

Holub Dmytro, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Aulin Viktor**, Prof., DSc.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Mathematical model of improving the quality of control of the mechatronic system of the car interior microclimate

An analysis of studies of microclimate control systems in the car interior was carried out and the requirements for climatic comfort of the space surrounding a person during the operation of the vehicle were formulated. The necessity of forming a climate comfort control system as a mechatronic system of a car, which has increased speed, consistency and accuracy of adjusting the values for its determination, is substantiated.

A list of indicators is proposed that most accurately take into account the cumulative effect on climatic comfort in a multi-zone working space and allow to improve the quality of functioning of the mechatronic microclimate control system of the car interior.

A mathematical model for improving the quality of control of the mechatronic system of the car interior microclimate has been developed. The model describes a multidimensional nonlinear electropneumomechanical control object and its structure.

The dynamic properties of digital tracking drives based on direct current collector motors, which are part of the executive part of the mechatronic system for controlling the climate comfort of the car interior, were studied.

An algorithm for implementing the model in the Matlab Simulink environment has been developed, which allows for detailed computer modeling of the control processes of the mechatronic climate comfort system in order to increase its accuracy and speed.

The principles of forming a multi-channel regulator of a mechatronic system based on inverse models are proposed. These principles reflect the static properties of the non-linear control object and increase the coherence of the reactions of the channels of the car interior microclimate control system.

mechatronic system, modeling, microclimate, car interior, automatic control, regulator, digital tracking drive

Одержано (Received) 12.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 24.05.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024

УДК 621.891

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.78-87](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.78-87)

А.Б. Гупка¹, доц., канд. техн. наук, **В.В. Аулін²**, проф., д-р техн. наук, **В.З. Гудь¹**, проф., д-р техн. наук, **І.Г. Ткаченко¹**, доц., канд. техн. наук, **Л.М. Слободян¹**, доц., канд. техн. наук, **Д.В. Міронов¹**, доц., канд. техн. наук

¹*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна*

²*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

e-mail : Gupkab@gmail.com

Дослідження впливу змінного електромагнітного поля на трибологічні властивості моторних олиив

Проаналізовано основні причини зниження експлуатаційної надійності двигунів автомобілів під час пуску. Систематизовано фактори які впливають на появу задирів на робочих поверхнях деталей трибоспрямижень, характер їх зношування. Запропонована конструкція оливозакачуючого пристрою для обробки моторних олиив змінним електромагнітним полем з метою покращення їх експлуатаційних властивостей. Проведено комплекс досліджень по впливу змінного електромагнітного поля на в'язкісно-температурні характеристики моторних олиив.

двигун, знос, задир, моторна олиива, змінне електромагнітне поле

Постановка проблеми. Однією із основних проблем автомобілебудування є підвищення експлуатаційної надійності та технічного рівня автомобілів, забезпечення

© А.Б. Гупка, В.В. Аулін, В.З. Гудь, І.Г. Ткаченко, Л.М. Слободян, Д.В. Міронов, 2024

високого рівня експлуатаційних властивостей та технічних характеристик трибоспрямижень їх деталей. Дані проблеми безпосередньо потребують необхідності підвищення економічності, збільшення ресурсу систем та агрегатів зниження трудоємості і тривалості операцій технічного обслуговування автомобілів і їх розв'язок залежить від ефективного і короткочасного пуску двигуна за умов низьких температур навколишнього середовища, коли автомобілі зберігаються на відкритих площадках. Забезпечення короткочасного і надійного пуску холодних двигунів у зимовий період експлуатації автомобілів потребує комплексних науково-практичних досліджень.

Короткочасний і надійний пуск холодних двигунів полегшує працю водіїв і збільшує тривалість нормальної експлуатації автомобілів на 5...10%, знижує витрати на застосування засобів підігріву двигунів у авторемонтних підприємствах, виготовлення, встановлення і експлуатацію індивідуальних автомобільних підігрівачів на заводах-виробниках.

