



УДК [621.892.3+662.756]

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-3

ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ НА НАДІЙНІСТЬ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БІОЛОГІЧНИХ РІДИН

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. В процесі експлуатації машин закономірно відбувається зниження показників їх якості (надійності) внаслідок зношування, старіння, перерозподілу напружень, зміни властивостей, чи стану матеріалів, порушення стабільності монтажу, регулювань, мащення [1].

Для підтримання показників надійності на належному рівні виконується комплекс заходів, які включають систематичний контроль і цілеспрямовані дії на попередження відмов і підтримання працездатного стану машин. Особливо актуальним є проблема підвищення ефективності та надійності функціональних систем мобільної техніки при використанні біопаливно-мастильних матеріалів.

Такий комплекс заходів передбачається системою технічного обслуговування і ремонту машин [2-7].

Аналіз останніх досліджень. В проаналізованих наукових роботах наведені основні положення щодо перспективних напрямів наукового забезпечення при експлуатації енергонасиченої техніки на мінеральних паливно-мастильних матеріалах (ПММ) нафтового походження [8-13].

Однак, необхідно розширити дослідження щодо напрямів підвищення надійності машин, як на етапах проектування, випробувань та експлуатації при використанні біологічних рідин.

Особливу увагу слід звернути на розвиток досліджень стосовно детального аналізу напрямів підвищення надійності машин у процесі поточного та агрегатного ремонту і модернізації техніки.

Потребують подальшого розвитку методичні розробки щодо визначення граничних і допустимих розмірів для складних сільськогосподарських машин, а саме: зернозбиральних, бурякозбиральних, кормозбиральних комбайнів та ін., при роботі на біопаливно-мастильних матеріалах [14-18].



Формулювання мети статті. Обґрунтування впливу технічного обслуговування і ремонту на надійність машин при експлуатації на біопаливно-мастильних матеріалах.

Основна частина. Система технічного обслуговування (ТО) та ремонту, за допомогою ремонтно-обслуговуючих впливів, забезпечує справний технічний стан тракторів та їх працездатність протягом всього періоду експлуатації [19-22]. Види ТО, їх періодичність та зміст єдині як для нових, так і капітально відремонтованих тракторів (Таблиця 1).

Таблиця 1 – Види і періодичність технічного обслуговування тракторів

Вид технічного обслуговування	Періодичність або умови проведенні технічного обслуговування
Щозмінне (ЩТО)	8...10 мото-год.
Перше (ТО-1)	125 мото-год.
Друге (ТО-2)	500 мото-год.
Третє (ТО-3)	1000 мото-год.
При обкатці (ТО-О)	Перед початком, в процесі та по завершенні обкатки
Сезонне при переході до весняно-літнього періоду експлуатації (СТО-ВЛ)	При сталій середньодобовій температурі навколишнього повітря вище + 5 °С
Сезонне при переході до осінньо-зимового періоду експлуатації (СТО-ОЗ)	При сталій середньодобовій температурі навколишнього повітря нижче + 5 °С
В особливих умовах експлуатації трактора	В умовах пустелі і піщаних ґрунтів; при тривалих низьких і підвищених температурах; на кам'янистих ґрунтах; в умовах високогір'я; на болотистих ґрунтах
При підготовці до тривалого зберігання	Не пізніше 10 днів з моменту закінчення періоду використання
В процесі тривалого зберігання	Один раз на місяць при зберіганні на відкритих майданчиках і під навісом; один раз в два місяці при зберіганні в закритих приміщеннях
При знятті з тривалого зберігання	За 15 днів до початку використання

Існуюча система періодичності технічних обслуговувань, на прикладі тракторів класу 1,4, передбачає проведення ТО-1 через 125 мото-годин наробітку, ТО-2 через 500 і ТО-3 через 1000 мото-годин.

У випадку, коли наробіток на відмову описується нормальним законом розподілу випадкових величин, ймовірність безвідмовної роботи трактора перед першим технічним обслуговуванням ($t=125$ мото-годин) можна описати залежністю [11]:

$$P_1(t) = 1 - \frac{1}{\sigma_1 \cdot \sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(t-t_{c1}^-)^2}{2\sigma_1^2}} dt, \quad (1)$$

де t – наробіток трактора, що дорівнює 125 мото-годин;

де t_{c1}^- – середній наробіток на відмову до виконання операцій ТО-1, мото-годин;

σ_1 – середнє квадратичне відхилення наробітку на відмову до виконання операцій ТО-1, мото-годин.

