

**Аулін В.В.,  
Слонь В.В.,  
Лисенко С.В.**

Кіровоградський національний технічний  
університет,  
м. Кіровоград, Україна  
**E-mail:** aulin52@mail.ru

## **ХАРАКТЕР ЗМІНИ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПРЯЖЕНЬ ДИЗЕЛІВ ПРИ ЇХ РОБОТІ В РІЗНИХ РЕЖИМАХ**

*УДК 621.891:631.31*

В статті наведено результати впливу різних присадок на зміну моменту тертя спряжених зразків "ролик-колодочка" змащених базовою та композиційною моторною оливою М10Г<sub>2</sub>к на машині тертя СМЦ-2. Дослідження проведені в безперервному та "пуск-зупинка" режимі. Виявлено, що при додаванні присадок "НИОД-5", "Roil Gold", "КГМТ-1" до моторної оливи М10Г<sub>2</sub>к зменшується рівень і ширина піку моменту тертя на першому інтервалі і зниження піків моменту тертя на решта інтервалах випробувань. Встановлено, що моментом тертя спряжених зразків та деталей, які працюють на моторній оливі М10Г<sub>2</sub>к, можна керувати, а спрацьовану моторну оливу – відновлювати при її модифікуванні присадкою.

**Ключові слова:** композиційна моторна олива, дизель, присадки, момент тертя, граничний рівень моменту тертя, напрацювання, електронний блок.

### **Вступ**

Відомо [1], що транспортні засоби (ТЗ), які експлуатуються в важких умовах, працюють переважно в безперервному нестационарному режимі, при великих навантаженнях, складній траєкторії руху та істотній запиленості. Це призводить до таких негативних наслідків як зростання моменту тертя коефіцієнту тертя та інтенсивності зношування в трибоспряженнях, зростання витрат пального та оливи, часта заміна оливи, підвищення прориву газів в картер, зменшення терміну експлуатації двигунів, а отже і надійності ТЗ в цілому.

Застосування моторних оливи необхідного рівня якості, залежно від технічної необхідності і економічної доцільності, розглядається в зв'язку із збереженням зміщуваного шару на робочих поверхнях деталей спряжень дизеля. При цьому якість працюючої оливи з напрацюванням змінюється відповідно до характеру і умов протікання процесів в поверхневому шарі трибоспряженнях та сформованих плівках оливи.

Оскільки моторні оливи в дизелях ТЗ піддаються дії високого тиску, температури, кисню, повітря, палива, сторонніх домішок, що потрапляють через впускний колектор, то вплив цих факторів знижує фізико-хімічні показники та збільшує момент тертя в трибоспряженнях дизеля, погіршується і інші триботехнічні характеристики. Щоб зменшити момент тертя в спряжених деталях, до оливи додають присадки. Насьогодні існує цілий комплекс різноманітних функціональних присадок [2], але остаточно не виявлено закономірності їх взаємодії з оливою та робочою поверхнею деталей спряжень дизеля, щоб можна було прогнозувати його працездатний стан та термін заміни оливи.

Для зменшення тертя в трибоспряженнях деталей і підвищення надійності дизеля в цілому на етапі припрацювання і експлуатації застосовують композиційну моторну оливу. Через наявність перехідних процесів в нестационарному режимі роботи поверхні трибоспряження важко припрацьовуються, особливо це стосується трибоспряжень дизелів автосамоскидів, що працюють в умовах кар'єрних перевезень.

Величина моменту тертя спряжених поверхонь деталей дизелів, в основному, залежить від характеристик та властивостей їх матеріалу, мастильних властивостей моторних оливи і режимів роботи рухомого складу [2]. Експлуатація дизеля в нестационарних умовах роботи обумовлює інтенсивне зростання або спадання моменту тертя в трибоспряженнях деталей [3 - 5]. При пробігах на коротких відстанях, тривалій роботі на холостому ході, головним чином в зимову пору року, характерним є робота на тепловому режимі, що сприяє різкому збільшенню моменту тертя.

Вплив присадок на фізико-хімічні показники моторної оливи та триботехнічні характеристики спряжених поверхонь деталей є предметом дискусій і потребує більш ретельних досліджень у цьому напрямку [6 - 8]. Залишається недостатньо дослідженим і вплив різних присадок на характер зміни моменту тертя трибоспряжень деталей дизеля при напрацюванні та в різних режимах їх роботи.

### **Мета і постановка задачі**

Метою даної роботи є дослідження зміни моменту тертя в різних режимах експлуатації основних спряжень деталей дизеля в середовищі моторної оливи, модифікованою присадками.

