

УДК 631.372+62-192

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАЛЕЖНОГО РІВНЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМ ЇХ ПРИПРАЦЮВАННЯМ

Аулін В.В., д.т.н., проф.,
Лисенко С.В., к.т.н., доц.,
Чернай А.Є., асп.,
Данілов О.О. ст.,
Галінський Є.С. ст.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Abstract

The increase of durability of gears by their electrochemical running-in is considered. From a theoretical point of view, it is shown to determine the rational duration of running-in, taking into account the probability of failure-free operation and temperature field distribution. Different materials and variants of running-in technologies were used and a variant was found that takes into account the contextual strength and receptive kinetic viscosity of the lubricating medium.

Key words: gear, running-in, durability, electrolyte, electric current.

Вступ

Одними з технологічних методів в забезпеченні точності і заданого рівня довговічності виробів, і зокрема зубчастих коліс редукторів, є їх обкатка і припрацювання, які необхідно розглядати з позицій зношування і надійності.

Для припрацювання спряжень деталей, що входять до складу машин, необхідно використовувати в технології збирання технологічний процес обкатки з метою підготовки машин до сприйняття експлуатаційних навантажень, виключення перегріву, схоплювання, заїдання зубчастих передач при їх експлуатації, з приведенням до мінімуму похибок спряжених робочих поверхонь деталей і їх неточностей при взаємному розташуванні, допущених при виготовленні.

Аналіз попередніх досліджень

З аналізу робіт провідних вчених по даному напрямку, таких як Боудена Ф.П., Буше М.А, Гаркунова Д.М, Євдокимова Ю.А., Кислик В.А, Костецького Б.І., Крагельського І.В. , Лоренца В.Ф, Пронікова О.С, Савченко М.З., Суслова А.Г., Тайці Б.А., Тененбаума М.М., Хрущова М.М., Худих М.І. , Чудакова К.П. і ін., зроблені висновки, що оптимальний варіант технології обкатки в режимі припрацювання трибоспрямижень деталей повинен задовольняти вимогам найменшого начального зносу деталей й трибоспрямижень з мінімальними витратами праці і часу.

Як зазначають вчені Гаркунов Д. Н., Гриб В. В. , Польцер Г., Пукас В. В. і ін, найбільш перспективні напрямком підвищення довговічності зубчастих коліс і розробки маловитратних технологій припрацювання зубчастих передач і редукторів в цілому є забезпечення роботи трибоспрямижень деталей в режимі еластогідродинамічного мастила за рахунок формування неокислювальних плівок з низьким опором зсуву, нездатних наклепуватися, з використанням

припрацювальних середовищ, які забезпечують стабільні умови реалізації ефекту вибіркового перенесення.

На підставі цього визначено групу зубчастих передач максимального використання та обрані зубчасті колеса для подальших досліджень при використанні металоплакуючих присадок, мастильних і припрацювальних олив.

Постановка проблеми

При проектуванні і розрахунках складних технічних систем (СТС) закладається її надійність, вона залежить від конструкції її вузлів і трибоспряжень, застосовуваних матеріалів, методів захисту від різних шкідливих впливів, методів мащення і пристосовуваності до ремонту і обслуговування. При виготовленні СТС забезпечується надійність і її основні властивості: безвідмовність роботи, довговічність, ремонтпридатність, збереженість. Надійність трибоспряжень деталей залежить від: якості виготовлення деталей, методів контролю, випробувань, можливості застосування та управління ходом технологічного процесу, якості збирання СТС в цілому, методів випробувань; до методів випробувань для силових агрегатів можна віднести обкатку як завершальний технологічний процес складання.

Численними дослідженнями встановлено, що визначальну роль у забезпеченні експлуатаційних характеристик відіграє стан поверхневого шару поверхонь тертя в трибоспряженні. Важлива роль у вирішенні цих питань відводиться обкатці і припрацюванню, що є одним з методів загальної технології і триботехнології.

Припрацювання в процесі виробництва і експлуатації піддаються практично всі машини і механізми. При цьому режими дуже різні навіть для подібних спряжень деталей. Режими припрацювання зубчастих передач не є, як правило, науково обґрунтованими і встановлюються на підприємствах з економічних або кон'юнктурних міркувань.

