Венцель Є.С., Криворотько В.М., Голубов А.С.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАННЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ ПАР ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ДИЗЕЛЬНИХ АГРЕГАТІВ

Зниження зносу паливної апаратури дизелів будівельно-дорожніх машин, автомобілів, тракторів тощо, може бути досягнуто шляхом введення в дизельне паливо кондиціонера «Techni-lube», який згідно рекламних проспектів здібний знизити знос пар, що труться. Результати стендових випробувань паливної системи тракторного дизеля СМД-60 показали, що введення кондиціонера «Techni-lube» в паливо дозволяє знизити знос елементів паливної апаратури в середньому в 1,62 рази. При цьому вміст заліза в паливі при застосуванні кондиціонера зменшився в 1,38 рази порівняно зі звичайним паливом. Все це свідчить про перспективність використання цього методу підвищення зносостійкості паливної апаратури дизелів.

Ключові слова: дизельне паливо, паливний насос високого тиску, кондиціонер «Techni-lube», форсунки, нагнітальний клапан, знос, кондиціонер.

Актуальність дослідження. Значна частина всіх відмов будівельно-дорожніх машин, автомобілів, тракторів тощо зв'язана з несправностями двигунів. При цьому до 95% приходить на пари тертя паливної апаратури. [1–3 та інш.]

Одним з основних та найбільш складних елементів паливної системи дизелів є паливний насос високого тиску (ПНВТ), який повинен забезпечити точне дозування палива в залежності від режимів роботи дизелю. ПНВТ відносяться до насосів плунжерного типу, в якому зазор між плунжерами та втулками знаходиться на рівні 0,5–2,0 мкм. Це пред'являє високі вимоги до протизношувальних властивостей дизельного палива, які в свою чергу залежать від чистоти та наявності в паливі забруднень будь-якого походження. При поганих протизношувальних властивостях палива здійснюється інтенсивний знос плунжерних пар, (рис. 1) що викликає зменшення циклової подачі за рахунок перетікання палива через зазор між плунжером та втулкою, а також нерівномірність подачі його по циліндрах.

Рис. 1. Зони локального зношення плунжерних пар ПНВТ рядного типу

Від протизношувальних властивостей палива також залежить якість роботи нагнітального клапану та розпилювання палива через сопла форсунок.

Таким чином, підвищений знос вказаних вище елементів паливної апаратури негативно впливає на міцності та економічні показники роботи дизелів.

В теперішній час, крім звичайного очищення палива від частинок забруднень, не використовуються майже ніяких мір для покращення його протизношувальних властивостей. Є окремі відомості про можливість вирішення цієї задачі шляхом штучного диспергування забруднень в паливі [3], але при відносно непоганих результатах використання відповідних засобів, що реалізують цей процес, потребується суттєве втручання в паливну систему та її дорожчання.

В теперішній час з'явилися відомості про різні присадки, при введенні яких в невеликих концентраціях у паливо покращуються протизношувальні властивості останнього. Але на жаль, до цього часу в літературі не наведені результати їх випробувань, що стримує можливість використання цих присадок в експлуатації.

Постановка проблеми. В теперішній час з літератури відомо декілька присадок для покращення експлуатаційних властивостей дизельного палива. Це по-перше, розроблений і виготовлений на АТ «Автоконінвест» «Універсальний модифікатор» [4]. Це протизношувальний препарат, властивості якого

засновані на особливостях фторовмісних ПАР (фтор-ПАР). Основу фтор-ПАР складає політетрафторетилен, який має низький коефіцієнт тертя і витримує високі температури.

Присадки групи реметалізаторів відновлюють зношені поверхні [4–6].

До цієї групи належать речовини, в яких містяться з'єднання м'яких металів або їхні іони, наприклад, композиції «мідь-свинець-срібло», «мідь-олово-срібло».

Металоплакуюча змащувальна композиція «Ресурс Дизель» – це реметалізатор з пористою структурою покриття, яка включає пористий або канальчатий хром [6].