### Виклад матеріалів досліджень

При визначенні моменту тертя трибоспряжень зразків деталей ЦПГ дизеля була модернізована машина тертя СМЦ-2 введенням вимірювальної системи електронного блоку вимірювання моменту тертя, удосконалено пристрій навантаження та мащення. Загальний вид вимірювального комплексу наведено на рис. 1, а схему вимірювання моменту тертя – на рис. 2.



Рис. 1 – Машина тертя СМЦ-2 модернізована електронним блоком для визначення моменту тертя

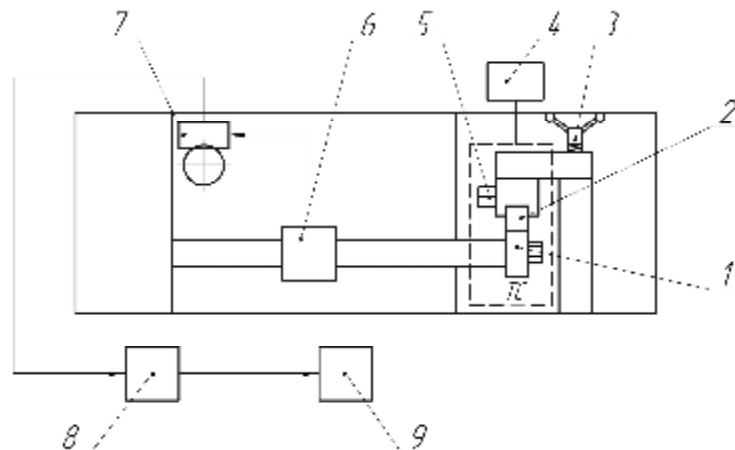


Рис. 2 – Схема вимірювання моменту тертя на машина тертя СМЦ-2 з електронним блоком:

- 1 – ролик; 2 – колодочка з пристроєм для вимірювання температури;
- 3 – пристрій навантаження; 4 – пристрій для мащення;
- 5 – фіксуєчий пристрій; 6 – датчик моменту тертя;
- 7 – мікросхема з датчиком обертів для обробки і передачі електричних величин;
- 8 – електронний блок для визначення моменту тертя; 9 – персональний комп'ютер (ПК)

Електронний блок складається з датчика моменту тертя електронної плати для перетворення механічних величин в електричні та передачі даних на пристрій для визначення моменту тертя, який в свою чергу складається з клавіатури, монітора (виводиться меню та вибір режиму роботи машини), контролера в який через програматор записана програма інтерфейсу. Обробка і виведення інформації на монітор ПК здійснюється через RS-232 порт з урахуванням часу і режимів роботи машини тертя. Плати розроблялися за допомогою пакету програми "P-CAD". Програма контролера складена з одного рівня програмування, а програма виведення інформації на монітор ПК з трьох рівнів: першого початкового, на якому обробляються дані, що надходять з контролера; другий рівень – це рівень в якому закладено час; третій рівень – це рівень безпосередньої побудови графіків залежності моменту тертя від тривалості випробування. Програми контролера і виведення інформації на монітор ПК розроблені на мові C++.

Дослідженню підлягала як свіжа, так і спрацьована моторна олива М10Г<sub>2</sub>к та олива з додаванням присадок "НИОД-5", "Roil Gold" і "КГМТ-1" [9]. В зону тертя базова і композиційна олива подавалися

пристроєм для мащення в крапельному режимі. Для порівняльного аналізу випробування на вимірювальному комплексі проводили дослідження і при сухому терті. Колодочку закріплювали фіксуєчим пристроєм, а ролик встановлювали на нижній вал машини тертя. До і після кожного випробування зразки знежирювали і протирали спиртом. Досліджували спряження зразків у двох режимах: безперервному і "пуск-зупинка".

Для цього за допомогою пристрою навантаження задавали зусилля на трибоспряженні зразків в межах від 20 Н до 80 Н. Випробування проводили в умовах фіксованого, наростаючого та спадаючого навантажень.

За допомогою клавіатури електронного блоку в його меню вводили інтервал роботи трибоспряження від 50 с до 3600 с, та фіксували тривалість паузи у режимі "пуск-зупинка". Частота обертання ролика в різних режимах випробувань залишалася сталою:  $n = 2,5 \text{ с}^{-1}$ . Інформація накопичувалась і оброблялась в електронному блоці визначення моменту тертя і виводилась у вигляді графіків на монітор ПК.

Приклад результату зміни моменту тертя при фіксованому навантаженні у безперервному режимі та режимі "пуск-зупинка" для сухого тертя і мащенні базовою моторною оливою наведено на рис. 3.

