4. – С. 26 - 32.
3. Чернець М.В., Ярема Р.Я., Чернець Ю.М. Метод оцінки впливу коригування і зношування зубів евольвентної циліндричної передачі на довговічність та міцність. Част.1. Довговічність і зношування // ФХММ. – 2012. – №3. – С. 30 - 39.
4. Чернець М.В., Ярема Р.Я., Чернець Ю.М. Метод оцінки впливу коригування і зношування зубів евольвентної циліндричної передачі на довговічність та міцність. Част. 2. Контактна міцність // ФХММ. – 2012. – № 6. – С. 56 - 59.
5. Pasta A., Mariotti Virzi G. Finite element method analysis of a spur gear with a corrected profile // J. Strain Analysis. – 2007. – Vol. 42. – P. 281-292.
6. Zwolak J., Martyna M. Analiza naprężeń kontaktowych i naprężeń zginających występujących w przekładniach zębatych power shift // Tribologia. – 2011. – Vol. 42. – № 3. – S. 155 - 165.
7. Zwolak J., Wittek M. Optymalizacja parametrów geometrycznych kół zębatych w aspekcie minimalizacji naprężeń kontaktowych // Tribologia. – Vol. 45. – 2011. - № 6. – S. 283 - 291.

Поступила в редакцію 26.10.2015

Chernets M.V., Chernets Ju.M. **The estimation of contact strength, wear and durability of cylindrical spur tractive gear of electric locomotive at high-altitude correction of engagement.**

For cylindrical spur tractive gear it has been conducted the calculation of maximal contact pressures, teeth wear and durability at high-altitude correction of engagement. It has been established the regularities of tribocontact pressures change in engagement after reaching the permissible wear depending on shift coefficients in the phases of double – single – double engagement. It is observed the considerably larger value of maximal contact pressures at the entrance into single-tooth engagement than at the entrance into double-tooth engagement. Depending on shift coefficients, maximal (permissible) wear of wheel teeth would arise in different specific contact points: at the entrance into single-tooth engagement in non-corrected gear and at the exit out of it in the presence of correction. Gear durability has its optimum at shift coefficients  $x_1 = -x_2 = 0$  and in this case it is 1,245 larger than in non-corrected gear.

**Key words:** cylindrical involute spur gear, high-altitude correction of engagement, contact pressure, tooth wear, gear durability.

### References

1. Czernec M.V., Jarema R.Ja. Uzahalenyj metod ocinky vplyvu koryhuvannja zubiv na resurs, znoszuвання та kontaktnu micnist cylindrycznych evolventnych przedacz. FKHM. 2011. №4. C. 115 - 121.
2. Czernec M.V., Jarema R.Ja. Do pytanja pro ocinku vplyvu koryhuvannja zubiv cylindrycznoi evolventnoi kosozuboi przedaczi na jih kontaktnu micnist. Problemy trybologii. 2011. №4. C. 26 - 32.
3. Czernec M.V., Jarema R.Ja., Czernec Ju.M. Metod ocinky vplyvu koryhuvannja i znoszuвання zubiv evolventnoi cylindrycznoi przedaczi na dovhovicznist ta micnist. Czast. 1. Dohovicznist i znoszuвання. FKHM. 2012. №3. C. 30 - 39.
4. Czernec M.V., Jarema R.Ja., Czernec Ju.M. Metod ocinky vplyvu koryhuvannja i znoszuвання zubiv evolventnoi cylindrycznoi przedaczi na dovhovicznist ta micnist. Czast. 2. Kontaktna micnist. FKHM. 2012. №6. C. 56 - 59.
5. Pasta A., Mariotti Virzi G. Finite element method analysis of a spur gear with a corrected profile. J. Strain Analysis. 2007. Vol.42. P. 281-292.
6. Zwolak J., Martyna M. Analiza naprężeń kontaktowych i naprężeń zginających występujących w przekładniach zębatych power shift. Tribologia. 2011. Vol. 42. № 3. S. 155 - 165.
7. Zwolak J., Wittek M. Optymalizacja parametrów geometrycznych kół zębatych w aspekcie minimalizacji naprężeń kontaktowych. Tribologia. Vol. 45. 2011. № 6. S. 283 - 291.