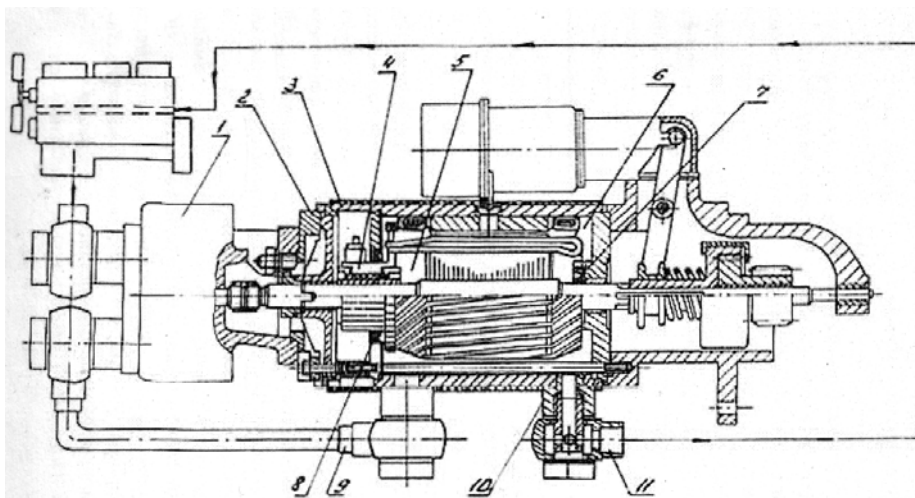
Зниження експлуатаційної надійності двигунів під час пуску, стримує вирішення цієї проблеми через виникнення задирих на робочих поверхнях трибоспрямижень та підвищеним зносом підшипників колінчастого вала і турбокомпресора, гільз циліндрів та поршневих кілець, кулачків та штовхачів внаслідок погіршення умов їх роботи та зміни режиму тертя.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ряд дослідників [1-3] вважають, що за один пуск і прогрів холодного двигуна, гільзи циліндрів зношуються на величину, яка відповідає їх зносу при нормальній роботі двигуна, за пробіг 180...210 км і більше. Зноси основних деталей при пуску та прогріві холодного двигуна складають понад 60% загальних їх зносів за період експлуатації автомобіля [4-6]. В той час в ряді робіт [7-9] показано, що пускові зноси гільз циліндрів складають всього 5... 10% від їх загального зносу.

Визначено, що в пусковий період двигуна проявляються основні види зношування гільз циліндрів: корозійно-механічний; молекулярно-механічний; ерозійний; абразивний та інші. Встановлено, що в період пуску та прогріву холодних двигунів основним видом зношування гільз циліндрів є корозійно-механічне [10], яке виникає під дією кислот, які утворюються під час конденсації водяних парів та інших продуктів згоряння пального при низьких температурах стінок гільз циліндрів.

Постановка завдання. Метою даної роботи є розробка методики дослідження впливу змінного електромагнітного поля на протизношувальні і протизадирині властивості моторних олих із розробкою спеціального оливозакачуючого пристрою.

Виклад основного матеріалу. Попередньо проведенні дослідження свідчать, що, тільки за рахунок вдосконалення конструкції системи мащення двигуна автомобіля неможливо добитися повного запобігання запізнення надходження оливи у трибоспрямиження двигуна в періоди його пуску і прогріву [11]. Основним недоліком оливозакачуючого насоса є необхідність одночасного використання підігріву для зниження в'язкості оливи вже при температурі навколишнього середовища 278...288 К, яка вище температури її застигання, а також використання додаткового електродвигуна для приводу оливного насоса. Виконання цієї умови можливе тільки при використанні на двигуні автомобіля оливозакачуючого пристрою, який встановлюється на двигуні із розгалуженою системою мащення, і приймає силове навантаження зразу після його пуску. Проведений комплекс теоретичних і конструкторських розробок дозволив спроектувати і виготовити принципово новий оливозакачуючий пристрій (рис. 1).



1 - оливозакачуючий насос; 2 - кришка; 3 – корпус стартера; 4 - колектор; 5 – вал якоря стартера; 6 – порожнина для обробки оливи електромагнітним полем; 7, 8 - сальники; 9, 11 - нагнітаючий трубопровід; 10 - штуцер

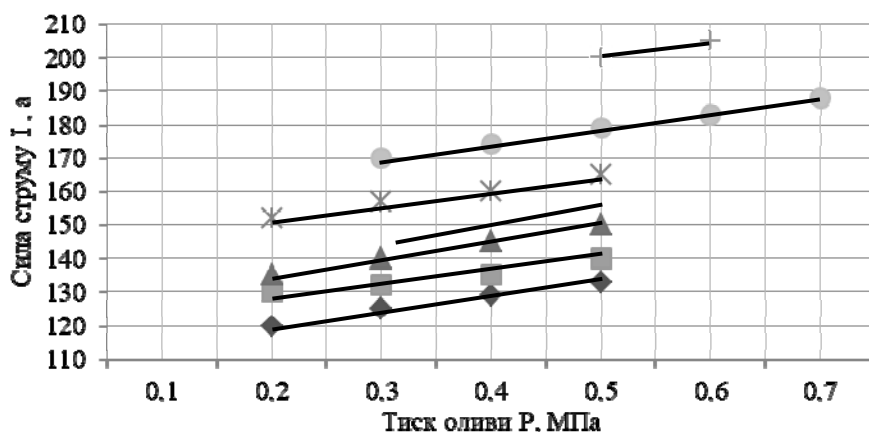
Рисунок 1 – Конструкція оливозакачуючого пристрою