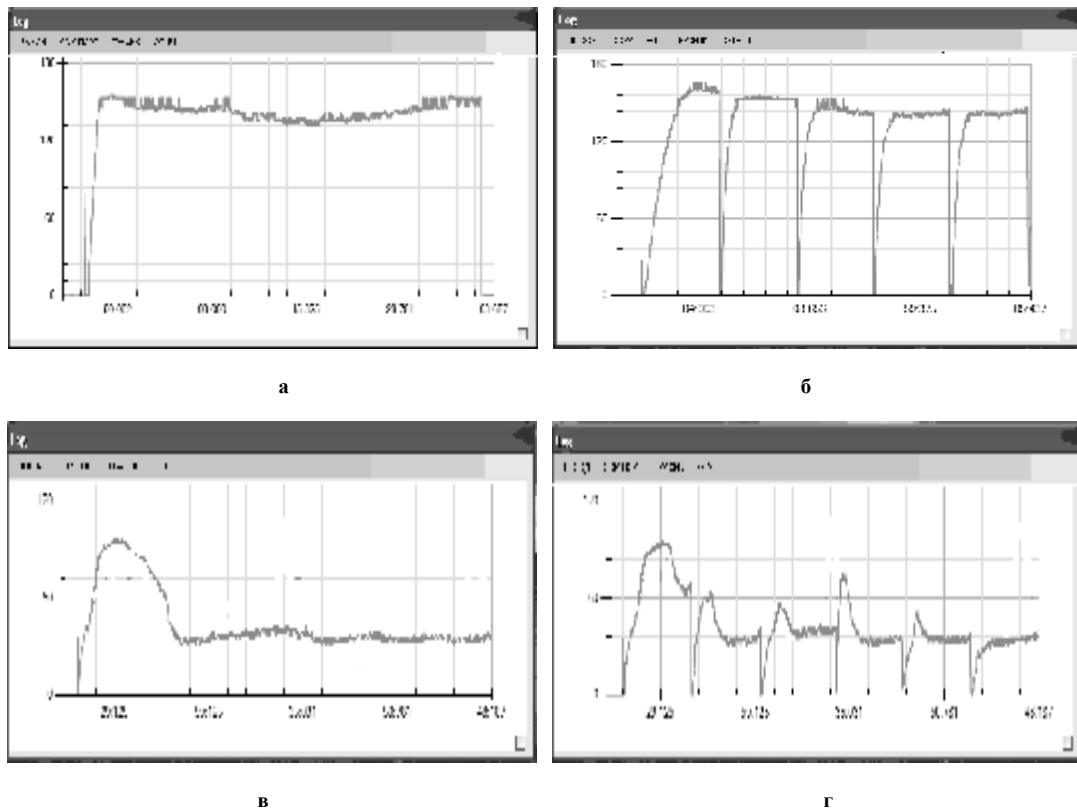
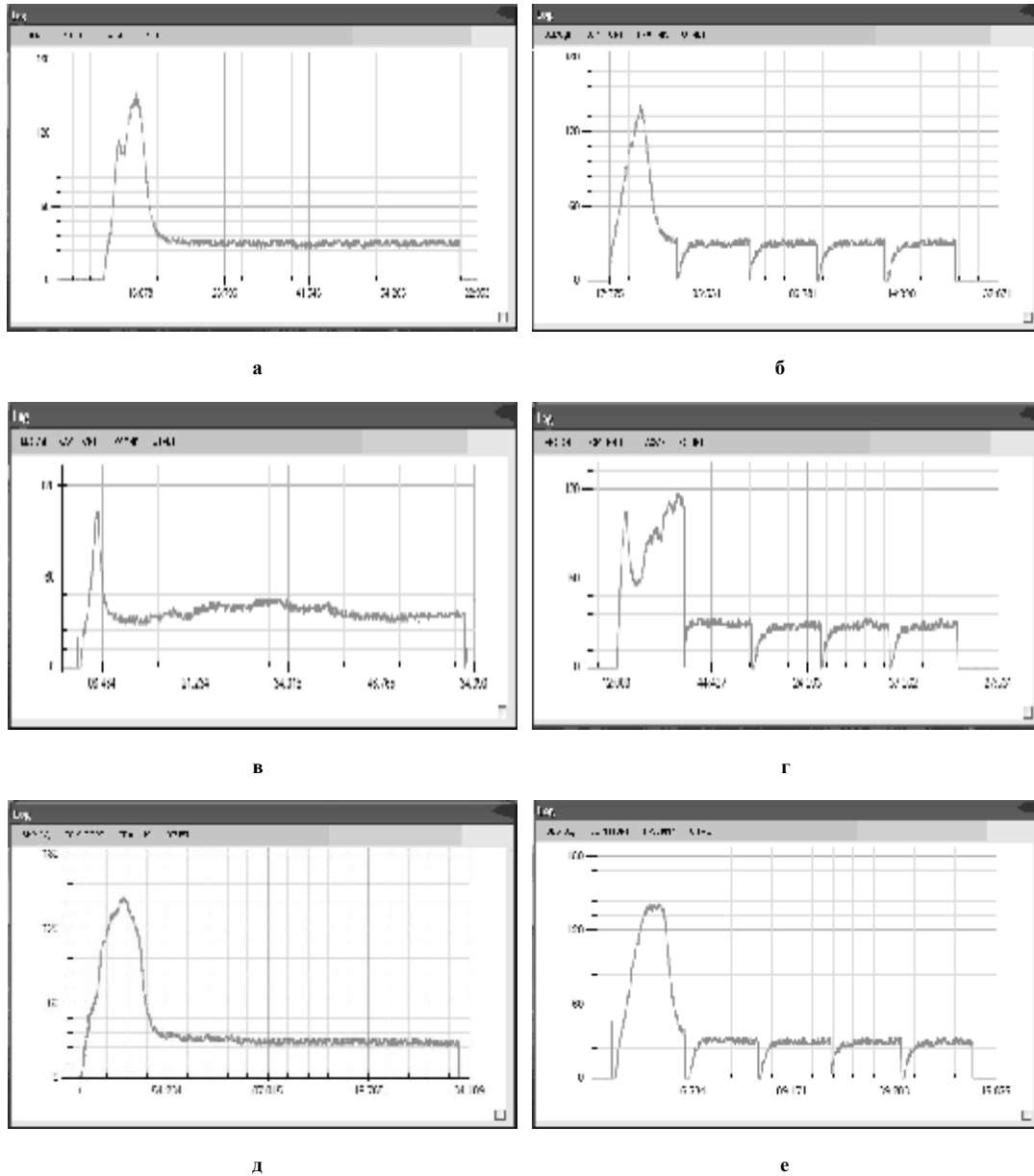