Мета та завдання

Метою даної роботи є розробка теоретичних засад припрацювання зубчастих передач з використанням мідьвмісних присадок з реалізацією електрохімічного процесу.

Для реалізації мети розв'язувалися наступні завдання:

1. Теоретичне обґрунтування реалізації процесу припрацювання зубчастих передач електрохімічним способом.
2. Контактна міцність зубчастих передач після припрацювання.

Результати вирішення основних завдань

При створенні металоплакуючих олив оцінка триботехнічних показників дослідних олив проводили на машині тертя СМТ-1, СМЦ-2 за схемою "ролик-ролик" і "колодка-ролик". Критерії закінчення випробувань за ступенями навантаження завершення припрацювання і перехід на прямолінійну ділянку кривої зношування, стабілізація моменту тертя і температури.

Кращі характеристики і показала олива 1559 (склад: олива И-Г-А-68 і присадки ДФ-11 – 1,2%; ИОНОЛ – 0,7%; В 15/41 – 0,05%; ПМС-200А –

0,005%), прийняте за базовий варіант. Дана олива не містить присадки МКФ-18, а її високі трибологічні властивості обумовлені вмістом ДФ-11. На наступному етапі дослідження в оливу 1559 вводили присадка МКФ18 (0,2; 0,4; 0,6; 1,0 і 3,0 % за масою).

Визначено раціональний вміст металоплакуючої присадки МКФ-18 в оливі 1559 – 0,6...1,0 % по масі, для якої коефіцієнти тертя мають мінімальні значення; знос стосується тільки виступів микронерівностей вихідного профілю, що свідчить про високі триботехнічні властивості даної оливи. При випробуванні таких олив підтверджений факт реалізації вибіркового перенесення на скануючому електронному мікроскопі.

Проведена оцінка тривалості припрацювання по функції параметра потоку відмов $\omega(t)$ і запропонована методика прогнозування якості виробів. Аналіз експлуатаційної статистики відмов на прикладах транспортних машин свідчить про наявність великої частки відмов як раптових, так і поступових, через приховані дефекти, виявлені в період припрацювання.

Особливістю періоду припрацювання є те, що параметри потоків відмов (ППВ) представляє собою монотонно спадаючу функцію $\lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t) = \omega_0$, де ω_0 – стале значення ППВ. Тривалість припрацювання дослідного об'єкту визначається часом, протягом якого ППВ досягає мінімуму $\omega_0 = \text{const}$:

$$\omega(t) = \omega_1 \cdot \exp(-\alpha \cdot t) + \omega_0, \quad (1)$$

де ω_1 – ППВ, обумовлений дефектами виготовлення і монтажу деталей, α – коефіцієнт, що характеризує швидкість протікання процесу припрацювання. За результатами спостережень за складними технічними системами отримані аналітичні функції ППВ для двох варіантів:

– варіант I враховує всі відмови спряжень деталей транспортних машин:

$$\begin{aligned} \omega_{III}(t) &= 0.13136 \cdot \exp(-0.05652t) + 0.00119, \omega_{KII}(t) \\ &= 0.08054 \cdot \exp(-0.0084t) + 0.0475; \end{aligned}$$

– варіант II враховує відмови спряжень деталей машин за варіантом I при неврахуванні технологічних (систематичних) відмов, що визначають характер функціонування транспортних машин:

$$\begin{aligned} \omega_{III}^M(t) &= 0.1297 \cdot \exp(-0.05804t) + 0.00016, \omega_{KII}^M(t) = \\ &= 0.03156 \cdot \exp(-0.0093t) + 0.0334. \end{aligned} \quad (2)$$

Раціональну тривалість припрацювання з допустимою точністю можна розрахувати по формулі:

$$t_{np} = -\frac{1}{\alpha} \ln \left(\frac{\alpha}{\omega_1} \left(\frac{\omega_0 \cdot t + \ln P(t)}{\exp(-\alpha t) - 1} \right) \right), \quad (3)$$

де $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи.