Джерело: розроблено авторами

Оливозакачуючий пристрій складається із шестеренчатого оливного насоса і стартера. Насос 1 кріпиться до кришки 2 корпус стартера 3 зі сторони колектора 4 і приводиться в дію валом якоря стартера 5. Внутрішня порожнина 6 корпусу стартера 3 герметизована за рахунок встановлення на колектор 4 і вал якоря стартера 5 сальників 7 і 8. Порожнина 6 корпусу стартера 3 з'єднана з порожниною нагнітання оливозакачуючого насоса 1 трубопроводом 9, а з головною магістраллю системи мащення - трубопроводом 11.

Для включення оливозакачуючого пристрою перед пуском двигуна, без вводу в зачеплення привідної шестерні стартера із зубчатим вінцем маховика, встановлено додаткове реле включення електродвигуна. Принцип роботи оливозакачуючого пристрою. Перед пуском двигуна, з допомогою додаткового реле включається електродвигун стартера і заблокований з ним оливозакачуючий пристрій. Оливозакачуючий пристрій подає оливу із картера двигуна в герметизований корпус стартера, де вона знижує свою в'язкість за рахунок обробки поперечним змінним електромагнітним полем, електромагнітного нагріву деталей і внутрішнього тертя оливи. Змінне електромагнітне поле поляризує молекули оливи, що призводить до пружного зміщення зарядів в них і до орієнтації постійних диполів. Внаслідок такої обробки понижується в'язкість оливи в корпусі стартера. Оброблена олива, з пониженою в'язкістю, подається оливозакачуючим пристроєм у головну магістраль, і після досягнення в ній тиску 0,15 МПа, здійснювався пуск двигуна шляхом включення основного реле стартера. До основних переваг розробленого оливозакачуючого пристрою відносяться: відсутність окремого електродвигуна для приводу оливозакачуючого насоса; використання електродвигуна стартера в якості електромагнітного нагрівача оливи.

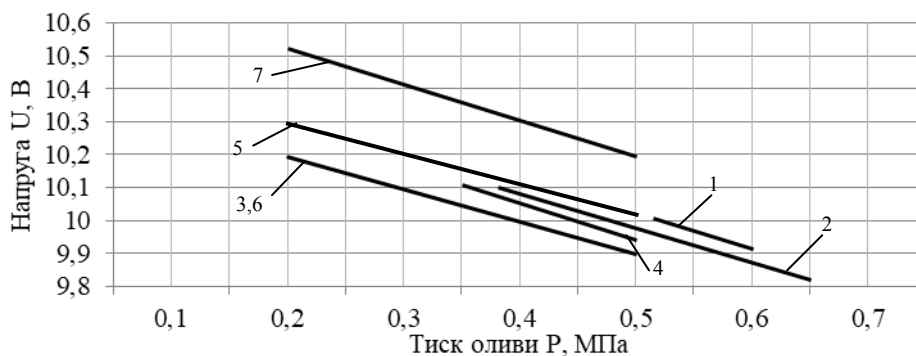
Зміна подачі насоса, струму в колі і напруги на клеммах стартера в залежності від тиску оливи при виході та різній її в'язкості показано на рисунках 2 і 3. З аналізу кривих можна зробити висновок, що із збільшенням тиску оливи струм збільшується а напруга знижується.



♦ - 1; ■ - 2; ▲ - 3; □ - 4; x - 5; ● - 6; + - 7 - в'язкість мастила відповідно 4445; 2442; 1451; 2442; 900; 895; 150 мкм²/с

Рисунок 2 – Зміна сили струму I в електричному колі на клемі маслозакачуючого пристрою в залежності від тиску оливи P при її різній в'язкості

Джерело: розроблено авторами



1,2,3,4,5,6,7 – в'язкість мастила відповідно 4445; 2442; 1451; 2442; 900; 895; 150 мкм²/с

Рисунок 3 – Зміна напруги U в електричному колі на клемі маслозакачуючого пристрою в залежності від тиску оливи P при її різній в'язкості

Джерело: розроблено авторами

Оскільки в оливозакачуючому пристрої моторні оливи піддаються механічному, тепловому і електромагнітному впливу, було досліджено вплив цих факторів на зміну їх властивостей. Досліджувались оливи М-6ВЗ; М-10Г; М-10Г₂ - еталонна. Обробку олив змінним електромагнітним полем у оливозакачуючому пристрої проводили на спеціальному стенді, який дозволяє імітувати роботу двигуна автомобіля в період його пуску [12]. Після того, як оливу залили в бак установки для подальшої обробки, її прокачували в змінному електромагнітному полі оливозакачуючим пристроєм на протязі відповідно 3, 6, 9 і 12хв. Після електромагнітної обробки олив визначали їх наступні фізико-хімічні властивості: температуру застигання K; кінематичну в'язкість, мкм²/с при температурах відповідно 373, 323, 293, 273 і 258 K; вміст неспалимих механічних домішок, %; вміст заліза, %; зольність.