Рис. 3 – Залежність зміни моменту тертя спряжених зразків на модернізованій машині тертя СМЦ-2 при фіксованому навантаженні – 20 Н для сухого тертя (а, б) і мащення базовою моторною оливою М10Г<sub>2</sub>к (в, г) в безперервному режимі (а, в) та режимі "пуск-зупинка" (б, г) з напрацюванням

Аналіз отриманих результатів свідчить, що при сухому терті в безперервному режимі роботи трибоспряження зразків (рис. 3, а) максимальна величина моменту тертя практично не змінюється, але зі збільшенням напрацювання спостерігається тенденція до наступного збільшення його величини. В режимі "пуск-зупинка" при сухому терті (рис. 3, б) максимальний початковий момент тертя має тенденцію до зниження, порядку 10 ... 15 %, на наступних інтервалах випробувань. Причому рівень величини моментів тертя на інтервалах часу не менший від їх рівня в безперервному режимі.

При мащенні базовою оливою М10Г<sub>2</sub>к в безперервному режимі (рис. 3 в) початкове максимальне значення моменту тертя зменшується в 1,3 ... 1,7 рази, а при припрацюванні – в 3,5 ... 5,0 разів. При мащенні базовою оливою в режимі "пуск-зупинка" (рис. 3, г) на кожному з інтервалів випробувань трибоспряження зразків величина початкового моменту зменшується і через декілька періодів пік моменту тертя зникає. Характерним є те, що мінімальний рівень моменту тертя при досліджених режимах випробувань з мащенням практично однаковий, який свідчить про припрацювання зразків.

Результати досліджень закономірностей зміни моменту тертя трибоспряжень зразків "колодочка-ролик" при мащенні оливою М10Г<sub>2</sub>к з додаванням присадок Ниод-5, Roil Gold та присадки КГМТ-1, розробленої авторами [9], в безперервному режимі та режимі "пуск-зупинка" наведені на рис. 4.



**Рис. 4 – Характерні криві зміни моменту тертя в трибоспряженні зразків з напрацюванні при фіксованому навантаженні – 20 Н на модернізованій машині тертя СМЦ-2 при машинні композиційною моторною оливою на основі присадки "Нюод-5" (а, б), "Roil Gold" (в, г), "КГМТ-1" (д, е) в безперервному (а, в, д) та "пуск-зупинка" (б, г, е) режимах випробувань**

Можна бачити, що пікові початкові моменти тертя на композиційній оливі з досліджуваними присадками менші за величиною і за шириною, що свідчить про позитивний ефект від присадок вже на початковій стадії припрацювання і про його прискореність у порівнянні з результатами досліджень отриманими на базовій моторній оливі.

Порівняльний аналіз закономірностей змін моменту тертя спряжень зразків при фіксованому навантаженні, що працюють на композиційній оливі при безперервному режимі і режимі "пуск-зупинка", виявив що на досліджуваних присадках в різних режимах існує початковий пік моменту тертя (рис. 4, б, г, е) і відсутні піки в наступні періоди випробувань.