Побудована функція параметру потоку відмов важливо також для оцінки періоду припрацювання з економічної точки зору. Рівень надійності транспортних машин визначається за основними властивостями безвідмовності і довговічності, обґрунтований встановленням гарантійного терміну служби, розрахунком кількості і вибору номенклатури запасних деталей,

прогнозуванням рівня надійності при створенні аналогічних виробів нового покоління і модернізації.

Проведено теоретичне дослідження температурного режиму на контактуючих поверхнях зубчастих коліс з покриттями по температурі спалаху, яка дозволяє оцінити ефективність обраного покриття в запропонованій технології припрацювання.

На рисунку 1 показано схему контакту зубчастих передач з покриттям товщиною l_{hj} , де коефіцієнти теплопровідності і температуропровідності λ_k і k_k , індекс $k = 1$ або 2 , – відповідно позначено номер шару і тіла; $2l_0$ – ширина переміщаючої смужки контакту.

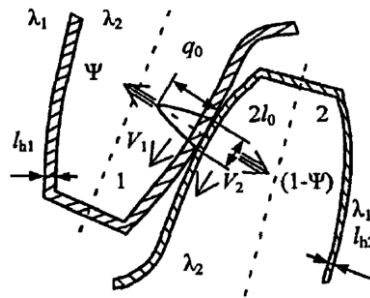


Рисунок 1 Схема контакту зубчастих передач

Схема для визначення температури спалаху показана на рисунку 2.

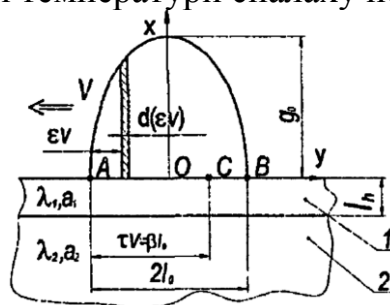


Рисунок 2 Схема для розрахунку величини температури спалаху

Для даної області рішення рівняння теплопровідності після використання методів операційного числення записується у вигляді:

$$d\Theta = \frac{dq \cdot k_1}{2 \cdot \lambda_1 \cdot \sqrt{\pi \cdot k_1 \cdot t}} - \frac{dq \cdot k_1}{2 \cdot \lambda_1 \cdot \sqrt{\pi \cdot k_1 \cdot t}} \sum_{n=0}^{\infty} a^n \exp \left\{ -\frac{(nl_h)^2}{k_1 \cdot t} \right\} + \frac{3 \cdot dq \cdot k_1 \cdot a}{2 \cdot \lambda_1 \cdot \sqrt{\pi \cdot k_1 \cdot t}} \sum_{n=0}^{\infty} a^n \cdot \exp \left\{ -\frac{(n+1)^2 \cdot l_h^2}{k_1 \cdot t} \right\}, \quad (4)$$

де $d\Theta$ – приріст температури спалаху на поверхні, dq – приріст інтенсивності теплового потоку, що рухається по поверхні шару $x=0$; $a = (1-\omega)/(1+\omega)$, $\omega = \lambda_2 \sqrt{k_1} / \lambda_1 \sqrt{k_2}$ – безрозмірні параметри; t – час.

Кінцевий вираз для оцінки температури спалаху на поверхні j -го тепла на основі вирішення (5) прийме вид:

$$\Theta_j = \frac{2 \cdot k_{1j} \cdot q_0}{\pi \cdot \lambda_{1j} \cdot V_j} \cdot T_j, \quad (5)$$

де q_0 – амплітудне значення теплового потоку, V_j – швидкість теплового джерела в зоні контакту; V_j – безрозмірна форма представлення температури

спалаху.

Алгоритм розрахунку температури спалаху реалізований в пакеті прикладних програм і може бути рекомендований для введення в систему автоматизованого проектування зубчастих передач. Розрахунки температури спалаху в можливих варіантах покриттів показали перевагу мідного покриття (таблиця 1), яке було використано на стадії виготовлення зубчастих коліс.