Для олив, які підлягали обробці змінним електромагнітним полем на протязі 9...12 хв, визначали їх протизношувальні і протизадирні властивості. Дослідження проводили на спеціальній установці, яка відтворює роботу трибоспряження кулачок-штовхач автомобіля. Крім цього, проводили порівняльні дослідження в'язкісно-температурних, фізико-хімічних, протизношувальних і протизадирних властивостей свіжих олив, які не оброблялись змінним електромагнітним полем. Виявлюно

характерне зниження в'язкості олив в областях низьких температур, при обробці їх змінним електромагнітним полем, а також помітне зниження їх в'язкості, яке починається при температурах 293...323 К. При більш високих температурах в'язкісно-температурні характеристики олив, оброблених і не оброблених змінним електромагнітним полем, практично однакові. Зафіксовано, що із пониженням температури відмінності в'язкісно-температурних характеристик свіжих олив, зростають. Із співставлення аналогічних характеристик необроблених олив, характер дії на них змінного електромагнітного поля, значно залежить від органічної основи оливи і композиції присадок в ній, а також від тривалості процесу їх обробки. Визначено, що при обробці змінним електромагнітним полем протягом 12 хв оливи М-10Г₂ її в'язкість при температурі 288 К знижується в 3,6 рази (з 17220 до 4796 мкм²/с), оливи М-6ВЗ в 1,3 рази (з 753 до 590 мкм²/с), а в'язкість оливи М-10Г, при температурі 283 К, знижується в 1,2 рази.

Залежності зменшення в'язкості досліджуваних олив при температурі 258 К, від часу дії змінного електромагнітного поля приведені на рис. 4. По характеру зміни в'язкісно-температурних характеристик, досліджуваних олив, можна припустити, що подальше збільшення часу дії змінного електромагнітного поля не призводить до суттєвого зниження їх в'язкості.

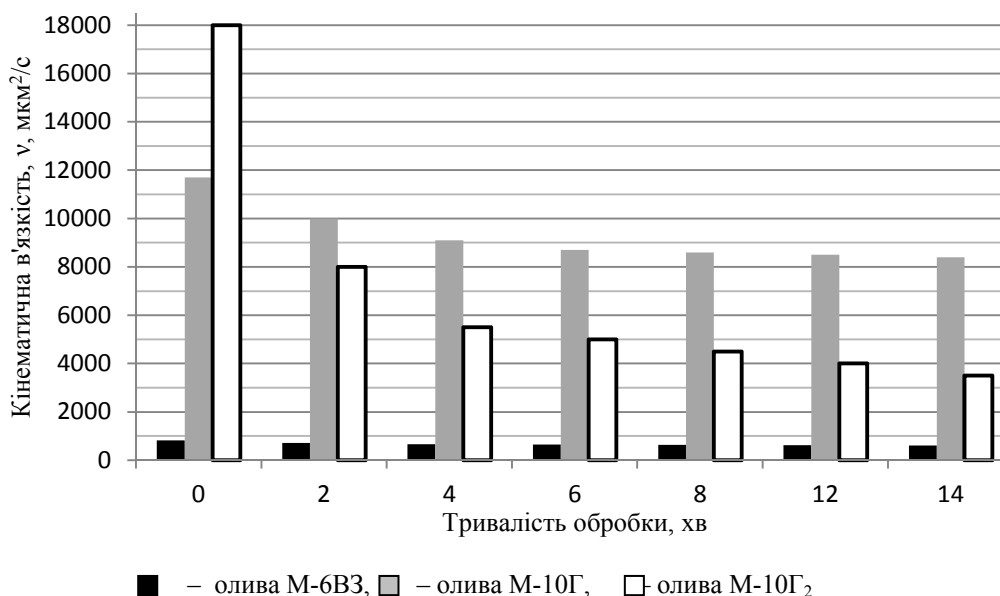


Рисунок 4 – Залежності зміни кінематичної в'язкості олив, при температурі 258 К, від тривалості їх обробки змінним електромагнітним полем

Джерело: розроблено авторами

З отриманих результатів дослідження (рис. 4) випливає, що оптимальний інтервал часу дії змінного електромагнітного поля для досліджуваних олив складає 9...12 хв, при цьому індекс їх в'язкості збільшується у 1,1...1,5 рази.

