

УДК 631.3.004.53

НАУКОВІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ВІДНОВЛЮЮЧИХ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПРОТИЗНОСНИХ ДОБАВОК ДО ПАЛИВНО- МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

П.М. ФАСТОВЕЦЬ, к.т.н., с.н.с., пров. наук. співр., E-mail: remdetal_fp@ukr.net; тел. +38 066-592-61-37 – Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

РЕЗЮМЕ

Мета. Поглиблення знань процесу відновлення параметрів технічного стану дизелів під час їх технічного обслуговування із застосуванням відновлюючих антифрикційних протизносних добавок (ВАФП) до паливно-мастильних матеріалів.

Методи. Для розроблення графічних інтерпретацій і блок-схеми експлуатаційного циклу дизельного двигуна із застосуванням ВАФП у системі його технічного обслуговування і ремонту та для означення характерних параметрів цього процесу застосовувався індуктивний метод на базі вже відомих результатів стендових і експлуатаційних випробувань. Для розроблення математичних моделей зміни параметрів технічного стану (ПТС) дизелів застосовувався дедуктивний метод з елементами теорії експлуатаційної надійності машин і теорії тертя та зношування.

Результати. Змодельовано процес експлуатаційного відновлення ПТС дизельних двигунів із застосуванням відновлюючих антифрикційних протизносних добавок до паливно-мастильних матеріалів та означено характерні параметри цього процесу.

Висновок. Процес експлуатаційного відновлення ПТС дизельних двигунів із застосуванням ВАФП можна описати за допомогою 22 характерних параметрів: 7 параметрів часу (наробітку), 10 характерних точок ПТС дизеля і 5 параметрів функціональних залежностей ПТС дизеля. Дев'ять характерних параметрів потребують додаткових експериментальних підтверджень, п'ять параметрів – експериментального встановлення, два параметри – експериментального уточнення і шість параметрів уже відомі з достатньою достовірністю.

Ключові слова: дизелі, параметри технічного стану, ресурс, відновлюючі антифрикційні протизносні добавки (ВАФП), процес відновлення, моделювання.

UDC 631.3.004.53

THE SCIENTIFIC ASPECTS OF APPLICATION OF THE REGENERATIVE ANTI-FRICTION ANTI-WEAR ADDITIVES TO FUELS AND TO LUBRICANTS

P. FASTOVETS, PhD, Senior Researcher, Leading Researcher, E-mail: remdetal_fp@ukr.net; tel. +38 066-592-61-37 – National Scientific Center «Institute for Agricultural Engineering and Electrification»

SUMMARY

The purpose. The improved knowledge of the process of recovery of the parameters of technical condition of diesel engines during his maintenance and repair using of the regenerative anti-friction anti-wear additives (RAFAWA) to fuel and to lubricants.

Methods. For the development of the graphical interpretations and of the flowchart of operational cycle of a diesel engine using of RAFAWA in system of his maintenance and repair and for the determine of the characteristic parameters of this process the inductive method was applied using the known results

of bench and operational testing. For the development of mathematical models of changing parameters of technical condition (PTC) of diesel engine used the deductive method with the use of the elements of theory of operational reliability of machines and the theory of friction and of wear.

Results. Process of operational recovery of the parameters of technical condition of diesel engines with the use of regenerative anti-friction anti-wear additives to fuels and to lubricants was modelled and the characteristic parameters of this process are defined.

Conclusions. The process of operational recovery of the PTC of diesel engines using the

RAFAWA can be described using 22 specific settings: 7-time options (work), 10 characteristic points of PTC of diesel and 5 parameters of functional dependencies of the PTC of a diesel engine. Nine specific options require of additional experimental evidence, five parameters – of experimental determination, two

parameters – of experimental qualification and six parameters are known with reasonable certainty.

Key words: diesel, the technical state parameters, useful life, the regenerative anti-friction anti-wear additives (RAFAWA), the process of recovery, modelling.

УДК 631.3.004.53

НАУЧНЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ ДОБАВОК К ТОПЛИВО-СМАЗОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ

П.Н. ФАСТОВЕЦ, к.т.н., с.н.с., вед. науч. сотр., E-mail: remdetal_fr@ukr.net; тел. +38 066-592-61-37 – Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

РЕЗЮМЕ

Цель. Углубление знаний о процессе восстановления параметров технического состояния дизелей во время их технического обслуживания и ремонта с использованием восстанавливающих антифрикционных противоизносных добавок (ВАФП) к топливо-смазочным материалам.

Методы. Для разработки графических интерпретаций и блок-схемы эксплуатационного цикла дизельного двигателя с применением ВАФП в системе его технического обслуживания и ремонта и для определения характерных параметров этого процесса применялся индуктивный метод с использованием уже известных результатов стендовых и эксплуатационных испытаний. Для разработки математических моделей изменения параметров технического состояния (ПТС) дизелей применялся дедуктивный метод с использованием элементов теории эксплуатационной надежности машин и теории трения и изнашивания.

Результаты. Смоделирован процесс эксплуатационного восстановления параметров техничес-

кого состояния дизельных двигателей с применением восстанавливающих антифрикционных противоизносных добавок к топливо-смазочным материалам и определены характерные параметры этого процесса.

Вывод. Процесс эксплуатационного восстановления ПТС дизельных двигателей с помощью ВАФП можно описать с помощью 22 характерных параметров: 7 параметров времени (наработки), 10 характерных точек ПТС дизеля и 5 параметров функциональных зависимостей ПТС дизеля. Девять характерных параметров требуют дополнительных экспериментальных доказательств, пять параметров – экспериментального определения, два параметра – экспериментального уточнения и шесть параметров уже известны с достаточной достоверностью.

Ключевые слова: дизеля, параметры технического состояния, ресурс, восстанавливающие антифрикционные противоизносные добавки (ВАФП), процесс восстановления, моделирование.

