



УДК. 631.3.004:621.892

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-9

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ПАЛИВНОГО НАСОСА ВИСОКОГО ТИСКУ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛЬНИХ

Журавель Д. П., д. т. н.

ORCID: 0000-0002-6100-895X

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*e-mail: dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua

Постановка проблеми. У зв'язку з прискореним розвитком сучасної техніки вкрай актуальною стала задача підвищення надійності машин, які працюють в умовах великих навантажень, температур, в різних агресивних середовищах. Вирішення зазначеного завдання ускладнюється тим, що воно є багатограним і відображає специфіку всіх фаз існування машин від стадії проектування до стадії експлуатації [1,2]. Задоволення зростаючої потреби в дизельному пальному на сучасному етапі розвитку автотракторної техніки може бути досягнуто залученням до балансу альтернативних палив, отриманих на основі рослинних олій і їх похідних. Застосування їх в дизелях сільськогосподарських тракторів дозволяє: знизити споживання дизельного пального при значному зменшенні негативного впливу на навколишнє середовище; використовувати сучасний і перспективний парк машин без істотних конструктивних змін; закласти основу створення енергоавтономного сільськогосподарського виробництва [2-7].

Аналіз останніх досліджень. Обмежений обсяг і суперечливі результати досліджень в області заміни нафтових палив на біологічні, не дозволяють однозначно судити про вплив біопаливної композиції на енергетичні, паливно-економічні, екологічні та інші показники, що формують технічний рівень сільськогосподарських тракторів [8-14]. Тому розробка науково обґрунтованої технології застосування метилових ефірів ріпакової олії в якості основи біопаливної композиції для підвищення технічного рівня сільськогосподарських тракторів представляє перспективний напрямок економії паливно-енергетичних ресурсів і набуває в даний час особливої актуальності [15-21]. Актуальність полягає і в тому, що необхідно провести оціночні дослідження надійності функціональних систем сільськогосподарської техніки при експлуатації на мінеральних і біологічних паливах.



Формулювання цілей статті. Метою статті є оцінка надійності паливного насоса високого тиску дизельного двигуна при експлуатації на різних видах паливних для підвищення ефективності використання сільськогосподарської техніки.

Основна частина. Для знаходження ймовірностей безвідмовної роботи при напрацюванні Δt використовуємо рівність [1,8]:

$$P(t) = \frac{N_0 - n(\Delta t)}{N_0} \quad (1)$$

где N_0 – загальне число випробовуваних однотипних об'єктів (невідновлюваних або відновлюваних);

$n(\Delta t)$ – число блоків, які відмовили.

Якщо при напрацюванні Δt не відмовив жоден з об'єктів, то для орієнтовного визначення $p(\Delta t)$ справедливо наступне співвідношення:

$$p(\Delta t) = 1 - \frac{1}{N_0 + 1} \quad (2)$$

Ймовірність відмови є подія, протилежна ймовірності безвідмовної роботи:

$$q(\Delta t) = 1 - p(\Delta t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0} \quad (3)$$

Графіки зміни функцій $p(t)$ і $q(t)$ за цикл експлуатації технічного об'єкта наведені на рис.1.

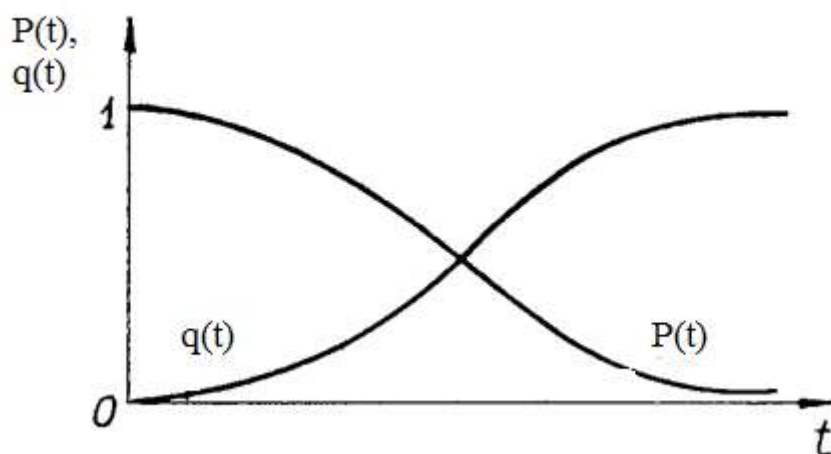


Рис. 1. Взаємне розташування графіків ймовірності безвідмовної роботи $p(t)$ та ймовірності відмов $q(t)$ [1]



Вираз для інтенсивності відмов має такий вигляд:

$$\lambda(\Delta t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp} \cdot \Delta t} \quad (4)$$

де $N_{cp} = (N_i + N_{i+1})/2$; N_i і N_{i+1} – відповідно число невідновлювальних об'єктів, які справно працювали на початку і в кінці інтервалу напрацювання Δt .