Відзначено також, що дані властивості олив не є стабільними і з часом наближаються до в'язкісно-температурної характеристики необроблених олив. В'язкість оливи М-6ВЗ, від часу обробки змінним електромагнітним полем, практично не змінюється. Протягом, двох діб в'язкість оливи М-6ВЗ при температурі 258 К збільшується тільки на 19 мкм²/с. Це дає підстави твердити, що дана олива найменш чутлива до дії змінного електромагнітного поля і найбільш стабільно зберігає набуті властивості. При значній тривалості часу після обробки (60) діб змінним електромагнітним полем, в'язкісні характеристики оливи М-6ВЗ, при від'ємних

температурах залишаються на більш низькому рівні в даному діапазоні температур (табл.1).

Таблиця 1 - В'язкісно-температурні властивості оливи М-6ВЗ, через 60 діб після обробки змінним електромагнітним полем, мкм²/с

Температура, К	258	273	323	373
Оброблена електромагнітним полем	1283,5	330,6	22,6	6,14
Необроблена електромагнітним полем	1355,6	332,8	22,8	6,24

Джерело: розроблено авторами

Виявлено, що досліджуванні оливи оброблені змінним електромагнітним полем мають більш низькі температури застигання в залежності від час його дії (табл.2.)

Таблиця 2 - Температури застигання досліджуваних олив в залежності від тривалості їх обробки змінним електромагнітним полем

Тривалість обробки змінним електромагнітним полем, хв.	Температура застигання оливи, К		
	М-6ВЗ	М-10Г	М-10Г ₂
0	231	253	257
3	227	253	253
6	227	253	253
9	228	253	252
12	229	253	250

Джерело: розроблено авторами

Температури застигання олив, оброблених змінним електромагнітним полем, не є стабільними у часі. Так, температура застигання оливи М-6ВЗ одразу після обробки змінним електромагнітним полем, на протязі 6 хв, складає 227 К, а після тривалої електромагнітної обробки, протягом 9 і 12 хв, відповідно 228, 229 К, в той час, як необробленої оливи 226 К.

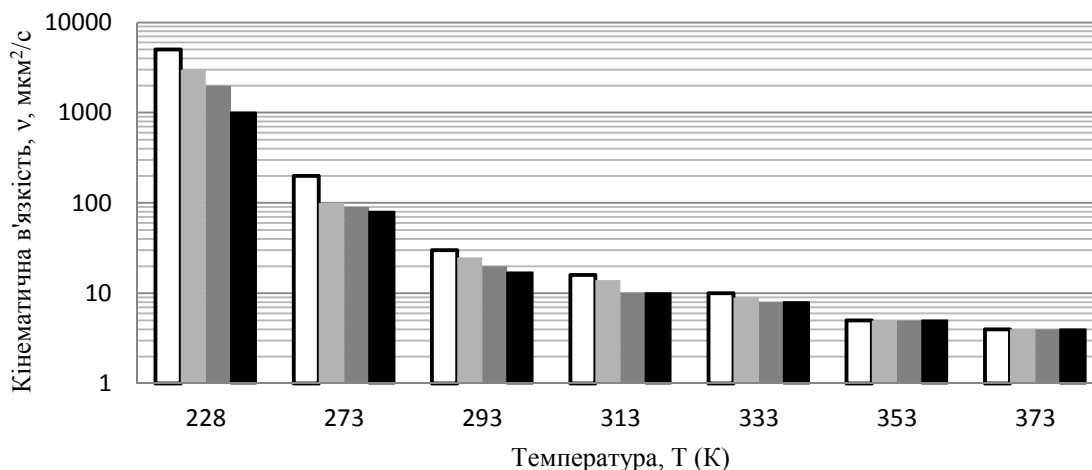
Результати фізико-хімічного аналізу досліджуваних олив приведені в табл.3. Зольність свіжих оброблених олив практично не змінилась в порівнянні з необробленими, які були в експлуатації. Дещо збільшилась зольність олив М-6ВЗ і М-10Г. Зольність обробленої електромагнітним полем оливи М-10Г₂, яка експлуатувалась – понизилась. Наявність заліза у свіжих оброблених оливах - відсутня, а в оливах, які експлуатувались - до 2-х раз менше, у порівнянні із необробленими оливами. Вміст механічних домішок у свіжих оброблених оливах, в порівнянні з необробленими, зменшується, а в оливах, які експлуатувались - дещо збільшується.