За величиною і шириною початкові піки моменту тертя відрізняються у відповідності до режимів випробувань, вмісту і типу присадок. Відмітною особливістю є ефективність дії досліджування присадок як у безперервному режимі випробувань (рис. 4, а, в, д), так і у режимі "пуск-зупинка" (рис. 4, б, в, е). В останньому режимі дещо зменшується рівень величини моменту тертя при припрацюванні.

Порівняння максимальних моментів тертя сухого, базової моторної оливи та моторною оливою з присадками дає графік максимальних моментів в режимі "пуск-зупинка" (рис. 5).

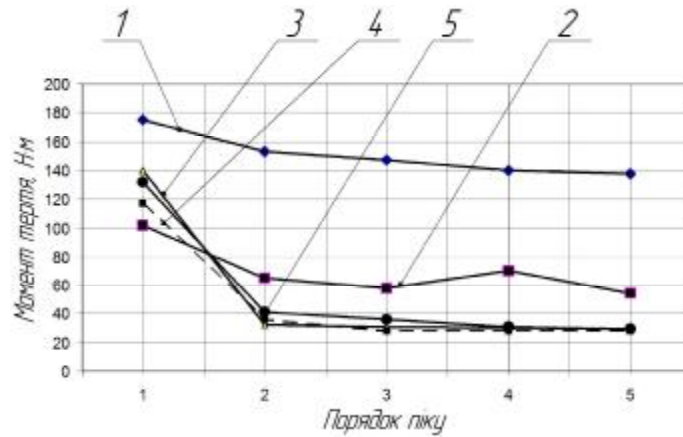


Рис. 5 – Зміна пікового моменту тертя на інтервалах випробувань в режимі "пуск-зупинка":  
 1 – сухе тертя; 2 – моторна олива M10G<sub>2</sub>K; 3 – M10G<sub>2</sub>K+Niод-5;  
 4 – M10G<sub>2</sub>K+Roil Gold; 5 – M10G<sub>2</sub>K + "КГМТ-1"

Порівняльний аналіз кривих свідчить про відмінність моменту тертя при сухому терті (рис. 5, крива 1), мащенні базовою моторною оливою (рис. 5, крива 2) та модифікованими присадками (рис. 5, криві 3 - 5). Видно, що момент тертя з базовою моторною оливою при пуску на першому інтервалі досягає меншого значення (102 Н·м) ніж з присадками Niод-5-140 Н·м, Roil Gold-117 Н·м, КГМТ-1-132 Н·м, але на другому, третьому, четвертому та п'ятому інтервалах істотно вище у порівнянні з ними. На увагу заслуговує і той факт, що запропонована дешева присадка КГМТ-1 за триботехнічними характеристиками не поступається таким присадкам як Niод-5 і Roil Gold.

Закономірності зміни моменту тертя з напрацюванням, при різних фіксованих навантаженнях, для композиційної оливи з присадкою КГМТ-1 наведено на рис. 6.