Середнє напрацювання до відмови знаходимо за формулою:

$$T_{cp} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i, \quad (5)$$

де t_i - напрацювання до відмови i -го невідновлюваного об'єкта.

Середнє напрацювання на відмову визначаємо з рівності:

$$t_{cp} = \frac{1}{N^*} \sum_{i=1}^{N_0} t_{ni}^*, \quad (6)$$

де $\sum_{i=1}^{N_0} t_{ni}^*$ – сумарне напрацювання N_0 відновлюваних об'єктів в період проведення запланованих випробувань;

N^* – загальне число відмов всіх об'єктів в період випробування, включаючи відмови після відновлення.

Графік функції інтенсивності відмов $\lambda(t)$ а цикл експлуатації однотипних об'єктів наведено на рис.2.

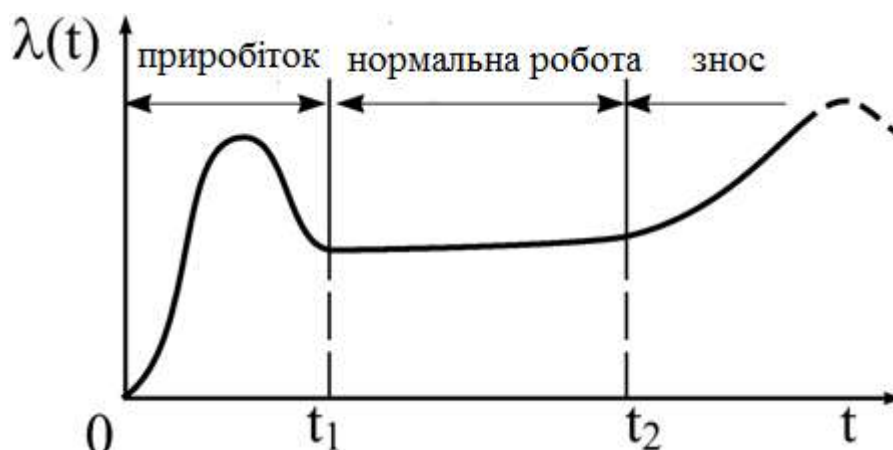


Рис. 2. Зміна інтенсивності відмов у часі [1]

Обчислення середнього часу відновлення проводимо за співвідношенням:



$$t_B = \sum_{i=1}^{N_0} t_{Bi}^* / \sum_{i=1}^{N_0} t_{mi}^* \quad (7)$$

де $\sum_{i=1}^{N_0} t_{Bi}^*$ – сумарний час відновлення N_0 об'єктів при випробуваннях;

$\sum_{i=1}^{N_0} t_{mi}^*$ – загальне число відновлень (можна прийняти $\sum_{i=1}^{N_0} t_{Bi}^* = N^*$).

Для знаходження коефіцієнта готовності використовуємо таку залежність:

$$K_{\Gamma} = \sum_{i=1}^{N_0} t_{ni}^* / (\sum_{i=1}^{N_0} t_{ni}^* + \sum_{i=1}^{N_0} t_{pi}^*) \quad (8)$$

где $\sum_{i=1}^{N_0} t_{ni}^*$ – сумарне напрацювання;

$\sum_{i=1}^{N_0} t_{pi}^*$ – сумарний час простоїв спостережуваних об'єктів на технічне обслуговування в період випробувань.