Корпорація ХАДО займається розробкою і впровадженням методів ремонтно-відновної технології [7]. Склад ХАДО – дрібнодисперсна багатокомпонентна суміш мінералів з різними добавками і каталізаторами, яку пропонують додавати до моторних олів. Суть технології полягає в тому, що при обробці добавками ХАДО на поверхнях деталей утворюється шар металокерамічного покриття, який дозволяє запобігти зносу і відновити механізм, що знаходиться в експлуатації.

Є ще багато інших присадок, які по-перше, призначені для моторних олів, а по-друге, всі вони недосліджені в повній мірі і в першу чергу, невідомі механізми їх впливу на протизношувальні властивості олів.

Найбільш досліджуваною присадкою є кондиціонер «Techni-lube», який призначений безпосередньо для дизельного палива та здібний суттєво покращити його протизношувальні властивості. Це знайшло своє підтвердження в процесі лабораторних випробувань на машинах тертя, результати яких наведено в [8, 9]. Але до цього часу невідомі кількісні характеристики протизношувального впливу кондиціонера «Techni-lube» безпосередньо при використанні його в реальній паливній системі дизелів.

Мета роботи – визначення доцільності використання та кількісних характеристик зменшення зносу елементів паливної апаратури дизелів при використанні палива з кондиціонером «Techni-lube».

Рішення проблеми. Дослідження протизношувальних властивостей дизельного палива проводились на лабораторному стенді (рис. 2), який в повній мірі імітує роботу паливної системи дизеля.

В стенді використовувався чотирьохплунжерний ПНВТ рядного типу марки ЛСТНМ-410010 лівого виконання, який встановлюється на двигунах СМД-60. За допомогою клинопасової передачі 2 вал ТНВД з'єднувався з електродвигуном 3 потужністю 1,5 кВт з частотою обертання 950 хв^{-1} . При цьому передаточне відношення пасової передачі складало близько одиниці, що максимально відповідало реальним умовам експлуатації насоса вищезазначеного двигуна близько до номінального режиму роботи ($850\text{--}950 \text{ хв}^{-1}$) [11].

Принцип роботи стенда наступний. Паливо з бака 4 подається до ПНВТ 1 за допомогою паливопідкачуючого насоса 5 через фільтр 6 грубого очищення. З ПНВТ паливо поступає через трубопроводи у форсунки ФД-22 двигуна СМД-60.

Перед початком випробувань форсунки на лабораторному стенді були відрегульовані на тиск спрацьовування 17,5 МПа, що в повній мірі відповідає реальним умовам експлуатації. Після проходження форсунок паливо верталось до баку 4, тобто випробування проводилися в замкнутому режимі при обмеженій кількості палива.

Випробування проводилися у два етапи. На першому етапі паливна апаратура працювала на товарному паливі без кондиціонера, а на другому етапі в нову порцію палива було додано кондиціонер «Techni-lube» в концентрації 0,12%, що у відповідності до результатів досліджень [9] забезпечує найкращі антифрикційні та протизношувальні властивості палива.

Використання у випробуваннях чотирисекційного ПНВТ типу ЛСТНМ обґрунтовується прагненням скоротити час випробувань та за рахунок наявності чотирьох секцій отримати максимально можливу достовірність результатів.

При проведенні випробувань критерієм для оцінки протизношувальних властивостей дизельного палива була втрата маси парами тертя елементів паливної апаратури за час випробувань (плунжери та нагнітальні клапани ПНВТ, а також голки форсунок) з використанням ваг ВЛР-200г-М з точністю зважування $\pm 0,0001 \text{ г}$.

Перед початком випробувань та після їх закінчення проводилася перевірка щільності плунжерних пар насоса сумішню дизельного палива ДСТУ 3868-99 та індустриальної оливи І-20А ГОСТ 20799-75, в'язкість якої при температурі 20°C складає $10 \text{ мм}^2/\text{с}$.