ПРОБЛЕМА

Забезпечення експлуатаційної надійності техніки у АПВ залишається однією з важливих умов її високопродуктивного використання [1, 2]. З появою і розповсюдженням дрібнодисперсних, а згодом наноструктурованих, матеріалів виникла потреба у дослідженнях впливу цих матеріалів на підвищення довговічності і ремонтпридатності машин. Такі дослідження були започатковані у РРФСР у вісімдесятих роках ХХ століття: спочатку з'явилися металоплакуючі препара-

ти [3], які потім отримали розвиток [4, 5], і геомодифікатори тертя [6 – 8] (РВС-технологія [9]). Згодом з'явилися препарати із вуглецевими нанотрубками [10] і наноалмазами [11], кондиціонери металів [12, 13], епіламіні [14] та полімероплакуючі [15, 16] нанопрепарати. Було встановлено, що використання відновлюючих наноструктурованих матеріалів є, у багатьох випадках, ефективним способом підвищення довговічності вузлів і агрегатів машин за рахунок утворення на поверхнях деталей із сталі, чавуну, кольорових металів і їх сплавів плівок й покриттів з

кращими антикорозійними, гідрофобними, зносостійкими та антифрикційними властивостями. Проте ефективність даного способу обґрунтовують, здебільшого, позитивними результатами випробувань пар тертя на машинах тертя, тоді як в умовах стендових випробувань та виробничої експлуатації вузлів і агрегатів машин результати не завжди позитивні і у цьому полягає проблема. Одна із причин – це більша кількість змінних факторів і ширші межі їх варіювання у виробничій експлуатації порівняно із лабораторними випробуваннями. Відповідно актуальною задачею є створення наукових засад ефективного застосування відновлюючих антифрикційних протизносних добавок до паливно-мастильних матеріалів (ВАФП) у виробничій експлуатації машин.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Наукові засади ефективного застосування ВАФП повинні включати їх класифікацію, модель або інтерпретацію процесу застосування ВАФП, означення параметрів цього процесу і закономірності їх зміни, методу оцінювання ефективності ВАФП.

Уже вдосконалено класифікацію наноструктурованих матеріалів для інженерії поверхні деталей машин і, зокрема, класифікацію ВАФП [17]. ВАФП за своїм призначенням і властивостями віднесені до класу функціональних наноматеріалів і, у свою чергу, класифіковані за видом поверхнево-активних речовин (ПАР), за способом попадання до поверхонь тертя і за фізичною дією наноконпонентів. За останньою ознакою ВАФП поділяють на шаруваті модифікатори, препарати для припрацювання на основі нанодіамантів, кондиціонери металів, рекондиціонери, епілами, реметалізанти, полімероплакуючі суміші і геомодифікатори тертя (ревіталізанти). Найчисельнішу групу, завдяки розробленню РВС-технології, складають геомодифікатори тертя.

Ефективне застосування металоплакуючих препаратів (реметалізанти) на основі наночастинок кольорових металів у якості добавки до моторної оливи М-10-Г2 досліджував Олександров В.О. [5]. Він розробив математичну модель процесу тертя деталей за

наявності у мащенні таких добавок, провів експериментальні дослідження зносостійкості пар тертя, які імітували роботу спряжень «поршневе кільце-гільза циліндра» і «посадочна поверхня колінчастого вала – вкладиш», стендові та експлуатаційні випробування дизельних двигунів А-01М. Було підтверджено підвищення тиску оливи у системі мащення на 18% і зменшення витрати картерних газів на 32% під час стендових випробувань дизеля А-01М із присадкою «Кластер-М» у моторній оливі М-10-Г₂. Проте у цьому дисертаційному дослідженні не ставилась задача узагальнюючого дослідження і моделювання процесу експлуатаційного відновлення параметрів технічного стану (ПТС) дизелів із застосуванням ВАФП.

На основі аналізу результатів відомих і власних досліджень Мазалов Ю.О., Ольховацький О.К. і Соловійов Р.Ю. [18] висунули теоретичні передумови (у вигляді графічної інтерпретації процесу зміни зазору в умовному ресурсному спряженні у залежності від наробітку) подовження ресурсу машин сільськогосподарського призначення шляхом застосування нанодобавок у складі моторних і трансмісійних оливи. Рекомендовано у початковий період експлуатації двигунів після обкатування і у період обкатування після капітального ремонту застосовувати модифікатори тертя, кондиціонери і реметалізанти. За результатами лабораторних досліджень найвищу стійкість проти задирання проявили нанопрепарати фірми «Wagner». Після певного наробітку двигунів і для зменшення зазорів, які дещо перевищили допустимі значення, але ще не досягли граничних значень, рекомендовано застосовувати геомодифікатор тертя РВС (RVS). Встановлено зменшення годинної витрати пального на 15% під час стендових випробувань дизеля Д-240 із геомодифікатором тертя РВС (RVS) у системі мащення.

Поряд з цим не означено параметри процесу експлуатаційного відновлення ПТС дизелів і їх конкретні значення (крім витрати пального), хоча моніторинг експлуатаційних випробувань дизелів проводився.

Мета досліджень: поглиблення знань процесу відновлення параметрів технічного стану дизелів під час їх технічного обслуговування із застосуванням ВАФП.

Результати досліджень. Розглянемо процес застосування ВАФП на прикладі дизельних двигунів, але результати цього дослідження можуть бути придатні також для двигунів із іскровим запаленням.

Один із варіантів графічної інтерпретації зміни ПТС дизеля, які зменшуються в процесі експлуатації (потужність, тиск оливи у системі мащення, тиск стикання і повний вакуум у циліндрах, тиск нагнітання, циклова подача і тиск впорскування пального), із застосуванням ВАФП наведено на рис. 1.