Таблиця 1 Розрахункові значення температури спалаху

Покриття 1 мкм	Результат розрахунку Θ , К	Температура плавлення покриття, К
Нет (сталь)	1123	1807
Алюміній	902	933
Мідь	877	1356
Олово	1080	505
Срібло	968	1233
Свинець	1400	600

Представлена методика і результати експериментальних досліджень на розроблену технологію припрацювання. Запропонована технологія припрацювання зубчастих передач полягає у формуванні поверхневого шару зубів передач на основі нанесення мідного покриття з наступною термообробкою, включаючи основну складову технологічного процесу реалізацію вибіркового перенесення як фізико-хімічний метод підвищення зносостійкості при застосуванні робочого середовища – металоплакуючих олив. Дана технологія припрацювання відповідає варіантом наведеними в таблиці 2.

Таблиця 2 Характеристика варіантів технологій припрацювання зубчастих передач і середовищі оливи

Варіант	Матеріал	Покриття	Кінцева обробка	Використовувана олива
1	Сталь 45	Немає	Поліпшення HB 269-302	ZF TE-ML 02
2				ZF TE-ML 02 (мп)
3		Хімічне міднення	Поліпшення, твердість сталльної поверхні HB 269-302	ZF TE-ML 02
4				ZF TE-ML 02 (мп)

Перевага технології 4 полягає в тому, що мідне покриття при термообробці рівномірно відводить тепло по всій поверхні, при цьому точність зубчастих коліс залишається на більш високому рівні в порівнянні з зубчастими колесами без покриття, що дозволяє не застосовувати після термообробки інші оздоблювальні операції поверхонь зубів. У період припрацювання забезпечується контактування зубчастих коліс в зоні пружних деформацій. Слід зазначити, що сучасними методами виготовлення складно отримати рівноважний стан поверхні тертя шестерень. Данні труднощі легко вирішуються запропонованою технологією припрацювання. У процесі досліджень контролювали зміну вихідної потужності на генераторі за допомогою вольтметра. Додатково до цього проводили періодичні візуальні спостереження за станом робочих поверхонь зубчастих коліс. Досліджувані

зубчасті передачі (виконані прямозубими, з числом зубів $z_1 = 20$, $z_2 = 49$, $m = 1$ мм) проходили припрацювання при наступних режимах окружна швидкість становила 0,67 м/с, а крутний момент на вихідному валу 0,289 Нм. Дослідження процесів припрацювання проводилося по чотирьох варіантів (табл.2). Результати стендових випробувань (рис.3) свідчать про те, що використання запропонованої технології припрацювання з використанням мідного покриття зубчатих передач і використанням металоплакуючих олив (варіант 4) відповідає найбільш раціональним умовам роботи редуктора, при яких стає значення вихідної потужності має найбільше значення 4,8 Вт, що на 25% вище, ніж при заводській технології (варіант 1); це говорить про значне скорочення споживання потужності в редукторі, причому період обкатування склав про менше значення $t_{np}^{min} = 20$ хв., в порівнянні з варіантами 1-3. Дані умови роботи сприяють підвищенню довговічності зубчастих передач редукторів.

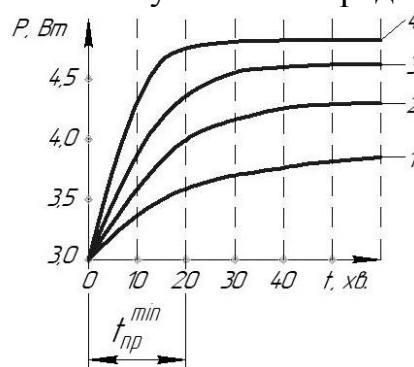


Рисунок 3 Залежність вихідної потужності від часу випробувань: 1 – варіант 1; 2 – варіант 2; 3 – варіант 3; 4 – варіант 4