Таблиця 3 – Характеристики досліджуваних олив оброблених (О) та необроблених (НО) змінним електромагнітним полем

Характеристики досліджуваних олив		Олива М-6ВЗ				Олива М-10Г				Олива М-10Г ₂			
		Свіжа		Спрацьована		Свіжа		Спрацьована		Свіжа		Спрацьована	
		О	НО	О	НО	О	НО	О	НО	О	НО	О	НО
Індекс в'язкості		137	139	138	139	94	138	98	94	91	102	105	101
Зольність, %		0.89	0.91	1.87	2.11	1.35	1.34	1.84	1.91	0.94	0.95	1.50	1.25
Вміст заліза, %		0.003	0.001	0.918	0.642	0.001	0	0.369	0.365	0.001	0	0.332	0.154
Механічні домішки, %	Загальні	0.003	0	0.495	0.625	0.075	0	0.319	0.283	0.025	0.015	0.279	0.155
	Несталімі	0	0	0.311	0.432	0.042	0	0.196	0.219	0.006	0.136	0.232	0.105
Лужне число,		6.83	7.63	5.81	11.02	9.73	10.53	8.15	8.55	11.23	10.78	11.86	10.07

Джерело: розроблено авторами

В'язкісно-температурні характеристики олив М-6ВЗ, М-10Г₂ і М-10Г визначались через різний проміжок часу після їх обробки змінним електромагнітним полем. Як приклад на рис. 5 приведено результати досліджень для оливи М-10Г₂. Характерно, що набуті властивості досліджуваних олив не є стабільними, і з часом наближаються до в'язкісно-температурних характеристик не оброблених оливи.



□ – необроблена; □ – через 10 діб після обробки змінним електромагнітним полем; □ – через 3 доби після обробки змінним електромагнітним полем; ■ – безпосередньо після обробки змінним електромагнітним полем

Рисунок 5 - Зміна кінематичної в'язкості оливи М-10Г₂ від температури з урахуванням тривалості перерви після дії на неї змінного електромагнітного поля

Джерело: розроблено авторами

Для визначення протизношувальних і протизадирних властивостей досліджуваних олив, оброблених змінним електромагнітним полем їх випробовували на спеціальній установці, яка імітує роботу трибоспряження «кулачок-штовхач». При використанні олив, які пройшли обробку змінним електромагнітним полем,

зношування штовхачів має тенденцію до пониження, в порівнянні з роботою на необроблених оливах. Тривалість дослідження становило 14 год. Зношування кулачків при роботі на оброблених змінним електромагнітним полем, оливах зменшується в 1,2...1,5 рази у порівнянні з роботою на необроблених оливах. Крім цього, робочі поверхні штовхачів та кулачків при роботі на оливах, оброблених змінним електромагнітним полем, практично не мають лакових відкладень, в той час, як при їх роботі на необроблених оливах поверхні покриті шаром лаку. Величини зносу кулачків приведені в таблиці 4, а штовхачів – в таблиці 5.

Таблиця 4 - Знос кулачків в середовищі олив оброблених змінним електромагнітним полем (О), та олив необроблених електромагнітним полем (НО)

Олива	М-6ВЗ		М-10Г		М-10Г ₂	
	О	НО	О	НО	О	НО
Знос кулачків, г.	0,846	0,990	0,277	0,283	0,302	0,444

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 5 – Знос штовхачів при роботі в середовищі олив оброблених змінним електромагнітним полем (О), та олив необроблених електромагнітним полем (НО)

Тривалість випробувань, год	Олива М-6ВЗ		Олива М-10Г		Олива М -10Г ₂	
	О	НО	О	НО	О	НО
	Знос штовхачів, г					
2	0,04	0,05	0,02	0,033	0,02	0,025
4	0,062	0,078	0,035	0,04	0,04	0,042
6	0,083	0,082	0,043	0,045	0,053	0,053
8	0,1	0,09	0,05	0,049	0,062	0,06
10	0,115	0,1	0,055	0,051	0,07	0,061
12	0,119	0,115	0,059	0,052	0,075	0,063
14	0,123	0,119	0,062	0,053	0,08	0,066

Джерело: розроблено авторами

Висновки.

1. Проведенні експериментальні дослідження показали, що гідравлічні, електромеханічні і теплові характеристики оливозакачуючого пристрою визначенні в процесі моторних випробувань підтвердили доцільність його використання в системі мащення автомобільного двигуна.

2. Для свіжих олив, які оброблялись змінним електромагнітним полем, характерне зниження їх параметрів в'язкості в області низьких температур.

3. Ефективність дії змінного електромагнітного поля залежить від органічної основи оливи, наявності присадок в ній, тривалості його дії.

4. Відмічено позитивний вплив змінного електромагнітного поля на протизносні та протизадирні властивості олив при дослідженні зносостійкості робочих поверхонь трибо спряження «кулачок-штовхач».

5. Підтверджено, що збільшення тривалості часу обробки олив змінним електромагнітним полем призводить до зниження температури їх застигання.