Коефіцієнт технічного використання визначаємо за формулою:

$$K_{TB} = \sum_{i=1}^{N_0} t_{ni}^* / (\sum_{i=1}^{N_0} t_{ni}^* + \sum_{i=1}^{N_0} t_{pi}^* + \sum_{i=1}^{N_0} t_{Bi}^*) \quad (9)$$

Зв'язок між двома комплексними показниками за один і той же період випробувань (спостережень) з урахуванням залежностей (8) і (9) можна встановити наступним чином:

$$\begin{aligned} K_{TB} &= \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{ni}^*}{\sum_{i=1}^{N_0} t_{ni}^* + \sum_{i=1}^{N_0} t_{pi}^* + \sum_{i=1}^{N_0} t_{Bi}^*} = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{ni}^*}{\sum_{i=1}^{N_0} t_{ni}^* + \sum_{i=1}^{N_0} t_{pi}^*} = \\ &= \frac{1}{1 + \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{Bi}^*}{\sum_{i=1}^{N_0} t_{ni}^* + \sum_{i=1}^{N_0} t_{pi}^*} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{ni}^*}{\sum_{i=1}^{N_0} t_{Bi}^*}} = \\ &= \frac{K_{\Gamma}}{1 + K_{\Gamma} \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{Bi}^*}{\sum_{i=1}^{N_0} t_{ni}^*}} = K_{\Gamma} / (1 + \varphi K_{\Gamma}). \quad (10) \end{aligned}$$

Параметр $\varphi = \sum_{i=1}^{N_0} t_{Bi}^* / \sum_{i=1}^{N_0} t_{ni}^*$ – цілком конкретна величина, що показує частку часу перебування спостережуваних



об'єктів в поточному ремонті по відношенню до часу перебування тих же об'єктів в працездатному стані.

У процесі збору інформації в господарських умовах використовували такі плани спостережень як NUN, NUT і NRT відповідно до вимог ГОСТ 17510.

Під спостереженням перебувало 16 паливних насосів високого тиску (ПНВТ) тракторів МТЗ-80 і спостереження проводили протягом 1200 мото-годин (м.г.), що відповідає середньорічному напрацюванню, при експлуатації на мінеральному і біологічному паливних.

При роботі на мінеральному пальному за час випробувань з 16 одиниць техніки у 4 виходив з ладу ПНВТ з подальшим ТО або ремонтом.

При роботі на біопальному за час випробувань з 16 одиниць техніки у 13 виходив з ладу ПНВТ з подальшим ТО або ремонтом.

За формулою (1) розраховуємо ймовірність безвідмовної роботи техніки працює на мінеральному пальному:

$$P_{\text{мін}}(t) = \frac{16-4}{16} = 0,75.$$

За формулою (1) розраховуємо ймовірність безвідмовної роботи техніки, яка працює на біопальному:

$$P_{\text{біо}}(t) = \frac{16-13}{16} = 0,188.$$

Звідси по формулі (3) розраховуємо ймовірність відмови ПНВТ випробовуваної техніки для різних видів паливних:

$$q_{\text{мін}}(\Delta t) = 1 - 0,75 = 0,25 \text{ - для мінерального тпального;}$$
$$q_{\text{біо}}(\Delta t) = 1 - 0,188 = 0,812 \text{ - для біопального.}$$

Розраховуємо ще один важливий параметр, інтенсивність відмов на різних видах паливних за формулою (4):

$$\lambda_{\text{мін}}(\Delta t) = \frac{4}{14 \cdot 1200} = 2,38 \cdot 10^{-4}.$$
$$\lambda_{\text{біо}}(\Delta t) = \frac{13}{9,5 \cdot 1200} = 1,14 \cdot 10^{-3}.$$

Зробимо розрахунок середнього напрацювання до відмови за формулою (5):



$$T_{cp} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i, \quad T_{cp \text{ мін}} = \frac{1}{16} (920 + 940 + 810 + 960) = 226,88 \text{ м.г.}$$

$$T_{cp \text{ біо}} = \frac{1}{16} (770 + 540 + 110 + 660 + 290 + 680 + 690 + 590 + 890 + 740 + 970 + 650 + 520) = 505,25 \text{ м.г.}$$

За формулою (6) розраховували середнє напрацювання на період проведення випробувань, з урахуванням витрат на технічне обслуговування (ТО) - 7% і на ремонт - 20% [1]:

$$t_{cp \text{ мін}} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{N_0} t_{ні}^* = \frac{1}{4} (13392 + 3504) = 4224 \text{ м.г.}$$

$$t_{cp \text{ біо}} = \frac{1}{13} \sum_{i=1}^{N_0} t_{ні}^* = \frac{1}{13} (3348 + 11388) = 1133,5 \text{ м.ч.}$$