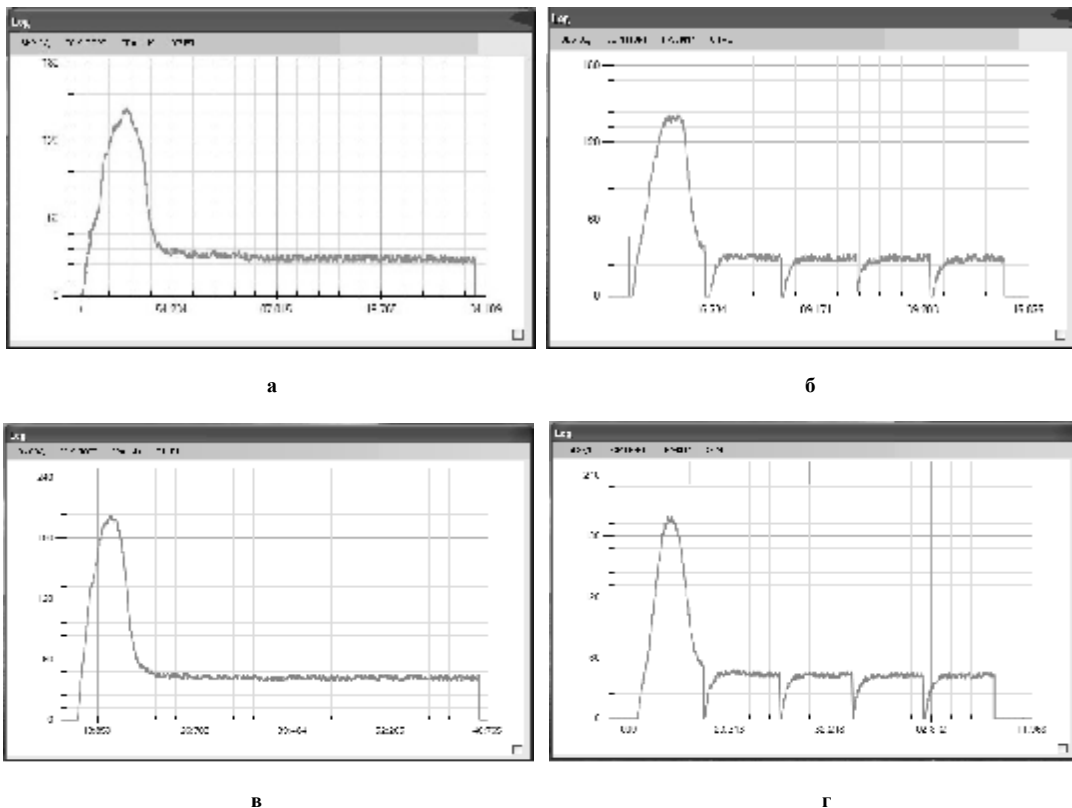
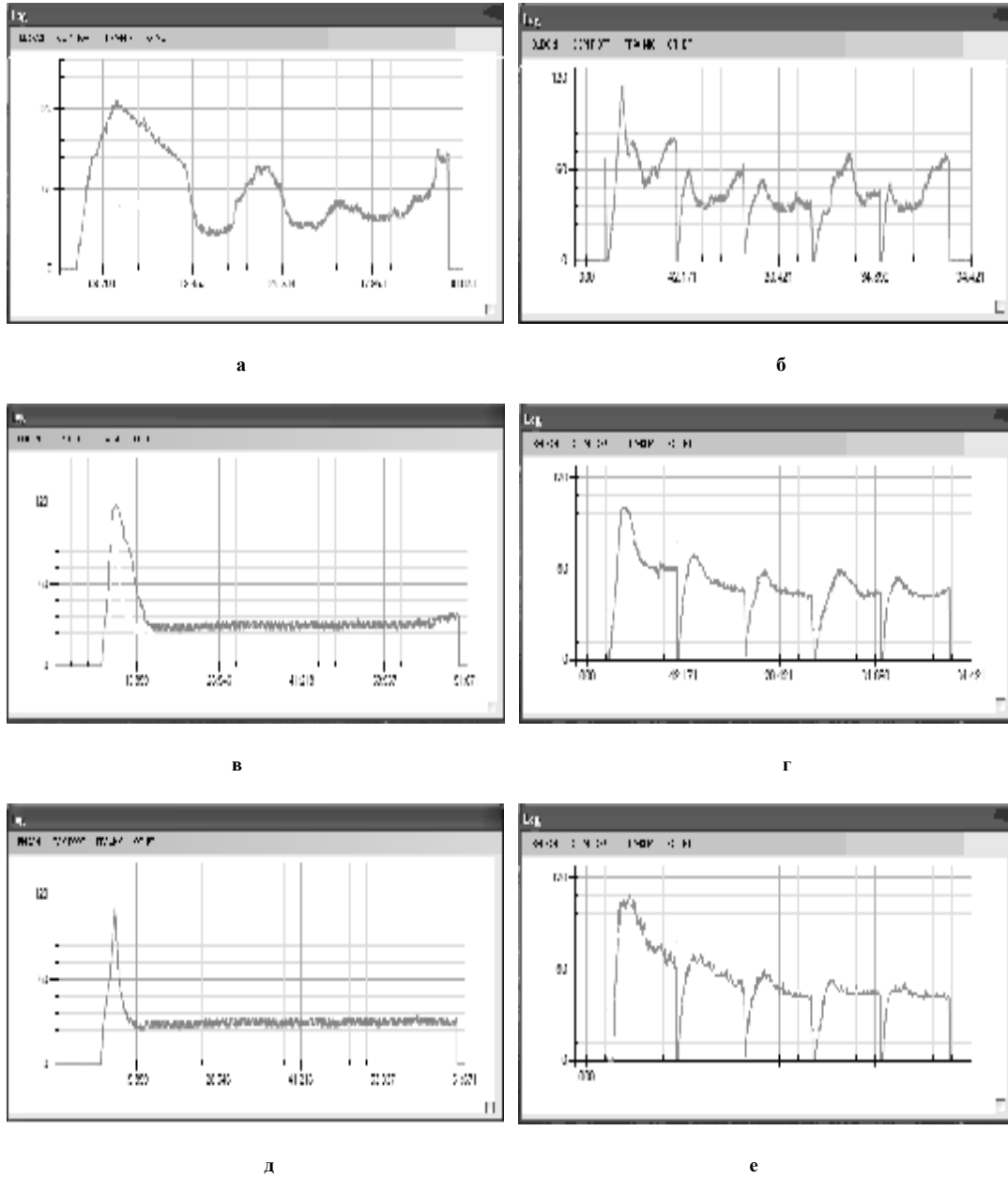