У процесі роботи дизеля деякі ПТС (P) зменшуються (лінія AC) від номінального ($P_H = P_A$) до граничного значення ($P_T = P_C$) і у цей період часу можуть бути частково відновлені (лінія BD) від значення P_B до значення P_D шляхом додавання ВАФП до моторних оливи за наробітку $(T_B)_1$. Завдяки цьому уникають ремонтних втручань із розбиранням і заміною зношених деталей КШМ і ЦПГ дизеля за

наробітку $(T_p)_1$, який визначає ресурс цих механізмів. Таким чином продовжується виробнича експлуатація дизеля (лінія DE) без його тривалої зупинки на ремонт за наробітку $(T_p)_1$ і ПТС зменшуються від значення P_D до значення P_E , яке дорівнює значенню P_B ($P_E = P_B$). За наробітку $(T_B)_2$ можливе повторне додавання ВАФП до моторних оливи і часткове відновлення ПТС (лінія EF) від значення $P_E = P_B$ до значення P_F . Завдяки цьому ресурс дизеля подовжується (лінія FG) до значення $(T_p)_2$, коли ПТС зменшуються від значення P_F до значення P_G , яке дорівнює граничному значенню P_T ($P_G = P_T$). Значення подовженого ресурсу $(T_p)_2$ може перевищувати регламентований ресурс $(T_p)_1$ у 1,5-2,0 рази. За наробітку $(T_p)_2$ виконують ремонт механізмів дизеля із розбиранням та заміною зношених деталей і виробничий цикл $(0 - (T_p)_2)$ дизеля повторюється.

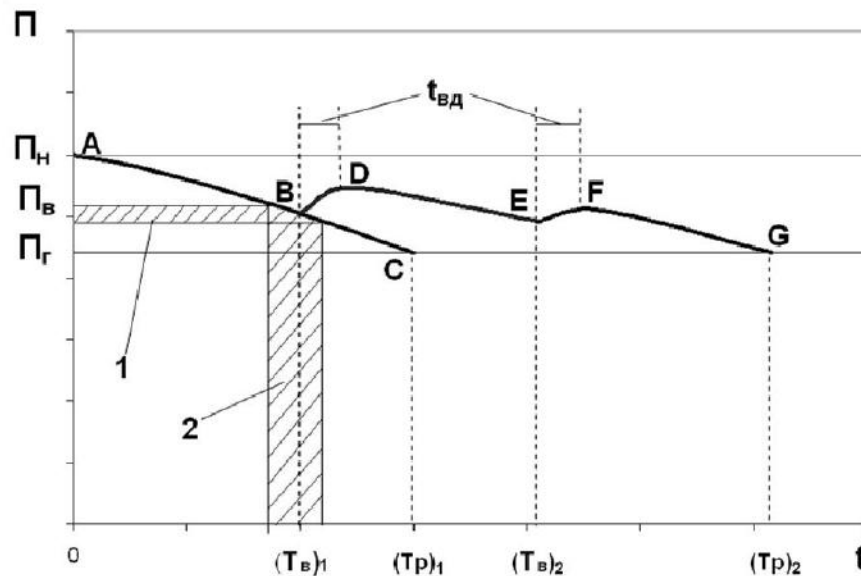


Рис. 1. Графічна інтерпретація зміни параметрів технічного стану (P), які зменшуються в процесі експлуатації, у залежності від наробітку (t) дизельного двигуна за умови застосування ВАФП:

- 1 – заштриховане поле, висота якого відповідає значенням ПТС (P_r), за яких рекомендується застосування ВАФП із максимально можливою ефективністю
- 2 – заштриховане поле, ширина якого відповідає наробіткам $(T_B)_1$ дизеля, за яких його ПТС приймають значення P_B і рекомендується застосування ВАФП

Fig. 1. The graphical interpretation of change of parameters of technical condition (P), which in the process of exploitation are reduced, in depending on the operating time (t) of diesel engine subject to the application of RAFAWA:

- 1 – shaded the field, the height of which corresponds to the value of the PTC (P_r), for which to apply the RAFAWA with maximum efficiency is recommended
- 2 – shaded the field, the width of which corresponds to the operating time $(T_B)_1$ of diesel, for which its PTC take the value of P_B , and application of RAFAWA is recommended

Якщо значення регламентованого ресурсу $(T_p)_1$ механізмів дизеля невідомі або не достовірні, то їх визначають шляхом спостережень за роботою дизеля в умовах виробничої експлуатації за планом спостережень NMT_i з мінімальним об'ємом вибірки 12 дизелів. Середнє емпіричне значення ресурсу розраховують як середнє арифметичне із 12-ти або більше вибірових значень. Вибіркові значення ресурсу обробляють параметричним методом і емпіричний розподіл ресурсу вирівнюють за DM – розподілом та розраховують параметри масштабу (μ) і форми (ν) цього розподілу. Математичне сподівання ресурсу розраховують за формулою [19]:

$$(\bar{T}_p)_1 = \mu \cdot \left(1 + \frac{\nu^2}{2}\right), \quad (1)$$

де μ, ν – параметри масштабу (мотогод) і форми (безрозм.) DM – розподілу ресурсу.

Відповідно до елементного закону зношування, встановленого проф. І.В.Крагельським, залежності ПТС дизеля від наробітку для варіанта, що розглядається, можна описати степеневими функціями:

$$P_1 = P_n - a_1 t^{b_1}, \quad \text{для } 0 \leq t \leq (T_v)_1, \quad (2)$$

$$P_2 = P_B + a_2 (t - (T_v)_1)^{0,8}, \quad \text{для } (T_v)_1 \leq t \leq [(T_v)_1 + t_{вд}], \quad (3)$$

$$P_3 = P_D - a_3 (t - (T_v)_1 - t_{вд})^{b_3}, \quad \text{для } [(T_v)_1 + t_{вд}] \leq t \leq (T_v)_2, \quad (4)$$

$$P_4 = P_B + a_2 (t - (T_v)_2)^{0,8}, \quad \text{для } (T_v)_2 \leq t \leq [(T_v)_2 + t_{вд}], \quad (5)$$

$$P_5 = P_F - a_3 (t - (T_v)_2 - t_{вд})^{b_3}, \quad \text{для } [(T_v)_2 + t_{вд}] \leq t \leq (T_p)_2 \quad (6)$$