Для обчислення коефіцієнта готовності скористаємося формулою (8), в якій $\sum_{i=1}^{N_0} t_{ні}^*$ — при роботі на мінеральному пальному буде дорівнювати сумарній кількості відпрацьованих мотто-годин для 16 одиниць техніки з вирахуванням часу на проведення ТО, ремонтних і відновлювальних робіт несправних елементів ПНВТ паливної системи, тобто мінус 7% часу на ТО для всіх 16 одиниць і 20% на ремонт для 4 одиниць.

$$\sum_{i=1}^{N_0} t_{ні \text{ мін}}^* = ((12 \cdot 1200) - 1008) + ((4 \cdot 1200) - (336 + 960)) = 16896 \text{ м.г.}$$

Аналогічно розраховуємо сумарне напрацювання N_0 відновлюваних об'єктів в період проведення запланованих випробувань і для роботи техніки на біопальному:

$$\sum_{i=1}^{N_0} t_{ні \text{ біо}}^* = ((3 \cdot 1200) - 252) + ((13 \cdot 1200) - (3120 + 1092)) = 14736 \text{ м.г.}$$

Час витрачений на проведення ТО як для техніки, яка працювала на мінеральному пальному, так і для техніки, яка працювала на біопальному буде однаковим і дорівнює 1344 години.

$$\sum_{i=1}^{N_0} t_{ві \text{ мін}}^* = 1344 \text{ год.}$$

$$\sum_{i=1}^{N_0} t_{ві \text{ біо}}^* = 1344 \text{ год.}$$

Для розрахунку коефіцієнта готовності необхідно враховувати як час витрачений на ТО, так і час витрачений на ремонт і відновлення вузлів ПНВТ паливної системи, які вийшли з ладу, при випробуванні техніки (тобто повний час простою).



$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^{N_0} t_{\text{пі мин}}^* &= 1344 + 960 = 2304 \text{ год,} \\ \sum_{i=1}^{N_0} t_{\text{пі мин}}^* &= 1344 + 3120 = 4464 \text{ год.}\end{aligned}$$

Підставляючи отримані дані для техніки, ПНВТ якої працював на мінеральному пальному, в формулу (8) отримаємо коефіцієнт готовності:

$$K_{\text{Г мин}} = \frac{16896}{16896 + 1344} = 0,93.$$

Коефіцієнт готовності для техніки, ПНВТ якої працювала на біопальному дорівнює:

$$K_{\text{Г біо}} = \frac{14736}{14736 + 4464} = 0,77.$$

Для обчислення коефіцієнта технічного використання необхідно обчислити параметр φ , який показує частку часу перебування спостережуваних об'єктів в поточному ремонті по відношенню до часу перебування тих же об'єктів в працездатному стані:

$$\varphi = \sum_{i=1}^{N_0} t_{\text{ві}}^* / \sum_{i=1}^{N_0} t_{\text{ні}}^*, \quad (11)$$

$$\begin{aligned}\varphi_{\text{мін}} &= 2304 / 16896 = 0,136, \\ \varphi_{\text{біо}} &= 4464 / 14736 = 0,303.\end{aligned}$$

Тепер за формулою (10) розраховуємо коефіцієнт технічного використання для досліджуваної техніки при експлуатації на різних видах паливних:

$$\begin{aligned}K_{\text{ТВ мин}} &= 0,93(1 + 0,136 \cdot 0,93) = 0,826. \\ K_{\text{ТВ біо}} &= 0,77(1 + 0,303 \cdot 0,77) = 0,624.\end{aligned}$$

Висновок: Таким чином, використовуючи отримані залежності можна оцінити ступінь впливу різних видів паливних на надійність ПНВТ паливної системи дизельного двигуна використовуючи узагальнені показники надійності трактора в цілому, тобто коефіцієнти готовності і технічного використання. Аналіз запропонованої імовірнісної моделі надійності складної технічної системи дозволив виявити «слабку ланку» ПНВТ, які працювали на біопальних. Так, «слабкою ланкою» з точки зору надійності є ущільнення, середній ресурс яких становить 960 м.г., що в 4 рази



менше в порівнянні з паливними системами, які працюють на мінеральному дизельному пальному. Заміна інертних матеріалів ущільнень до агресивного середовища біопального дозволить підвищити надійність ПНВТ і трактора в цілому.