Випробування проводилися при герметично закритому отворі втулки з боку ущільнюючого торця і навантаженні плунжера до утворення тиску суміші 20 МПа. При випробуваннях поводити плунжера був повернутий на кут 35° відносно осі відсічних отворів, і суміш витіснялася з пари через кільцевий зазор між плунжером і втулкою.

За часом повного опускання плунжера, тобто повного витoku палива із пари, робився висновок про її щільність (згідно правил випробувань [11] час переміщення плунжера $t_{\text{пл}}$ до повного витoku суміші повинен скласти 15–70 с і пари по щільності поділяються на три групи: I – $t_{\text{пл}}=15\text{--}35 \text{ с}$, II – $t_{\text{пл}}=35\text{--}50 \text{ с}$ і III – $t_{\text{пл}}=50\text{--}70 \text{ с}$.

З метою скорочення часу стендових випробувань використовувалися більш напружені режими роботи паливної апаратури, ніж при нормальній експлуатації. При цьому основними задачами форсованих випробувань [12] було:

- вибір виду випробувань;
- визначення виду руйнування;
- вибір режиму навантаження та методів форсування;
- статистичне планування досліджень;
- вибір методу контролю зносу.

У нашому випадку випробування – стендові, вид руйнування – зношування, а навантаження плунжерних пар, нагнітального клапану та голок форсунок близький до реального.

Форсування цих випробувань проводилося шляхом усунення з паливної системи стенду фільтра, що давало змогу інтенсифікувати зношування, бо всі частинки забруднення палива (у тому числі, й зносу) циркулювали по системі.

1 – паливний насос високого тиску; 2 – клинопасова передача; 3 – електродвигун; 4 – паливний бак;
5 – паливопідкачуючий насос; 6 – сітчастий фільтр грубого очищення; 7 – форсунки

Рис.2. Принципова схема стенда для випробування на зношення елементів паливної апаратури дизельних двигунів при роботі на товарному паливі

Середнє напрацювання з урахуванням форсування, яке б відповідало фактичному строку служби елементів паливної апаратури можна визначити за виразом [13]

$$T_{\phi} = \frac{T_n}{\delta_m}, \quad (1)$$

де T_n – середнє напрацювання при нормальному режимі експлуатації;

δ_m – коефіцієнт прискорення випробувань.

Цей коефіцієнт показує, у скільки разів можна скоротити тривалість випробувань відносно номінального терміну служби системи, що досліджується, до першого її технічного обслуговування. Він визначається з рівняння [14]:

$$\delta_m = \left(\frac{Z_0}{(1-p)N} \right)^{Z_0} \cdot \left(\frac{N-Z_0}{pN} \right)^{N-Z_0}, \quad (2)$$

де Z_0 – кількість елементів в системі, які підлягають випробуванню;

N – загальна кількість елементів в системі;

p – надійність елементів системи.

У вищенаведеному стенді випробуванню підлягали три елементи (плунжер і клапан ТНВД, а також голка форсунки) і оскільки насос чотирьохсекційний, то можна вважати, що для випробувань використовувалося по чотири зразки кожного з елементів, тобто загальна їхня кількість N склала 12. Для спрощення розрахунків припустимо прийняти надійність всіх елементів системи p однаковою. У практиці загального машинобудування як значення вірогідності безвідмовної роботи в разі відсутності статистичних даних пропонується приймати значення 0,9.

Після обчислення виразу (2) було одержано, що випробування можливо скоротити приблизно у 3,0 рази. Приймавши до уваги, що нормативний термін служби паливної апаратури тракторного дизеля СМД-60, яка використана у стенді, до першої перевірки її технічного стану зі зніманням з двигуна складає 960 годин [11], то час випробувань згідно з (2) повинен скласти не більше 320 годин.