де P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 – ПТС дизеля для відповідних областей визначення наробітків, які означені з правої сторони від формул, V_t або P_a або $см^3/цикл$ залежно від фізичної величини ПТС;

P_n, P_B – номінальне і поточне значення ПТС дизеля, V_t або P_a або $см^3/цикл$ залежно від фізичної величини ПТС;

P_D, P_F – відновлені значення ПТС дизеля за першим і другим разом застосування ВАФП, V_t або P_a або $см^3/цикл$ залежно від фізичної величини ПТС;

a_1, a_2, a_3 – швидкості зміни ПТС дизеля до, під час і після їх відновлення шляхом застосування ВАФП, $V_t/год$ або $P_a/год$ або $см^3/(цикл \cdot год)$ залежно від фізичної величини ПТС;

$(T_v)_1, (T_v)_2$ – наробітки дизеля, за яких застосували ВАФП, мотогод;

$t_{вд}$ – інтервал наробітку дизеля, у якому відбувалось стабільне відновлення ПТС внаслідок застосування ВАФП, мотогод;

b_1, b_3 – показники степеневих функцій зміни ПТС дизеля до застосування ВАФП і після їх відновлення;

$(T_p)_2$ – ресурс дизеля, подовжений шляхом застосування ВАФП, мотогод.

Номінальні P_n та граничні P_r значення ПТС дизеля відомі і наводяться у експлуатаційній і ремонтній документації. Значення P_B встановлюють за результатами діагностування і для того, щоб ефективність застосування ВАФП (значення P_D і P_F) була максимальною, то ці значення мають задовольняти такій умові:

$$(0,3P_n + 0,7P_r) \leq P_B \leq 0,5(P_n + P_r), \quad (7)$$

Формулу (7) отримано із рекомендацій ДержНДТІ [20], згідно з якими рекомендується застосовувати ВАФП, зокрема геомодифікатор тертя РВС, після наробітку дизельного двигуна, що становить від 50% до 70% доремонтного або післяремонтного ресурсу. Оскільки ресурс дизеля визначається за його ПТС, то дану умову можна записати у такому вигляді:

$$0,5 \leq R_{вик} \leq 0,7, \quad (8)$$

де $R_{вик}$ – коефіцієнт використаного ресурсу (доремонтного або міжремонтного) дизеля, який розраховують за формулою:

$$R_{вик} = \frac{P_n - P_B}{P_n - P_r}, \quad (9)$$

де P_B, P_n, P_r – поточне, номінальне і граничне значення ПТС дизеля, V_t або P_a або $см^3/цикл$ залежно від фізичної величини ПТС.

Шляхом нескладних перетворень із формул (8) і (9) отримали формулу (7).

Значення параметрів a_1 , a_2 , a_3 потребують уточнення для більшості ПТС. За уже відомими результатами лабораторних і стендових випробувань можна вважати, що параметр a_3 має бути меншим за параметр a_1 ($a_3 < a_1$). Це може бути зумовлено вищою зносостійкістю вуглецево-металокерамічних шарів, утворених завдяки дії геомодифікаторів тертя на зношених контактуючих поверхнях, і меншим коефіцієнтом тертя вуглецево-металокерамічного шару по вуглецево-металокерамічному шарі порівняно із коефіцієнтами тертя сталі по сталі, сталі по чавуну або сталі по бабіту.

Значення параметра b_1 уже відомі для деяких ПТС дизелів: для потужності – 0,85, для тиску оливи і тиску нагнітання пального – 1,1, для тиску стискання у циліндрах – 1,3, а для деяких ПТС дизелів – потребують уточнення. Для уточнення значень параметра b_3 також потрібні додаткові дослідження.

У разі, якщо уже відомі значення параметрів a_1 і b_1 для даних ПТС даного типу дизеля, то діагностування можна не проводити, а розрахувати значення $(T_B)_1$ за формулою, яку отримали на основі формул (2) і (7):

$$\left[\frac{0,5(P_n - P_r)}{a_1} \right]^{1/b_1} \leq (T_B)_1 \leq \left[\frac{0,7(P_n - P_r)}{a_1} \right]^{1/b_1}, \quad (10)$$

Якщо фактичний наробіток дизеля задовольняє умові (10), то рекомендується застосування ВАФП.

Значення параметра $t_{вд}$ також потребують уточнення і більш детальних досліджень. Поки що відомо, що за ПТС тиск стискання для дизеля ЯМЗ-240 цей параметр становив близько 100 мотогод, а для дизеля Д-243 – близько 230 мотогод. Для двигунів із іскровим запаленням значення параметра $t_{вд}$ менші – від 20 год до 80 год. Якщо уже відомі середні значення відновленого ПТС (\bar{P}_D) і параметр a_2 для цього ПТС і даного типу дизеля, то на підставі формули (3) можна розрахувати параметр $t_{вд}$ і наробіток T_D за формулами:

$$t_{вд} = \left(\frac{\bar{P}_D - P_B}{a_2} \right)^{1,25}, \quad (11)$$

$$T_D = (T_B)_1 + t_{вд} = (T_B)_1 + \left(\frac{\bar{P}_D - P_B}{a_2} \right)^{1,25}, \quad (12)$$

де $(T_B)_1$ – наробіток, який розраховують за формулою (10), мотогод.

Аналіз уже відомих результатів досліджень показав, що величини відновлення (зростання) ПТС ($P_{ДВ} = P_D - P_B$) внаслідок застосування ВАФП змінюються у широких межах у залежності від марки ВАФП, типу дизеля та ступеня зносу механізмів і умов застосування ВАФП. Наприклад, зростання потужності може становити від 0,6% до 6%, а зростання тиску оливи на номінальних обертах може становити від 25% до 50% (на 0,05 – 0,1 МПа). Деяко менші межі зростання тиску стискання у циліндрах на пусковій частоті – від 4% до 8% (на 0,1 – 0,2 МПа).