Дослідження запропонованої технології припрацювання зубчастих передач при реалізації вибіркового переносу провели по партії зубчастих передач, що найбільш частіше підлягають схоплюванню в період обкатки заїданням (20-30% з партії), які подальшому безрозбірному відновленню і ремонту не підлягають. В зубчасті передачі 1 і 3 партії відповідно з картою мащення та технічної експлуатації заливали оливу ZF TE-ML 02. В партії 2 та 4 заливали оливу ZF TE-ML 02 (мп), склад якого – базова олива, ZF TE-ML 02, присадки ДФ-11 (1,2 %) і МКФ-18 (0,6 %) – компоненти присадки "Трибокор" – ТУ 3840187-88. Результати підтвердили процент заїдання (25 %) при використанні на оливі ZF TE-ML 02. Підчас використання 2-ї та 4-ї партії зубчастих передач схоплювання і заїдання, при вхідних до катастрофічним відмовам не спостерігалось. Аналіз результатів показав, що при використанні оливи ZF TE-ML 02 зниження і стабілізація споживаної потужності починається через 80-90 хв після пуску припрацювання. При використанні металоплакуючих олив ZF TE-ML 02 (мп) можливе зниження часу обкатки в режимі припрацювання до 40-50 хв. Крім того, до і після припрацювання проводили вимірювання параметрів точності і шорсткості робочих поверхонь зубів (табл. 3).

Аналізуючи результати випробувань і дані таблиці 3, можна зробити висновок: після закінчення встановленого періоду експлуатації в результаті зносу ступінь точності зубчастих коліс, виготовлених за запропонованою

технологією, залишається в межах вихідної. Після експлуатації стало значення шорсткості поверхонь склало до застосування технології припрацювання $R_a = 0,760-0,863$ мкм, після впровадження запропонованої технології і $R_a = 0,378-0,41$ мкм, що відображає більш якісний стан робочих поверхонь зубів.

Таблиця 3 Параметри робочих поверхонь зубів за різними технологіями припрацювання

Вид технології	Мідне покриття	R_a , мкм
базова	Ні	0,76-0,863
запропонована	Так	0,378-0,41

Після закінчення періоду припрацювання виявлено, що знос має лінійну залежність, причому швидкість зношування по базовій технології (i_1) вища, ніж за запропонованою технологією (i_2) із застосуванням металоплакуючих олив.

Припрацювальний знос зубчатих коліс відповідно $U_{\text{пр1}} = 70$ мкм і $U_{\text{пр1}} = 30$ мкм. Виходячи з отриманих величин зношування визначили термін служби зубчастих передач (табл.4) за такою формулою:

$$t = \frac{U_{\text{дон}} - U_{\text{нрпн}}}{l}, \quad (6)$$

де $U_{\text{дон}} = S_m \cdot \beta$ – допустиме зношування зуба (S_m – номінальна товщина зуба, $\beta = 0,1 \dots 0,3$ – допустиме утончення зуба), $U_{\text{нрпн}}$ – зношування зуба за період припрацювання; $l = U_n / t_n$ – швидкість зношування в період нормальної експлуатації (U_n – величина зношування за термін нормальної експлуатації).

Таблиця 4 Параметри мірометрування зубчастих коліс за різними технологіями припрацювання.

Вид технології	$U_{\text{ном}}$, мкм	$U_{\text{ном}}$, мкм	U_n за $t_n=500$ мото-год, мкм	l , мкм/год
Базова	300	70	20	0,0417
Запропонована		30	10	0,0208

Таким чином, прогнозоване підвищення довговічності зубчастих передач при впровадженні розробленої технології складає 2,3 рази. Для розробленого процесу припрацювання технологічно забезпечити виготовлення зубчастих коліс високої якості. Якщо для забезпечення необхідної точності зубчастих коліс і якості поверхневого шару зубів термообробка проводиться перед операціями по обробці зубів (зубошліфування, зубохонінгування), то нанесення мідного покриття можливе після остаточної обробки зубів.

Слід зазначити, що для термічної обробки, що проводиться після міднення, крім збереження точності зубчастих коліс, згаданої вище, має такі переваги: робоча поверхня захищається від утворення окалини, вигорання вуглецю і легуючих елементів, зберігається первісна шорсткість робочої поверхні зубів під покриттям, знімаються залишкові напруження в півці покриття з основним металом.