Оскільки стенд уже був обкатаний і дослідження такого типу на ньому вже проводилися на протязі 150 годин і за цей час було отримано знос, який був відчутний [12], було прийнято рішення зробити вимірювання досліджуваних зразків також після 150 годин роботи елементів стенда.

Використання для випробувань чотирьох зразків кожного досліджуваного елемента дозволило отримати результати з відносною похибкою не більше 25% при довірчій вірогідності 0,9 [12]. Використання

чотирьохплунжерного ПНВТ і чотирьох форсунок дозволило провести дослідження одразу відповідної кількості зразків кожного елементу.

Результати зважування елементів пар тертя паливної апаратури на аналітичних вагах після випробувань (табл.1) показали, що при роботі на паливі з кондиціонером «Techni-lube» порівняно з товарним паливом зношення плунжерів зменшується у середньому в 1,62 рази, нагнітальних клапанів – у середньому у 2,4 рази, голок форсунок – у середньому у 2,23 рази, тобто за результатами зважування знос елементів паливної апаратури в середньому зменшився приблизно в 2,0 рази. При цьому середнє значення швидкості зношення всіх елементів паливної апаратури при роботі її на звичайному паливі склала $2,87 \cdot 10^{-4}$ г/год, а при введенні в нього кондиціонера «Techni-lube» – $1,72 \cdot 10^{-4}$ г/год, тобто в 1,67 рази менше.

Результатами вимірювання щільності плунжерних пар ПНВТ до випробувань показали, що вони належали до III-ї групи [11] (в середньому $t_{пл}=62$ с), а після випробувань на звичайному паливі дві пари за щільністю належали до I-ї групи ($t_{пл}$ становила 16 с та 18 с), а дві пари вийшли за допустимі межі часу витoku ($t_{пл}$ становив менше 15 с). Після випробувань на паливі з кондиціонером було встановлено, що всі пари належать до II-ї групи (середнє значення $t_{пл}$ склало 42 с).

Таблиця 1

Знос елементів паливної апаратури тракторного дизеля СМД-60

Стан дизельного палива	Знос, г $\times 10^{-4}$		
	Плунжер	Нагнітальний клапан	Голка форсунки
Товарне	388,3	35,34	6,28
Товарне з кондиціонером «Techni-lube»	239,7	14,75	2,81

Примітка: в таблиці наведені усереднені дані за чотирма зразками кожного елемента.

Таким чином, перевірка щільності плунжерних пар дала можливість додатково підтвердити зменшення їх зносу і показала, що при роботі на паливі з кондиціонером процес погіршення робочих характеристик плунжерної пари протікає з меншою швидкістю, ніж при роботі на паливі без кондиціонера. Крім того, також ще можна зробити висновок щодо подальшої працездатності всіх плунжерних пар через 150 годин форсованих випробувань на паливі з кондиціонером, що неможна сказати про ті плунжерні пари, які працювали та змащувались товарним паливом.

Дослідження на спектральній установці МФС-5 показали, (рис. 3), що в процесі проведення випробувань в паливі з кондиціонером накопичується значно менша кількість заліза, що входить до складу сталі ШХ15, з якої виготовлені деталі паливної апаратури. При цьому наприкінці випробувань вміст заліза в паливі при застосуванні «Techni-lube» був у 1,38 рази менше порівняно з звичайним паливом.

Рис. 3. Вміст заліза Fe в дизельному паливі при роботі стенда

Висновки. 1. Покращення протизношувальних властивостей дизельного палива за допомогою кондиціонера «Techni-lube» дозволяє суттєво (в 1,67 разів) зменшити швидкість зношування елементів тертя паливної апаратури дизелів та зменшити вміст заліза в паливі при застосуванні кондиціонера (у 1,38 рази) порівняно з звичайним паливом. 2. Подальші дослідження доцільно проводити в напрямку визначення екологічних показників випускних газів при використанні дизельного палива з кондиціонером «Techni-lube».