За відомими параметрами a_3 і b_3 можна розрахувати на підставі формули (4) наробіток дизеля $(T_B)_2$ за формулою:

$$(T_B)_2 = T_D + \left(\frac{\bar{P}_D - P_B}{a_3} \right)^{1/b_3}, \quad (13)$$

де T_D – наробіток, який розраховують за формулою (12), мотогод.

На основі формули (6) і відомих середніх значень відновлених ПТС (\bar{P}_F) можна прогнозувати ресурс дизеля у разі застосування ВАФП за конкретними ПТС за формулою:

$$(T_p)_2 = (T_B)_2 + t_{вд} + \left(\frac{\bar{P}_F - P_r}{a_3} \right)^{1/b_3}, \quad (14)$$

де $(T_B)_2$ – наробіток, який розраховують за формулою (13), мотогод;

$t_{вд}$ – інтервал наробітку дизеля, який розраховують за формулою (11), мотогод.

Формули (1) – (14) представляють математичну модель зміни ПТС дизельного двигуна, які зменшуються у процесі доремонтної або міжремонтної експлуатації, із дворазовим застосуванням ВАФП. На виході модель дає прогнозоване значення подовженого ресурсу дизеля $(T_p)_2$.

Окремі параметри технічного стану (ПТС) дизеля не зменшуються, а, навпаки, зростають у процесі експлуатації (вібрація дизеля, годинна витрата пального, димність випускних газів, витрата картерних газів, залишковий вакуум і різниця тиску стискання у циліндрах дизеля, момент провертання колінчастого вала, витрата оливи на вигоряння). На рис. 2 наведено один із варіантів графічної інтерпретації зміни таких ПТС із застосуванням ВАФП.

Для розрахунку значення $(T_p)_2$:

$$(T_p)_2 = (T_B)_2 + t_{вд} + \left(\frac{P_{Г} - \bar{P}_F}{a_3} \right)^{1/b_3}, \quad (26)$$

де $(T_B)_2$ – наробіток, який розраховують за формулою (25), мотогод;

$t_{вд}$ – інтервал наробітку дизеля, який розраховують за формулою (23), мотогод.

Формули (1), (8), (15) – (26) представляють математичну модель зміни ПТС дизельного двигуна, які зростають у процесі доремонтної або міжремонтної експлуатації, із дворазовим застосуванням ВАФП. На

виході модель дає прогнозоване значення подовженого ресурсу дизеля $(T_p)_2$.

Моделі $\{(1) - (14)\}$ і $\{(1), (8), (15) - (26)\}$ побудовані із такими допущеннями:

1) інтервали наробітку дизеля ($t_{вд}$), у яких відбувалось стабільне відновлення ПТС, за першим і другим разом застосування ВАФП однакові;

2) параметри a_2 , a_3 і b_3 для другого разу застосування ВАФП такі самі як для першого.

Основні параметри процесу експлуатаційного відновлення ПТС дизелів із застосуванням ВАФП зведено у таблицю.

Таблиця. Параметри процесу експлуатаційного відновлення ПТС дизелів із застосуванням ВАФП

Table. The parameters of the operational recovery for diesel engine using of RAFAWA

№ п/п	Позначення параметра	Назва або визначення параметра	Значення параметра	Формула і (або) номер формули
Параметри часу (наробітку)				
1	$(T_B)_1$	Наробіток дизеля, за якого рекомендується виконати його першу обробку із застосуванням ВАФП	Потребує додаткових експериментальних підтверджень	(10), (22)
2	$t_{вд}$	Інтервал наробітку дизеля, у якому відбувалось стабільне відновлення ПТС внаслідок застосування ВАФП	Потребує додаткових експериментальних підтверджень	$(T_D - (T_B)_1)$ (11), (23)
3	T_D	Наробіток дизеля, за якого ПТС відновився до значення P_D внаслідок застосування ВАФП	Потребує додаткових експериментальних підтверджень	(12), (24)
4	$(T_p)_1$	Регламентований доремонтний або міжремонтний ресурс дизеля за даним ПТС без застосування ВАФП	Відомі для більшості дизелів	(1)
5	$((T_p)_1)_{зал}$	Величина залишкового (невикористаного) доремонтного або міжремонтного ресурсу дизеля у разі застосування ВАФП	Потребує додаткових експериментальних підтверджень	$((T_p)_1 - (T_B)_1)$
6	$(T_B)_2$	Наробіток дизеля, за якого рекомендується виконати його другу обробку із застосуванням ВАФП	Потребує експериментального встановлення	(13), (25)
7	$(T_p)_2$	Фактичний доремонтний або міжремонтний ресурс дизеля після двох обробок із застосуванням ВАФП	Потребує експериментального встановлення	(14), (26)
Характерні точки параметрів технічного стану дизеля				
1	P_H	Номінальне значення ПТС	Наведені у експлуатаційній і ремонтній документації на дизель	-