Список використаних джерел

1. Сухарев Э. А. Эксплуатационная надежность машин. Теория, методология, моделирование: учебное пособие. Ровно: НУВХП, 2006, 192 с.
2. Войтов В. А., Даценко М. С., Карнаух М. В. Особенности эксплуатации паливной аппаратуры дизельных сельскогосподарского назначения с использованием биологического топлива. *Техніка і технології АПК*. 2010. № 1. С. 13-18.
3. Девянин С. Н., Марков В. А., Семенов В. Г. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей. Москва: МГАУ, 2007. 340 с.
4. Журавель Д. П. Вплив технічного обслуговування і ремонту на надійність машин та обладнання при використанні біологічних рідин. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 1. DOI:10.31388/2220-8674-2020-1-3.
5. Журавель Д. П. Підвищення довговічності функціональних систем сільськогосподарської техніки при використанні біопаливно-мастильних матеріалів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК*. Київ, 2018. Вип. 282. С. 279-292.
6. Журавель Д. П. Моделювання процесу зношування прецизійних пар паливних систем мобільної техніки при експлуатації на біодизелі. *Праці ТДАТУ*. Вип. 18, т. 2. Мелітополь, 2018. С. 105-118.
7. Журавель Д.П. Підвищення ефективності використання мобільної сільськогосподарської техніки шляхом забезпечення оптимального складу сумішевих біодизельних палив. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2018. Вип. 8, т. 2. С. 91-107.
8. Молодик М. В. Наукові основи системи технічного обслуговування і ремонту машин в сільському господарстві. Кіровоград: КОД, 2009. 180 с.
9. Tziourtzioumis D., Demetriades L., Zogou O., Stamatelos A. M. Experimental investigation of the effect of a B70 biodiesel blend on a common-rail passenger car diesel engine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2009.



Vol. 223, № 5. P. 685–701. DOI: 10.1243/09544070jauto1094.

10. Lin B.-F., Huang J.-H., Huang D.-Y. Experimental study of the effects of vegetable oil methyl ester on DI diesel engine performance characteristics and pollutant emissions. *Fuel*. 2009. Vol. 88, № 9. P. 1779–1785. DOI: 10.1016/j.fuel.2009.04.006.

11. Conventional and in situ transesterification of sunflower seed oil for the production of biodiesel / K. G. Georgogianni et al. *Fuel Processing Technology*. 2008. Vol. 89, № 5. P. 503–509. DOI: 10.1016/j.fuproc.2007.10.004.

12. Janakiraman S., Lakshmanan T., Chandran V., Subramani L. Comparative behavior of various nano additives in a DIESEL engine powered by novel Garcinia gummi-gutta biodiesel. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 245. 118940. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118940.

13. Enzymatic production of biodiesel using lipase catalyst and testing of an unmodified compression ignition engine using its blends with diesel / Ja. Jayaraman et al. *Renewable Energy*. 2020. Vol. 145. P. 399-407. DOI: 10.1016/j.renene.2019.06.061.

14. Preheating of sunflower blended biodiesel for the improvement of performance characteristics of a DI diesel engine under various loads / A. K. Mohapatra et al. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019. Vol. 8, № 6. P. 921-926.

15. Thermodynamic fundamentals for fuel production management / K. Tucki et al. *Sustainability (Switzerland)*. 2019. Vol. 11, № 16. 4449.

16. Numerical and comparative study of butanol and ethanol diesel blends in a turbocharged compression ignition diesel engine / S. A. Ahmed et al. *International Agricultural Engineering Journal*. 2019. Vol. 28, № 2. P. 19-32. URL: <http://www.iaej.cn/EN/abstract/abstract880.shtml> (дата звернення: 10.10.2020).

17. A review of the performance and emission characteristics of a stationary diesel engine fueled by schleicheraoleosa oil methyl ester (Some), blends of neem biodiesel, Rice bran biodiesel, palm and palm Kernel oil, Jatropha oil / A. P. Senthil Kumar et al. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development* 9. 2019. (Special Issue 2). P. 857-861.

18. Emima Y., Rajesh M., Rao K. S. Experimental investigation on performance and exhaust emission characteristics of diesel engine using eesame blends with diesel and additive. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019. Vol. 8, № 1. P. 6-11.

19. Nagy A. L., Knaup J., Zsoldos I. A friction and wear study of laboratory aged engine oil in the presence of diesel fuel and oxymethylene ether. *Tribology - Materials, Surfaces and Interfaces*. 2019. Vol. 13, № 1. P. 20-30. DOI:10.1080/17515831.2018.1558026.



20. Singh P., Goel V., Chauhan S. R. Effects of dual biofuel approach for total elimination of diesel on injection system by reciprocatory friction monitor. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*. 2018. Vol. 232, № 9. P. 1068-1076.