Список літератури

1. Аулін В.В., Лисенко С.В., Кузик О.В. Підвищення експлуатаційної надійності машин шляхом модифікування моторної оливи. *Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва*. 2010. Вип. 100. С. 127-133.

2. Voronin S. V., Dunaev A. V. Effects of electric and magnetic fields on the behavior of oil additives. *Journal of friction and wear*. 2015. Vol. 36, no. 1. P. 33–39. URL: <https://doi.org/10.3103/s1068366615010158>.
3. Трофімов І. Л. Theoretical justification of influence electric field on antiwear properties of lubricants. *Technology audit and production reserves*. 2012. Vol. 6, no. 3(8). P. 13–14. URL: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2012.5514>.
4. Вплив модифікування моторної та трансмісійної олів композиційними добавками на підвищення ресурсу транспортних машин / Лисенко С. В та ін. *Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем*: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції 13-15 квітня 2022 р. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. С. 170-173.
5. Aleutdinova, M. I., Fadin, V. V., Kolubaev, A. V., & Aleutdinova, V. A. Contact characteristics of metallic materials in conditions of heavy loading by friction or by electric current. *Friction and Wear Research (FWR)*. 2014. № 2. 22-28.
6. Dunaev A. V., Pustovoy I. F. Experience of using electric effects on engine oils and friction in them. *Journal of machinery manufacture and reliability*. 2020. Vol. 49, no. 11. P. 980–989. URL: <https://doi.org/10.3103/s1052618820110035>.
7. A study of the effect of electrostatic processing on performance characteristics of axle oil / P. Konovalov et al. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2018. Vol. 1, no. 1 (91). P. 4–12. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.120977>.
8. Study of electrohydrodynamic properties in insulating liquids and research of an alternative mixture to mineral oil for energy transformers / J. Rouabeh et al. *Journal of electrostatics*. 2022. Vol. 115. P. 103684. URL: <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2022.103684>.
9. Tarantsev K. V., Tarantseva K. R. Influence of electric field frequency on the process of destruction of water-oil emulsions in electric dehydrators. *Chemical and petroleum engineering*. 2017. Vol. 53, no. 7-8. P. 515–518. URL: <https://doi.org/10.1007/s10556-017-0373-z>.
10. Трофімов І. Л. Моделювання впливу електричного поля на протизносні властивості мастильних матеріалів. *Problems of friction and wear*. 2013. № 59. URL: <https://doi.org/10.18372/0370-2197.59.5333>
11. Зміна притизношувальних та протизадирних властивостей моторних олів під впливом електромагнітного поля / Гупка А. Б. та ін. *Актуальні задачі сучасних технологій*: Матеріали □ Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів, 24-25 листопада 2021 року. Т. : ФОП Паляниця В. А., 2021. Том I. С. 65–66.
12. Гупка А., Aulin V., Mironov D., Leshchuk R., Yarema I., Bukhovets V., Teslia V. Structural and energetic self-organization of antifriiction composite materials of car parts during friction and wear *Problems of tribology*. 2024. Vol. 29, no. 2/112. P. 67–73. URL: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-112-2-67-73>.

References

1. Aulin, V.V, Lysenko, S.V. & Kuzyk, O.V. (2010). Pidvyschennia ekspluatatsijnoi nadijnosti mashyn shliakhom modyfikuvannia motornoj olyvy [Increasing the operational reliability of machines by modifying engine oil]. *Problemy nadijnosti mashyn ta zasobiv mekhanizatsii sil's'kohospodars'koho vyrobnytstva - Problems of reliability of machines and means of mechanization of agricultural production, 100*, 127-133 [in Ukrainian].
2. Voronin, S. V., & Dunaev, A. V. (2015). Effects of electric and magnetic fields on the behavior of oil additives. *Journal of Friction and Wear, 36(1)*, 33-39.
3. Trofimov, I. L. (2012). Theoretical Justification of Influence Electric Field on Antiwear Properties of Lubricants. *Technology Audit and Production Reserves, 6(3)*, 13-14.
4. Lysenko, S. V et al. (2022). Vplyv modyfikuvannia motornoj ta transmisijnoi olyv kompozytsijnymy dobavkamy na pidvyschennia resursu transportnykh mashyn [The effect of modification of motor and transmission oil with composite additives on increasing the resource of transport vehicles]. Increasing the reliability and efficiency of machines, processes and systems: *IV Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia (13-15 kvitnia 2022 r.) - 4th International Scientific and Practical Conference* (pp. 170-173). Kropyvnyts'kyj : TsNTU [in Ukrainian].
5. Aleutdinova, M. I., Fadin, V. V., Kolubaev, A. V., & Aleutdinova, V. A. (2014). Contact characteristics of metallic materials in conditions of heavy loading by friction or by electric current. *Friction and Wear Research (FWR)*, 2, 22-28.
6. Dunaev, A. V., & Pustovoy, I. F. (2020). Experience of Using Electric Effects on Engine Oils and Friction in Them. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 49*, 980-989.