Рис. 6 – Залежність моменту тертя трибоспряжень зразків від напрацювання на композиційній оливі з присадкою "КГМТ-1" в безперервному (а, в) та режимі "пуск-зупинка" (б, г) при різних навантаженнях: 20 Н (а, б); 40 Н (в, г)

Результати досліджень показують, що при постійній концентрації вмісту присадки КГМТ-1 в композиційній оливі зі збільшенням навантаження (рис. 6 а, в) та (рис. 6 б, г) збільшується початковий пік моменту тертя, зменшується його ширина, що свідчить про прискорення припрацювання спряжених поверхонь зразків. Незначно збільшується і рівень моменту тертя в умовах припрацювання в різних режимах випробувань.

Результати дослідження на спрацьованій оливі без додавання присадок і з додаванням досліджуваних присадок в різних режимах випробувань наведено на рис. 7.



**Рис. 7 – Залежність моменту тертя спряжених зразків на спрацьованій оливі без додавання присадок (а, б) та з додаванням присадок (в, г, д, е) в безперервному режимі випробування (а, в, д) і режимі "пуск-зупинка" (б, г, е); (в, г) – моторна олива M10Г<sub>2</sub>к+Нюд-5; (д, е) - моторна олива M10Г<sub>2</sub>к+Roil Gold**

Можна бачити, що при додаванні присадки в спрацьовану моторну оливу її властивості відновлюються, оскільки триботехнічна характеристика як момент тертя зменшується, але по різній закономірності в неперервному режимі (рис. 7, в, д) та режимі "пуск-зупинка" (рис. 7 г, е). В останньому режимі є невеликі проміжні піки моменту тертя і більший рівень величини моменту тертя у порівнянні з безперервним режимом, обумовлені діями частинок зносу у спрацьованій оливі.

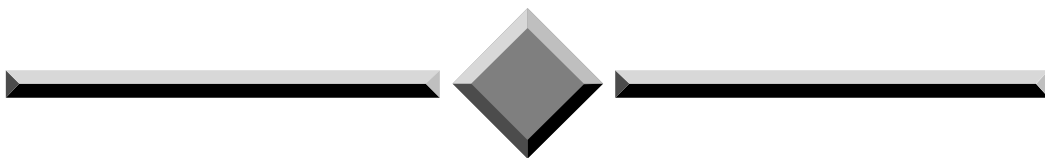
## Висновки

Проведені дослідження свідчать про позитивну зміну моменту тертя спряжених зразків які працюють в моторній оливі М10Г<sub>2</sub>к та з додаванням до неї присадок "НИОД-5", "Roil Gold" та "КГМТ-1", а також про те, що перші дві поширені присадки можна замінити на запропоновану авторами дешеву присадку.

## Література

1. Аулін В. В. Підвищення експлуатаційної надійності машин шляхом модифікування моторної оливи / В. В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. господарства. – Вип. 100. Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. – Харків. – 2010. – С. 127-133.
2. Погодаев Л.И. Влияние металлоплакирующих добавок к пластичным смазкам на работоспособность трибосопряжений / Л. И. Погодаев, В.Н. Кузьмин // Проблемы машиностроения и надежности машин, 2003. – № 1. – С. 54-66.
3. Аулін В.В. Теоретичне обґрунтування зміни режимів тертя в циліндро–поршневій групі ДВЗ / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Проблеми трибології. – 2010. – № 3 – С. 46-54
4. Пат. 69657 Україна, Припрацювальна мастильна композиція / Аулін В.В., Кузик О.В., Лисенко С.В., Слонь В.В.; заявник і патентотримувач Кіровоградський національний технічний університет. – № 69657/09; заявл. 17.10.2011; опубл. 10.05.12, Бюл. № 9.
5. Аулін В.В. Способи підвищення зносостійкості основних спряжень деталей дизеля в режимі роботи "пуск-зупинка" / В.В. Аулін, В.В. Слонь // Матеріали II міжнародної науково – технічної конференції: "Актуальні проблеми інженерної механіки", 22-24 жовтня 2012р. – Миколаїв: НУК, 2012. – С 74-76.
6. Путинцев С.В. Методика и результаты экспериментальной проверки энергосберегающих свойств моторных масел / С.В. Путинцев, А.В. Синюгин, А.А. Белов // Известия вузов. Машиностроение. – 2006. – №11. – С. 47-55.
7. Аулін В.В. Зміна технічного стану основних сполучень двигуна та моторної оливи в процесі його експлуатації / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Проблеми трибології (Problems of tribology). – 2009. – № 4 – С. 118-122.
8. Аулін В.В. Вплив режимів тертя в основних сполученнях деталей на механічні втрати в ДВЗ / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Вісник інженерної академії України. – 2011. – № 2. – С. 200-204.
9. Пат. 81598 Україна, Припрацювальна мастильна композиція / Аулін В.В., Слонь В.В., Лисенко С.В., Голуб Д.В.; заявник і патентотримувач Кіровоградський національний технічний університет. – №81598/13; заявл. 06.12.2012; опубл. 10.07.13, Бюл. № 13.