Мідне покриття запропоновано здійснювати електрохімічним способом як найбільш технологічний метод нанесення покриттів на деталі складної форми. Технологія і склад, який використовується для нанесення мідного покриття даним способом, вибиралися відповідно до досвіду промисловості та

патентів з урахуванням вимог: високої швидкості осадження і сили зчеплення з основним матеріалом. Знайдений варіант нанесення необхідної товщини покриття (10 мкм) дозволяє отримати його за 6 хвилин (CuSO_4 50 г/л; Na_2EDTA 100 г/л; формалін (40%) 40 мл/л; NaOH – 36 г/л; $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 10 мг/л; феррицианида $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ – 60 мг/л; етилендіамін $\text{C}_2\text{H}_4(\text{NH}_2)_2$ – 200 мг/л).

З метою врахування факту підвищення контактної міцності зубчастих коліс при застосуванні металоплакуючих олиив запропоновано оцінювати коефіцієнт впливу олиив (Z_L) у формулі допустимої контактної напруженості σ_{HP} , що не викликає небезпечної контактної втоми матеріалу зубчастого колеса:

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{Hhm} \cdot Z_N}{S_H} \cdot Z_R \cdot Z_V \cdot Z_x \cdot Z_\omega \cdot Z_L, \quad (7)$$

де σ_{Hhm} – межа контактної міцності; Z_N – коефіцієнт довговічності, що враховує межу міцності активної робочої поверхні; S_H – коефіцієнт запасу міцності; Z_R – коефіцієнт, що враховує шорсткість спряження поверхонь зубів; Z_V – коефіцієнт, що враховує вплив окружної швидкості; Z_x – коефіцієнт, що враховує розмір зубчастих зубів; Z_ω – коефіцієнт, що враховує вплив перепаду твердості матеріалів спряжених поверхонь зубів. Коефіцієнт Z_L , що входить в формулу (5) і враховує вплив мастильного матеріалу, згідно ГОСТ 21354 приймається рівним одиниці, зважаючи на відсутність наукових і експериментальних досліджень, що не відповідає реальному впливу мастильного матеріалу на допустиме контактне напруження. Для уточненого значення коефіцієнта Z_L запропонована залежність (8), яка враховує при застосуванні металоплакуючих олиив і формуванні мідного покриття підвищення контактної міцності зубчастих коліс:

$$Z_L = k_{mn} C_{ZL} + \frac{4k_{mn}(1 - C_{ZL})}{(1.2 + 80/v_{50})^2}, \quad (8)$$

де k_{mn} – коефіцієнт, що враховує використання мідного покриття зубів і (або) металоплакуючої олиив ($k_{mn}=1$ – для звичайних олиив; $k_{mn}=1,29$ – при використанні металоплакуючої олиив або мідного покриття зубів шестерень), $C_{ZL} = \frac{\sigma_{Hhm} - 850}{350} \cdot 0.08 + 0.83$ (σ_{Hhm} – межа контактної міцності при значеннях $\sigma_{Hhm} < 850$ МПа в рівняння C_{ZL} потрібно підставляти $\sigma_{Hhm} = 850$ МПа, при значеннях $\sigma_{Hhm} > 1200$ МПа, потрібно підставляти $\sigma_{Hhm} = 1200$ МПа), v_{50} – номінальна кінематична в'язкість, олиив при $t=50$ С.

Графічна інтерпретація формули (8), представлена на рис. 4.

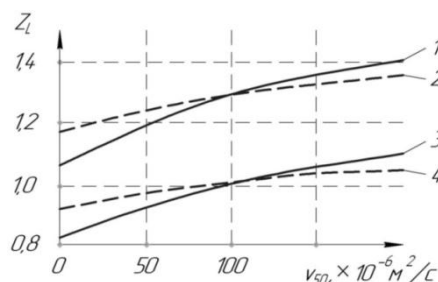


Рисунок 4 Залежність коефіцієнту Z_L від кінетичної в'язкості v мастильного матеріалу від різних варіантів випробувань (1-4)

Висновки

1. Розроблено технологію припрацювання зубчастих передач, що підвищує їх довговічність в 2,3 рази, за рахунок зниження початкового зносу і тривалості, а також швидкості зношування зубчастих коліс в процесі експлуатації при формуванні поверхонь тертя зубчастих коліс високої якості шляхом нанесення мідного покриття, застосування хімічно активного робочого середовища металоплакуючих олив, що дозволяє створювати вторинні структури, плівки з яких не окислюється та мають малий опір зсуву.