7. Konovalov, P., Voronin, S., Onoprychuk, D., Stefanov, V., Pashchenko, V., Radionov, H., ... & Onoprienko, A. (2018). A study of the effect of electrostatic processing on performance characteristics of axle oil. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2018. Vol. 1, no. 1 (91). P. 4–12.
8. Rouabeh, J., Nsibi, W., Mbarki, L., Khmailia, S., & Mel, H. (2022). Study of electrohydrodynamic properties in insulating liquids and research of an alternative mixture to mineral oil for energy transformers. *Journal of Electrostatics*, 115, 103684.
9. Tarantsev, K. V., & Tarantseva, K. R. (2017). Influence of electric field frequency on the process of destruction of water-oil emulsions in electric dehydrators. *Chemical and Petroleum Engineering*, 53, 515-518.
10. Trofimov, I. L. (2013). Modeliuvannia vplyvu elektrychnoho polia na protyznosni vlastyvoli mastyl'nykh materialiv [Modeling the influence of the electric field on the anti-wear properties of lubricants]. *Problems of friction and wear*, (59), 89-92 [in Ukrainian].
11. Hupka, A. B. et al. (2021). Zmina prytyznoshuval'nykh ta protyzydnykh vlastyvostrykh motornykh olyv pid vplyvom elektromahnitnoho polia [Change in anti-wear and anti-seize properties of motor oils under the influence of an electromagnetic field]. Actual tasks of modern technologies: *Materialy □ Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv (24-25 lystopada 2021 roku)* - *Materials of the □ International scientific and practical conference of young scientists and students* (pp. 65-66). T. : FOP Palianytsia V. A. [in Ukrainian].
12. Gypka, A., Aulin, V., Mironov, D., Leshchuk, R., Yarema, I., Bukhovets, V., & Teslia, V. (2024). Structural and energetic self-organization of antifriction composite materials of car parts during friction and wear. *Problems of Tribology*, 29(2/112), 67-73.

Andrii Gypka¹, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Victor Aulin**², Prof., DSc., **Victor Hud**¹, Prof., DSc., **Igor Tkachenko**¹, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Lubomir Slobodyan**¹, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmitro Mironov**¹, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

1 Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil Ukraine

2 Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Study of the influence of a variable electromagnetic field on the tribological properties of motor oils

A set of studies was conducted on the influence of mechanical, thermal and electromagnetic factors under the action of the variable electromagnetic field of the oil pumping device on the properties of M-6B3 motor oils; M-10Г; M-10Г₂. The research was carried out on a special stand, which allows to simulate the operating conditions of the oil injection device on the car engine during the start-up period. The evaluation of the efficiency of the oil pumping device was determined by the volume and effective coefficients of the useful action.

In the process of research, oils (fresh and used) that were exposed to an alternating electromagnetic field and oils that were not exposed to the corresponding influence were compared according to the main physicochemical properties: kinematic viscosity at temperatures of 373, 323, 293, 273 and 258 K; solidification temperature of oil, K; viscosity index; ash content, %; the content of refractory mechanical impurities, %; iron content, %.

The results were obtained on the effect of an alternating electromagnetic field on the viscosity-temperature parameters of fresh M-6B3 oils; M-10Г; M-10Г₂. In the temperature range of 293...323 K, a decrease in the viscosity of the studied oils was observed. An increase in temperature eliminates the difference between processed and unprocessed oils.

The effect of the duration of the alternating electromagnetic field on the viscosity index of the studied oils at a temperature of 258 K was studied. The optimal duration of olive processing was determined, which is 9...12 minutes, depending on its organic basis and the presence of additives in it.

The characteristics of changes in the viscosity-temperature characteristics of the studied oils after certain periods of time after the action of a variable electromagnetic field on them were analyzed. It has been confirmed that these characteristics of processed oils are approaching the similar characteristics of untreated oils over time, except for M-6B3 oil, which stably retains the acquired properties even after a long time of its processing.

With the use of a special installation that simulates the work of tribo-coupling "cam-pusher", the influence of an alternating electromagnetic field on the anti-wear and anti-seize properties of the studied oils was investigated. A 1.2-1.5 times reduction in the amount of wear of both the working surfaces of the pushers and the cams was noted, in the absence of varnish deposits on them.

engine, wear, burr, engine oil, variable electromagnetic field

Одержано (Received) 15.04.2024

Прорецензовано (Reviewed) 20.05.2024

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024