Література

1. Повышение надежности дизельной топливной аппаратуры: сб. научн. трудов. – Саратов: Саратовский сельскохозяйственный институт, 1977. – 108 с.
2. Григорьев М.А. Очистка топлива в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Григорьев, Г.В. Борисова. – М.: Машиностроение, 1991. – 200 с.
3. Венцель Є.С. Підвищення протизношувальних властивостей дизельного палива гідродинамічним диспергуванням / Є.С. Венцель, С.Г. Жалкін, А.М. Кравець, С.А. Садієв // Підвищення ефективності технології і техніки для виконання вантажно-розвантажувальних, будівельних та колійних робіт на залізничному транспорті. – Харків, УкрДАЗТ, 2002. – Вип. 50. – С. 88–94.
4. Офіційний сайт автомобільного журналу «За рулем». – Режим доступу: <http://www.zr.ru>.
5. Офіційний сайт компанії AGA. – Режим доступу: <http://www.agah.ru>
6. Офіційний сайт компанії НПК ВМП АВТО. – Режим доступу: <http://www.smazka.ru>
7. ХАДО. Часто задаваемые вопросы. Рекламно-информационный проспект – ХАДО, 2003. – 32 с.
8. О влиянии концентрации присадки в смазочном материале на интенсивность изнашивания трибоузла / Голубов А.С., Венцель Е.С., Березняков А.И., Кривоотко В.М. // Проблемы трибологии. – 2009. – №2. – С.16-18.
9. Голубов О.С. Покращення протизношувальних властивостей дизельного палива кондиціонером Techni-lube / Кривоотко В.М. // Проблемы трибологии. – 2009. – №3. – С.59-61.
10. Венцель Є.С. Кондиціювання протизношувальних властивостей дизельного палива присадкою Techni-lube / Є.С. Венцель, В.М. Кривоотко, О.І. Голубов // Тези міжнародної науково-практичної конференції «Ольвійський форум – 2009 : стратегія України в геополітичному промторі». – 2009. – Том 4. – С.77–78.
11. Топливная аппаратура тракторных и комбайновых дизелей : справочник. – М.: Машиностроение, 1981. – 208 с.
12. Венцель Є.С. Підвищення зносостійкості паливної апаратури дизелів // Є.С. Венцель, А.М. Кравець, В.Л. Храбрих. – Харків, УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 56. – С. 36-40.
13. Загородских Б.П. Для повышения качества топливной аппаратуры дизелей / Б.П. Загородских // Двигателестроение. – 1987. – №3. – С. 6–7.
14. Надежность технических систем : справочник / под ред. проф. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.