2. Розроблено математичну модель для оцінки впливу запропонованої технології припрацювання по температурі спалаху, виходячи з теплофізичних характеристик і режимів роботи.

3. Розроблено технологію нанесення захисних металевих плівок в процесі реалізації вибіркового перенесення при використанні створеного металоплакуючих олив ZF TE-ML 02 (мп) з раціональним вмістом компонентів МКФ-18 (0,6...1,0%) і ДФ-11 (1,2% по масі), що дозволило скоротити тривалість припрацювання зубчастих передач, підвищить їх зносостійкість і довговічність зубчастих коліс.

4. Встановлено, що в разі застосування металоплакуючих олив і мідного покриття відбудеться підвищення контактної міцності зубчастих коліс до 29%. Це дозволяє підвищити точність розрахунку несучої здатності зубчастих передач.

5. Розроблено методику визначення економічно доцільної тривалості припрацювання складних технічних систем забезпечує заданий рівень їх якості за функцією параметра потоку відмов, рекомендованого для введення в нормативно технічну документацію.

6. Уточнений розрахунок коефіцієнта Z_i дозволяє приймати його значення у формулі допустимих контактних напружень в межах, зазначених на графіку.

Література

1. Kobets A., Aulin V., Derkach O., Makarenko D., Hrynkiv A., Krutous D., Muranov E. Design of mated parts using polymeric materials with enhanced tribotechnical characteristics. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2020. Vol. 5 (12 - 107). - P. 49-57.

2. Аулін В.В., Власенко М.В., Лисенко С.В. Триботехнічні характеристики поверхонь тертя при електротрибохімічному методі припрацювання. Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХДУ, 2003. – № 4 – С.140-144.

3. Аулін В.В., Власенко М.В., Лисенко С.В. Утворення мідної плівки на поверхнях тертя при електротрибохімічному методі прискореної обкатки двигунів. Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин. Загальнодерж. міжвідомчий наук.–техн. зб. Вип.34. – Кіровоград: КДТУ, 2004. – С. 186-190.

4. Аулін В.В., Лисенко С.В. Спосіб припрацювання механізму. Декл. патент на корисну модель України № 94967 В23 Н 9/00, F 02 В 79/00. Заявлено 10.01.05. Заявка № а 200500192. Зареєстровано 15.09.2005. Бюл. №9.

5. Aulin V.V., Derkach O.D., Makarenko D.O., Hrynkiv A.V., Krutous D.I. Application of polymer composites in the design of agricultural machines for tillage. Problems of Tribology, V. 25, No 2/96-2020, 49-58

6. Аулін В.В., Замота Т.Н., Ізюмський В.А. Изменение триботехнических характеристик контактных поверхностей зубчатого зацепления шестерен при электрохимико-механической приработке. Вісник інженерної академії України. – 2008. – №3-4. – С. 169-172.

7. Аулін В.В., Лисенко С.В., Семенюк М.Ф., Кузик О.В. Зміна властивостей оливи при електротрибохімічному відновленні робочих поверхонь деталей дизелів. Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2009. – №1 – С.68-70.

8. Аулін В.В., Лисенко С.В., Кузик О.В. Управление процессами изменение режимов трения в трибосистемах. Зб. тез міжнар. наук. –практ. конф. "Ольвійський форум"-2009: Стратегії України в геополітичному просторі.- Миколаїв: ЧДУ, 2009.-С. 63-64.

9. Аулін В.В., Лисенко С.В., Кузик О.В. Підвищення експлуатаційної надійності машин шляхом модифікування моторної оливи. Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. господарства. Вип. 100. Проблеми надійності машин та засобів механізації с/г виробництва. – Харків. – 2010.-С.127-133.

10. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Дослідження ефективності управління системою технічного сервісу транспортних машин. Автомобільний транспорт та інфраструктура: III Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 23–26 квітня 2020 року: тези конференції. Київ. 2020. С.3-5.