Поступила в редакцію 18.09.2013



## Проблеми трибології “Problems of Tribology”

E-mail: [tribosenator@gmail.com](mailto:tribosenator@gmail.com)

Aulin V.V., Slon V.V., Lysenko S.V. **The variation of characteristics tribotechnical conjugations diesels with their work in different modes.**

The article describes the effects of various additives to replace the friction torque coupled models "roller-block" base lubricants and motor oils compositional M10Г<sub>2</sub>к on the friction machine СМЦ-2. Studies conducted in a continuous and "start-stop" mode. We found that the addition of additives "Нюд-5", "Roil Gold", "КГМТ-1" to the motor oil M10Г<sub>2</sub>к reduced level and the peak width of the first friction torque range and lower peak friction torque test on the remaining intervals. Found that the friction factor conjugate samples and components that run on motor oil M10Г<sub>2</sub>к can be handled and worn motor oil – restore it at modifying additive.

**Keywords:** composite motor oil, diesel, additives, friction torque, friction torque limit level, working hours, an electronic unit.

## References

1. Aulin V.V, Lysenko S.V., Kuzyk O.V. Pidvyshhennia ekspluatatsiinoi nadiinosti mashyn shliahom modyfikuvannia motornoї olyvy. Visnyk Harkivskogo nac. tehn. universytetu silsk. gospodarstva. Vyp. 100. Problemy nadiinosti mashyn ta zasobiv mehanizatsii silskogospodarskogo vyrobnytstva. Harkiv. 2010.- pp.127-133.
2. Pogodaev L.I., Kuzmin V.N. Vliyanie metalloplakiruyushchikh dobavok k plastichnym smazkam na rabotosposobnost tribospyazheniy. Problemy mashinostroeniia i nadezhnosti mashin, 2003. N1. pp. 54-66.
3. Aulin V.V, Lysenko S.V., Kuzyk O.V. Teoretychni obgruntuvannia zminy rezhymiv tertia v cylindro-porshnevii grupi DVZ. Problemy trybologii (Problems of tribology). Hmelnytskyi. HNU, 2010. №3. pp. 46-54.
4. Pat. 69657 Ukraina, Prypraciuvalna mastylna kompozyciia. Aulin V.V., Kuzyk O.V., Lysenko S.V., Slon V.V.; zaiavnyk i patentostrymovach Kirovogradskiy natsionalnyy tekhnichnyy universytet. № 69657 /09; zaiavl. 17.10.2011; opubl. 10.05.12, Biul. № 9.
5. Aulin V.V., Slon V.V. Sposoby pidvyshhennia znosostiikosti osnovnyh spriazhen detalei dyzelia v rezhymi roboty "pusk-zupyuka". Materialy II mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii: "Aktualni problemy inzhenernoi mehaniky", 22-24 zhovtnia 2012r. Mykolaiv: NUK, 2012. pp. 74-76.
6. Putintsev S.V., Siniugin A.V., Belov A.A. Metodika i rezultaty eksperimentalnoy proverki energosberegaiushchih svoystv motornyh masel. Izvestiia vuzov. Mashinostroenie. 2006. №11. pp. 47-55.
7. Aulin V.V, Lysenko S.V., Kuzyk O.V. Zmina tekhnichnogo stanu osnovnyh spoluchen dvyguna ta motornoї olyvy v protsesi yogo ekspluatatsii. Problemy trybologii (Problems of tribology). Hmelnytskyi. HNU, 2009. №4 pp. 118-122.
8. Aulin V.V, Lysenko S.V., Kuzyk O.V. Vplyv rezhymiv tertia v osnovnyh spoluchenniakh detalei na mehanichni vtraty v DVZ. Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy. 2011. №2. pp. 200-204.
9. Pat. 81598 Ukraina, Prypratsiuvalna mastylna kompozyciia. Aulin V.V., Slon V.V., Lysenko S.V., Golub D.V.; zaiavnyk i patentostrymovach Kirovogradskiy natsionalnyy tekhnichnyy universytet. №81598/13; zaiavl. 06.12.2012 ; opubl. 10.07.13, Biul. № 13.