2	P_T	Регламентоване граничне значення ПТС	Наведені у експлуатаційній і ремонтній документації на дизель	-
3	P_B	Значення ПТС дизеля, за якого ефективність застосування ВАФП може бути максимальною	Потребує додаткових експериментальних підтверджень	(7), (21)
4	P_D	Відновлене значення ПТС дизеля внаслідок першого застосування ВАФП	Потребує додаткових експериментальних підтверджень	-
5	P_{BD}	Величина відновлення ПТС внаслідок першого застосування ВАФП	Потребує додаткових експериментальних підтверджень	$/P_D - P_B/$
6	P_C	Значення ПТС дизеля, яке відповідає граничному	Дорівнює значенню P_T	-
7	P_E	Значення ПТС дизеля, яке відповідає значенню P_B	Дорівнює значенню P_B	-
8	P_F	Відновлене значення ПТС дизеля внаслідок другого застосування ВАФП	Потребує додаткових експериментальних підтверджень	-
9	P_{EF}	Величина відновлення ПТС внаслідок другого застосування ВАФП	Потребує додаткових експериментальних підтверджень	$/P_F - P_E/$
10	P_G	Значення ПТС дизеля, яке відповідає граничному	Дорівнює значенню P_T	-
Параметри функціональних залежностей ПТС дизеля				
1	a_1	Швидкість деградації ПТС дизеля внаслідок зношування або втоми	Потребує експериментального встановлення	-
2	a_2	Швидкість відновлення ПТС дизеля внаслідок застосування ВАФП	Потребує експериментального встановлення	-
3	a_3	Швидкість деградації відновленого ПТС дизеля внаслідок зношування або втоми	Потребує експериментального встановлення	-
4	b_1	Показник степеневі функції наробітку дизеля, яка описує деградацію його ПТС внаслідок зношування або втоми (до застосування ВАФП)	Потребує експериментального уточнення	-
5	b_3	Показник степеневі функції наробітку дизеля, яка описує деградацію відновленого ПТС (після застосування ВАФП)	Потребує експериментального уточнення	-

Експлуатаційне відновлення ПТС дизелів із застосуванням ВАФП реалізують у системі його технічного обслуговування і ремонту (рис. 3). Під час технічного обслуговування дизелів виконують регламентовані операції, які передбачено настановою з експлуатації: технічне обслуговування АКБ,

паливних фільтрів, центрифуги і масляних фільтрів, повітряного фільтра, форсунок, регулювання кута випередження впорскування пального і зазорів у приводі клапанів, діагностування ПНВТ. Особливість полягає у тому, що заміну оливи у картері дизеля виконують не під час його технічного обслу-

говування, а після діагностування і першого етапу оброблювання дизеля ВАФП, а також регулюють зазори у приводі клапанів під час ТО-1, а не під час ТО-2.

ВИСНОВОК

Процес експлуатаційного відновлення ПТС дизельних двигунів із застосуванням ВАФП можна описати за допомогою 22 характерних параметрів: 7 параметрів часу (наробітку), 10 характерних точок параметрів технічного стану дизеля і 5 параметрів

функціональних залежностей ПТС дизеля. Дев'ять характерних параметрів потребують додаткових експериментальних підтверджень, п'ять параметрів – експериментального встановлення, два параметри – експериментального уточнення і шість параметрів уже відомі.

Перспективи подальших розробок у даному напрямку полягають у встановленні, підтвердженні і уточненні характерних параметрів процесу експлуатаційного відновлення ПТС дизельних двигунів із застосуванням ВАФП.

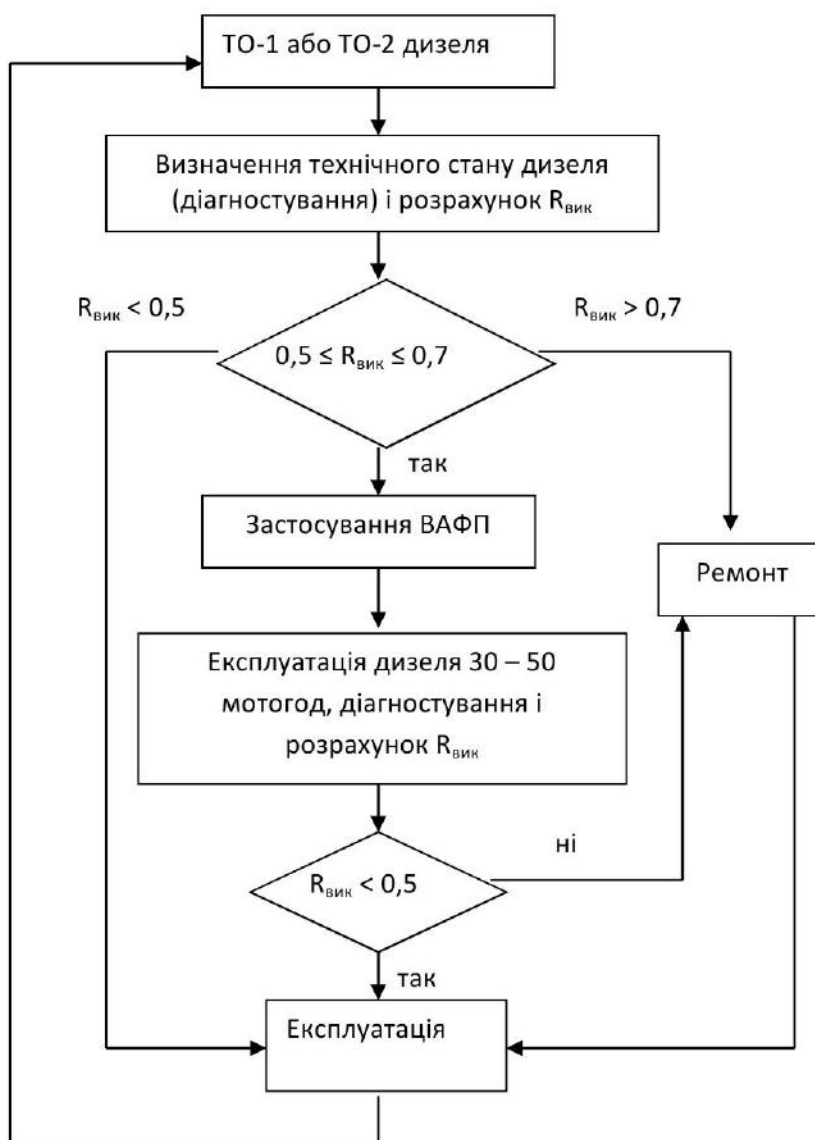


Рис. 3. Блок-схема експлуатаційного циклу дизельного двигуна із застосуванням ВАФП у системі його технічного обслуговування і ремонту:

$R_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використаного ресурсу

Fig. 3. The flowchart of the operational cycle of diesel engine using the RAFAWA in system its maintenance and repair:

R_{vik} – The coefficient of the used of useful life

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Адамчук, В. В. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва [Текст] / за ред. В. В. Адамчука, М. І. Грицишина. – К.: Аграр. наука, 2012. – 416 с. – ISBN 978-966-540-332-6.
2. Сидорчук, О. В. Розвиток ринку технічного сервісу сільськогосподарського виробництва [Текст] / О. В. Сидорчук, П. В. Гринько // Механізація та електрифікація сільського господарства: міжвідомчий тематичний науковий збірник ННЦ «ІМЕСГ». – Глеваха, 2014. – Вип. 99, Т.1. – С. 85-94.
3. Мельник, З. П. Об эффективности металлоплакирующих смазок [Текст] / З. П. Мельник, И. А. Бюбинин, И. В. Василенко // Химия и технология топлив и масел. – 1989. – №2. – С. 24-26.
4. Намаконов, Б. В. Металлоплакирующая обкатка насосов [Текст] / Б. В. Намаконов, Н. В. Зоренко // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 1996. – №2. – С.50-51.
5. Александров, В. А. Повышение долговечности автотракторных дизелей применением присадки к моторному маслу на основе наночастиц цветных металлов [Текст]: автореф. Дис. ... на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве» / Александров Владислав Александрович. – Саратов, 2005. – 26 с.
6. Ревнивцев, В. И. Модель безизносного трения [Текст] / В. И. Ревнивцев, Ю. К. Машков, Т. Л. Маринич // Материалы 1-й международной конференции «Проблемы трения, износа и смазки». – Ташкент, 1985.
7. Научное открытие № 323. Свойство высокоэнергетических минеральных веществ изменять параметры триботехнических систем [Текст] / Зуев В. В., Лазарев С. Ю., Лавров Ю. Г. и др. Зарегистрировано: 02.02.2007. Приоритет открытия: 16.11.1995.
8. Пат. 2043393 Российская Федерация, МПК С 10 М 125/04, С 10 N 30/06. Твердосмазочное покрытие [Текст] / Маринич Т.Л., Титов Н.М., Ксенофонтова И.Н. и др.; заявитель Ленинградский филиал НТК «Визир», патентообладатель НТО «Конверсионные инициативы». – № 4955150/04; заявл. 25.09.1991; опубл. 10.09.1995, Бюл. № 25. – 4 с.
9. Пат. 2169208 Российская Федерация, МПК С 23 С26/00, В 23 Р6/00. Состав для модифицирования металлов и восстановления металлических поверхностей [Текст] / Никитин И. В., Пустовой И. Ф., Червоненко Ю. А.; заявитель ЗАО «НПО Руспромремонт», патентообладатель ЗАО «НПО Руспромремонт» – № 2000122650/02; заявл. 31.08.2000; опубл. 20.06.2001. БИ № 17. – 4 с.
10. Мищенко, С. В. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение [Текст] / С. В. Мищенко, А. Г. Ткачев. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
11. Селютин, Г. Е. Применение модифицированных наноалмазов для увеличения ресурса узлов трения [Текст] / Г. Е. Селютин, А. П. Пузырь, В. А. Ворошилов, В. С. Бондарь // Труды ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 107. – №2. – С. 25-29.
12. Полунин, Л. И. Антифрикционный кондиционер металла / [Электронный ресурс] / Л. И. Полунин, В. А. Чудинов // Автоцентр. www.tribo.ru. – 1998. – №47. – Режим доступа: www.autocentret.com.ua.
13. Венцель, С. С. Підвищення зносостійкості паливної апаратури дизелів [Текст] / С. С. Венцель, О. С. Голубов, О. В. Орел // Проблеми трибології. – 2010. – №2.
14. Вохидов, А. С. Эпиламы в АПК: фторПАВ продлевают ресурс [Текст] / А. С. Вохидов, Л. О. Добровольский // Труды ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 107. – №1. – С. 100-104.
15. Ерохин, М. Н. Полимерные нанокompозиты: инновационные перспективы применения на ремонтных предприятиях АПК [Текст] / М. Н. Ерохин, Л. В. Козырева // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 2. – С.8-11.
16. Ли, Р.И. Перспективные полимерные, полимер-полимерные и нанополимерные композиционные материалы для ремонта подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники [Текст] / Р. И. Ли, С. И. Кондрашин, А. В. Бочаров и др. // Труды ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 108. – С. 238-240.
17. Фастовець, П.М. Класифікація наноструктурованих матеріалів для інженерії поверхні деталей машин [Текст] / П. М. Фастовець // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №3/5 (57). – С.19-25.
18. Мазалов, Ю. А. Методика применения нанодобавок в смазочные материалы для безремонтного продления ресурса ДВС и агрегатов трактора [Текст] / Ю. А. Мазалов, А. К. Ольховацкий, Р. Ю. Соловьев // Труды ГОСНИТИ. – 2010. – Т. 105. – С. 62-72.
19. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності [Текст]. – Чинний від 1994-12-08. – К.: Держстандарт України, 1994. – 38 с.
20. Черноиванов, В.И. Перспективы применения нанотехнологий как прорывного фактора повышения качества обслуживания и ремонта машин [Текст] / В. И. Черноиванов // Труды ГОСНИТИ. – 2010. – Т. 105. – С. 4-12.