11. Аулін В.В., Замота Т.Н. Закономерности приработки деталей различных типов сопряжений. Зб. тез матеріалів міжнар. наук. практ. конф. «Ольвійський форум - 2012» Секція «Трибологія, енерго- та ресурсозбереження», 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.69-72.

12. Аулін В.В., Слонь В.В. Припрацювання трибосполучень деталей в режимі роботи "пуск – зупинка". Зб. тез матеріалів міжнар. наук. практ. конф. «Ольвійський форум - 2012» Секція «Трибологія, енерго- та ресурсозбереження», 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.73-74.

13. Аулін В.В., Слонь В.В., Бобрицький В.М., Лисенко С.В., Голуб Д.В., Кузик О.В., Тихий А.А. Спосіб зменшення зносу трибосполучень деталей двигуна внутрішнього згорання під час його пуску. Пат. 74656 Україна, МПК(2012.01) F01M 1/00, №u201203533; Заявл. 26.03.2012; Опубл. 12.11.2012; Бюл.№ 21, 12.11.2012 р.

14. Аулін В.В., Кузик О.В. Зміна стану зон тертя деталей машин та динамічне трибоматеріалознавство їх поверхневих шарів. Зб. наук. праць КНТУ. Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація, вип. 26. – Кіровоград 2013р. – С.32-40.

15. Аулін В.В., Слонь В.В., Лисенко С.В., Голуб Д.В. Припрацювальна мастильна композиція. Пат. 81598 Україна, МПК C10M 125/04 (2006.01), C10M 125/26 (2006.01), №u201213907; Заявл. 06.12.2012; Опубл. 10.07.2013; Бюл.№ 13, 10.07.2013 р.

16. Аулін В.В., Гриньків А.В. Підвищення ресурсу гідроагрегатів транспортних засобів обробкою олив електричним полем. Зб. тез доповідей VIII

Всеукр. наук.-практ. конф. студентів та аспірантів "Підвищення надійності машин і обладнання". – Кіровоград: КНТУ, 2014. – С. 103-106.

17. Аулін В.В., Лисенко С.В. Обґрунтування поведінки молекул мастильного середовища та формування його шару на поверхні елементів триботехнічних систем. Зб. тез матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Трибологія, енерго- та ресурсозбереження" яка проводилась в рамках "Ольвійського форуму 2014: Стратегія країн Причорно-морського регіону в геополітичному просторі", 4-7 червня 2014, Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2014. – С.17-19.

18. Аулін В.В., Лисенко С.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Мартиненко О.Д. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки. Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. господарства. /Вип. 158. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. – Харків. – 2015.-С.252-262.

19. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Связь информационной энтропии с показателями надежности агрегатов и транспортных средств. Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта [Текст]: материалы X междунар. заочн. науч.-техн. конф. 15 мая 2015 г., Пенза: ПГУАС, 2015. – С. 39-44.

20. Aulin V., Lysenko S.V., Hrinkiv A.V., Chernai A.E., Zhylova I.V. New approach to elucidating the physical nature of the processes that occur in the friction zone of mates of machine parts. Problems of Tribology, V. 25, No 4/98-2020, 13-19.

21. Аулін В.В., Гриньків А.В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія технічні науки. – 2016. – №2 (77). – С.36-41.

22. Аулін В.В., Чернай А.Є. Шляхи розв'язання проблеми підвищення надійності гідравлічних систем з золотниковим механізмом мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 17–18 листоп. 2016) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2016. – С.99-100.

23. Аулін В.В., Лисенко С.В. Забезпечення надійності деталей машин на різних етапах їх життєвого циклу технологіями триботехнічного відновлення. Тези доповідей IV-ої міжнар. інтернет-конф. "Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій", 11.11.2016 року: збір. наук. праць. Частина 1. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – С.5-6.

24. Аулін В.В., Диха О.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В. Вплив режиму мащення на триботехнічні характеристики поверхні спряжень деталей дизелів автомобілів. Збірник наукових матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет-конференції: "Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту", ЦНТУ м.Кропивницький, Україна, 14-15 листопада 2018 року. Кропивницький. 2018. С.218-240.