21. Reddy M. S., Sharma N., Agarwal A. K. Effect of straight vegetable oil blends and biodiesel blends on wear of mechanical fuel injection equipment of a constant speed diesel engine. *Renewable Energy*. 2016. Vol. 99. P. 1008-1018.

22. Peng D.- X. 2016. Room temperature tribological performance of biodiesel (soybean oil). *Industrial Lubrication and Tribology*. 2016. Vol. 68, № 6. P. 617-623.

**ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ПАЛИВНОГО НАСОСА
ВИСОКОГО ТИСКУ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ПРИ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛЬНИХ
Журавель Д.П.**

Анотація

В роботі отримані результати ступеня впливу різних видів паливних на надійність паливного насоса високого тиску паливної системи дизельного двигуна, використовуючи коефіцієнт готовності і технічного використання, як узагальнених показників надійності трактора в цілому. Аналіз запропонованої імовірнісної моделі надійності складної технічної системи дозволив виявити «слабку ланку» ПНВТ, які працювали на біопальних. Так, «слабкою ланкою» з точки зору надійності є ущільнення, середній ресурс яких становив 960 м.г., що в 4 рази менше в порівнянні з паливними системами, які працювали на дизельному пальному. Заміна інертних матеріалів ущільнень до агресивного середовища біопального дозволить підвищити надійність ПНВТ і паливної системи трактора в цілому.

Ключові слова: біопальне, моделювання надійності, паливна система, паливний насос високого тиску, ймовірність відмови, ймовірність безвідмовної роботи, коефіцієнт готовності, коефіцієнт технічного використання.

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТОПЛИВНОГО НАСОСА
ВИСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ
ЭКСПЛУАТАЦИИ НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВ
Журавель Д.П.**

Аннотация

В работе получены результаты степени влияния различных видов топлива на надёжность топливного насоса высокого давления топливной системы дизельного двигателя, используя коэффициент готовности и технического использования, как обобщённых показателей надёжности трактора в целом. Анализ предложенной вероятностной модели надёжности сложной технической системы позволил выявить «слабое звено» ТНВД, работающих на биотопливах. Да, «слабым звеном» с точки зрения надёжности являются уплотнения, средний ресурс которых составлял 960 м.ч., что в 4 раза меньше по сравнению с топливными



системами, працюючими на дизельному паливі. Замена матеріалів ущільнень, які є інертними до агресивної середовища біопалива дозволить підвищити надійність ТНВД і паливної системи трактора в цілому.

Ключевые слова: биодизельное топливо, моделирование надежности, топливная система, топливный насос высокого давления, вероятность отказа, вероятность безотказной работы, коэффициент готовности, коэффициент технического использования.

FUEL PUMP RELIABILITY ASSESSMENT HIGH PRESSURE DIESEL ENGINE AT OPERATION ON VARIOUS TYPES OF FUEL

D. Zhuravel

Summary

The work focuses on the development and justification of a set of measures to ensure the operational reliability of machines during their operation. Which includes methods for determining the reliability indicators of real machines; forecasting and operational management of their technical condition; substantiation of the volumes and frequency of repair and maintenance actions; optimal preventative replacement strategy; calculation of the need for spare parts; rational organization of technical operation. Operational reliability can be considered one of the most important characteristics of a machine that synthesizes a number of quality indicators that enable it to perform its functions without fail, when used for its intended purpose, to preserve for a long time, and also to restore working capacity with minimal labor, time and material resources. The results of the degree of influence of various types of fuel on the reliability of the high-pressure fuel pump of a diesel engine fuel system, as well as the availability and technical utilization coefficient, as generalized indicators of the reliability of the tractor as a whole, are obtained. It has been established that one of the ways to increase the availability and technical use of the tractor can be to replace structural materials of the diesel engine fuel system with inert to aggressive biodiesel fuel. An analysis of the proposed probabilistic reliability model of a complex technical system made it possible to identify the "weak link" of fuel injection pumps operating on biofuels. Yes, the weak chain in terms of reliability are seals, the average resource of which is 960 mph, which is 4 times less compared to diesel fuel systems. Replacing inert seal materials in an aggressive biofuel environment will improve the reliability of the high-pressure fuel pump and the fuel system of the tractor as a whole.

Key words: biodiesel, reliability modeling, fuel system, high-pressure fuel pump, failure probability, failure-free operation probability, availability coefficient, technical use coefficient.