REFERENCES

1. Adamchuk, V. V. Systema tekhniko-tekhnolohichnoho zabezpechennya vyrobnytstva produktsiyi roslыnnytstva [Tekst] / za red. V. V. Adamchuka, M. I. Hrytshynyna. – K.: Ahrar. nauka, 2012. – 416 s. – ISBN 978-966-540-332-6.
2. Sydoruk, O. V. Rozvytok rynku tekhnichnoho servisu silskohospodarskoho vyrobnytstva [Tekst] / O. V. Sydoruk, P. V. Hrynko // Mekhanizatsiya ta elektryfikatsiya silskoho hospodarstva: mizhvidomchyy tematychnyy naukovyy zbirnyk NNTs «IMESH». – Hlevakha, 2014. – Vyp. 99, T.1. – S. 85-94.
3. Melnik, Z. P. Ob jeffektivnosti metalloplakirujushhih smazok [Tekst] / Z. P. Melnik, I. A. Bjubinin, I. V. Vasilenko // Himija i tehnologija topliv i masel. – 1989. – №2. – S. 24-26.
4. Namakonov, B. V. Metalloplakirujushhaja obkatka nasosov [Tekst] / B. V. Namakonov, N. V. Zorenko // Problemi tribologii (Problems of Tribology). – 1996. – №2. – S.50-51.
5. Aleksandrov, V. A. Povyshenie dolgovechnosti avtotraktornyh dizelej primeneniem prisadki k motornomu maslu na osnove nanochastichnykh metallov [Tekst]: avtoref. dis... na soiskanie nauch. stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.20.03 «Tehnologii i sredstva tehniceskogo obsluzhivaniya v selskom hozjajstve» / Aleksandrov Vladislav Aleksandrovich. – Saratov, 2005. – 26 s.
6. Revnivcev, V. I. Model beziznosnogo trenija [Tekst] / V. I. Revnivcev, Ju. K. Mashkov, T. L. Marinich // Materialy 1-j mezhdunarodnoj konferencii «Problemy trenija, iznosa i smazki». – Tashkent, 1985.
7. Nauchnoe otkrytie № 323. Svoystvo vysokojenergoplotnykh mineralnykh veshhestv izmenjat parametry tribotehniceskikh sistem [Tekst] / Zuev V. V., Lazarev S. Ju., Lavrov Ju. G. i dr. Zaregistrovano: 02.02.2007. Prioritet otkrytija: 16.11.1995.
8. Pat. 2043393 Rossijskaja Federacija, MPK S 10 M 125/04, S 10 N 30/06. Tverdosmazochnoe pokrytie [Tekst] / Marinich T.L., Titov N.M., Ksenofontova I.N. i dr.; zajavitel Leningradskij filial NTK «Vizir», patentoobladatel NTO «Konversionnye iniciativy». – № 4955150/04; zajavl. 25.09.1991; opubl. 10.09.1995, Bjul. № 25. – 4 s.
9. Pat. 2169208 Rossijskaja Federacija, MPK S 23 S26/00, V 23 R6/00. Sostav dlja modifitsirovaniya metallov i vosstanovlenija metallicheskih poverhnostej [Tekst] / Nikitin I. V., Pustovoj I. F., Chervenonko Ju. A.; zajavitel ZAO «NPO Ruspromremont», patentoobladatel ZAO «NPO Ruspromremont» – № 2000122650/02; zajavl. 31.08.2000; opubl. 20.06.2001. BI № 17. – 4 s.
10. Mishhenko, S. V. Uglerodnye nanomaterialy. Proizvodstvo, svoystva, primenenie [Tekst] / S. V. Mishhenko, A. G. Tkachev. – M.: Mashinostroenie, 2008. – 320 s.
11. Seljutin, G. E. Primenenie modifitsirovannykh nanoalmazov dlja uvelichenija resursa uzlov trenija [Tekst] / G. E. Seljutin, A. P. Puzyr, V. A. Voroshilov, V. S. Bondar // Trudy GOSNITI. – 2011. – T. 107. – №2. – S. 25-29.
12. Polunin, L. I. Antifrikcionnyj kondicioner metalla / [Jelektronnyj resurs] / L. I. Polunin, V. A. Chudinov // Avtocentr. www.tribo.ru. – 1998. – №47. – Rezhim dostupu: www.autocentet.com.ua.
13. Ventsel, Ye. S. Pidvyshchennya znositivkosti palyvnoyi aparatury dyzeliv [Tekst] / Ye. S. Ventsel, O. S. Holubov, O. V. Orel // Problemy trybolohiyi. – 2010. – №2.
14. Vohidov, A. S. Jepilamy v APK: florPAV prodlevajut resurs [Tekst] / A. S. Vohidov, L. O. Dobrovolskij // Trudy GOSNITI. – 2011. – T. 107. – №1. – S. 100-104.
15. Erohin, M. N. Polimernye nanokompozity: innovacionnye perspektivy primenenija na remontnykh predpriyatijah APK [Tekst] / M. N. Erohin, L. V. Kozyreva // Traktory i selhoz mashiny. – 2010. – № 2. – S.8-11.
16. Li, R.I. Perspektivnye polimernye, polimer-polimernye i nanopolimernye kompozicionnye materialy dlja remonta podshipnikovyh uzlov selskohozjajstvennoj tehniki [Tekst] / R. I. Li, S. I. Kondrashin, A. V. Bocharov i dr. // Trudy GOSNITI. – 2011. – T. 108. – S. 238-240.
17. Fastovets, P.M. Klasyfikatsiya nanostrukturovanykh materialiv dlja inzheneriyi poverkhni detaley mashyn [Tekst] / P. M. Fastovets // Vostochno-Evropejskij zhurnalпередovykh tekhnolohij. – 2012. – №3/5 (57). – S.19-25.
18. Mazalov, Ju. A. Metodika primenenija nanodobavok v smazochnye materialy dlja bezremontnogo prodlenija resursa DVS i agregatov traktora [Tekst] / Ju. A. Mazalov, A. K. Olhovackij, R. Ju. Solovev // Trudy GOSNITI. – 2010. – T. 105. – S. 62-72.
19. DSTU 2862-94. Nadiynist tekhniky. Metody rozrakhunku pokaznykiv nadiynosti [Tekst]. – Chynnyy vid 1994-12-08. – K.: Derzhstandart Ukrainy, 1994. – 38 s.
20. Chernovanov, V.I. Perspektivy primenenija nanotekhnologij kak proryvnogo faktora povysheniya kachestva obsluzhivaniya i remonta mashyn [Tekst] / V. I. Chernovanov // Trudy GOSNITI. – 2010. – T. 105. – S. 4-12.