References

1. Povyshenie nadezhnosti dizelnoj toplivnoj apparatury: sb. nauchn. trudov. – Saratov: Saratovskij selskohozyajstvennyj institut, 1977. – 108 s.
2. Grigorev M.A. Ochistka topliva v dvigatelyah vnutrennego sgoraniya / M.A. Grigorev, G.V. Borisova. – M.: Mashinostroenie, 1991. – 200 s.
3. Vencel Ye.S. Pidvishennya protiznoshuvalniy vlastivostej dizelnogo paliva gidrodynamicnim dispergiruvannyam / Ye.S. Vencel, S.G. Zhalkin, A.M. Kravec, S.A. Sadiyev // Pidvishennya effektivnosti tehnologiyi i tehniki dlya vikonannya vantazhno-rozvantazhuvalnih, budivelnih ta kolijnih robot na zaliznichnomu transporti. – Harkiv, UkrDAZT, 2002. – Vip. 50. – S. 88–94.
4. Oficijnij saj avtomobilnogo zhurnalu «Za rulem». – Rezhim dostupu: <http://www.zr.ru>.
5. Oficijnij sajt kompanii AGA. – Rezhim dostupu: <http://www.agah.ru>
6. Oficijnij sajt kompanii NPK VMP AVTO. – Rezhim dostupu: <http://www.smazka.ru>
7. HADO. Chasto zadavaemye voprosy. Reklamno-informacionnyj prospekt – HADO, 2003. – 32 s.
8. O vliyani koncentracii prisadki v smazochnom materiale na intensivnost iznashivaniya tribouzla / Golubov A.S., Venuel E.S., Berezhnyakov A.I., Krivootko V.M. // Problemi tribologiyi. – 2009. – №2. – S.16-18.
9. Golubov O.S. Pokrashennya protiznoshuvalniy vlastivostej dizelnogo paliva kondicionerom Techni-lube / Krivorotko V.M. // Problemi tribologiyi. – 2009. – №3. – S.59-61.
10. Vencel Ye.S. Kondiciyuvannya protiznoshuvalniy vlastivostej dizelnogo paliva prisadkoyu Techni-lube / Ye.S. Vencel, V.M. Krivorotko, O.I. Golubov // Tezi mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferenciyi «Olvijskij forum – 2009 : strategiya Ukraini v geopolitichnomu promtori». – 2009. – Tom 4. – S.77–78.
11. Toplivnaya apparatura traktornyh i kombajnovykh dizeliv : spravochnik. – M.: Mashinostroenie, 1981. – 208 s.
12. Vencel Ye.S. Pidvishennya znosostijkosti palivnoyi aparaturi dizeliv // Ye.S. Vencel, A.M. Kravec, V.L. Hrabrih. – Harkiv, UkrDAZT, 2004. – Vip. 56. – S. 36-40.
13. Zagorodskih B.P. Dlya povysheniya kachestva toplivnoj apparatury dizelej / B.P. Zagorodskih // Dvigatelsestroenie. – 1987. – №3. – S. 6–7.
14. Nadezhnost tehicheskikh sistem : spravochnik / pod red. prof. I.A. Ushakova. – M.: Radio i svyaz, 1985. – 608 s.

Снижение износа топливной аппаратуры дизелей строительно-дорожных машин, автомобилей, тракторов и т.д., может быть достигнуто путем введения в дизельное топливо кондиционера «Techni-lube», который согласно рекламных проспектов способен снизить износ трущихся пар. Результаты стендовых испытаний топливной системы тракторного дизеля СМД-60 показали, что введение кондиционера «Techni-lube» в топливо позволяет снизить износ элементов топливной аппаратуры в среднем в 1,62 раза. При этом содержание железа в топливе при применении кондиционера уменьшился в 1,38 раза по сравнению с обычным топливом. Все это свидетельствует о перспективности использования этого метода повышения износостойкости топливной аппаратуры дизелей.

Ключевые слова: дизельное топливо, топливный насос высокого давления, кондиционер «Techni-lube», форсунки, нагнетательный клапан, износ, кондиционер.

Reducing the wear of the fuel equipment of diesel engines of road-building machines, automobiles, tractors, etc., can be achieved by introducing a Techni-lube conditioner into diesel fuel, which, according to advertising leaflets, can reduce the wear of rubbing steam. The results of bench tests of the fuel system of the SMD-60 tractor diesel engine showed that the introduction of the Techni-lube air conditioner into the fuel allows reducing the wear of fuel equipment elements by an average of 1.62 times. In this case, the iron content in the fuel when using the air conditioner decreased by 1.38 times compared with conventional fuel. All this indicates the prospects of using this method to increase the wear resistance of diesel fuel equipment.

Key words: diesel fuel, high-pressure fuel pump, Techni-lube conditioner, nozzles, discharge valve, wear, air conditioning.

Венцель Е.С., Украина, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, кафедра Строительных и дорожных машин им. А.М. Холодова, профессор, д. т. н.

e-mail: 7051956@bigmir.net

Криворотько В.М., Украина, Национальный авиационный университет, кафедра дизайна интерьера, доцент, к.т.н.

e-mail: krivorotko1954@gmail.com

Голубов А.С., Украина, Национальный авиационный университет, кафедра дизайна интерьера, доцент, к.т.н.

e-mail: golubovalexander@gmail.com