В процесі виконання операції ТО-1 щодо перевірки рівня мастил і рідин і доведення їх до належного рівня, а також виконання регулювальних операцій, ймовірність безвідмовної роботи трактора підвищиться на величину $\Delta P_{TO-1}(t)$ і стане рівною:

$$P_2(t) = 1 - \frac{1}{\sigma_2 \cdot \sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(t-t_{c2}^-)^2}{2\sigma_2^2}} dt, \quad (2)$$

де t_{c2}^- – середній наробіток на відмову після виконання операцій ТО-1, мото-годин;

σ_2 – середнє квадратичне відхилення наробітку на відмову після виконання операцій ТО-1, мото-годин.

Підвищення ймовірності безвідмовної роботи трактора після ТО-1 складе:

$$\Delta P_{TO-1}(t) = P_1(t) - P_2(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[\frac{1}{\sigma_1} \int_0^t e^{-\frac{(t-t_{c1}^-)^2}{2\sigma_1^2}} dt - \frac{1}{\sigma_2} \int_0^t e^{-\frac{(t-t_{c2}^-)^2}{2\sigma_2^2}} dt \right]. \quad (3)$$

Аналогічно можна доказати і визначення підвищення ймовірності безвідмовної роботи трактора після ТО-2 – $\Delta P_{TO-1}(t)$, та після ТО-3 – $\Delta P_{TO-1}(t)$.

Більш значне підвищення ймовірності безвідмовної роботи трактора після ТО-2 та ТО-3 забезпечується за рахунок виконання регулювальних операцій і перевірки технічного стану всіх механізмів



систем трактора, заміни фільтруючих елементів, проведення повного мащення.

Аналогічні теоретичні викладки можна привести і для інших видів техніки.

Для нових марок машин прогнозу безвідмовність роботи слід оцінювати γ - відсотковим наробітком на відмову, величину якого слід приймати не нижче $\gamma = 0,8$, тобто 80- відсотковим.

Якщо врахувати, що

$$t_{80} = t_c - U_{0,8} \cdot \sigma, \quad \text{а} \quad V = \frac{\sigma_1}{t_1} = \frac{\sigma_2}{t_2}, \quad (4)$$

де $U_{0,8}$ – квантіль нормального розподілу;

V – коефіцієнт варіації наробітку на відмову.

Для ймовірності $\gamma = 0,8$ і $U_{0,8} = 0,841$, формулу (3) для будь-яких випадків проведення ТО можна записати у вигляді:

$$\Delta P(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[\frac{1}{\sigma_1} \int_0^{t-0,841\sigma_1} e^{-\frac{(t-t_c)^2}{2\sigma_1^2}} dt - \frac{1}{(1 \cdot t_2)^2} \int_0^{t-0,841 \cdot V t_2} e^{-\frac{(t-t_c)^2}{2(V \cdot t_2)^2}} dt \right]. \quad (5)$$

Для випадків розподілу випадкових величин за законами Вейбулла і логарифмічно нормального залежність (5) запишеться відповідно у вигляді:

$$\Delta P(t) = e^{\frac{t^k}{t_2^k}} - e^{\frac{t^k}{t_1^k}}, \quad (6)$$

$$\Delta P(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[\frac{1}{t_2 \sigma \ln t_2} \int_0^{t_2} e^{-\frac{(\ln t_2 - a_{\ln t_2})^2}{2\sigma^2 \ln t_2}} dt - \frac{1}{t_1 \sigma \ln t_1} \int_0^{t_1} e^{-\frac{(\ln t_1 - a_{\ln t_1})^2}{2\sigma^2 \ln t_1}} dt \right]. \quad (7)$$

Наведені теоретичні залежності дозволяють на підставі даних про відмови нової техніки не тільки прогнозувати безвідмовність, а і обґрунтовано призначати періодичність технічних обслуговувань і ремонтів з гарантуванням γ -відсоткового ресурсу роботи техніки в період експлуатації.

Зниження ресурсу функціональних систем сільськогосподарської техніки при роботі на біологічних ПММ пояснюється активною дією метанолів біологічних ПММ на матеріали усіх елементів функціональних систем СГТ, що призводить до руйнування поверхонь і збільшення зносу пар тертя.

Ймовірності безвідмовної роботи сільськогосподарської техніки при роботі на мінеральних і біологічних ПММ наведені на рисунку 1.

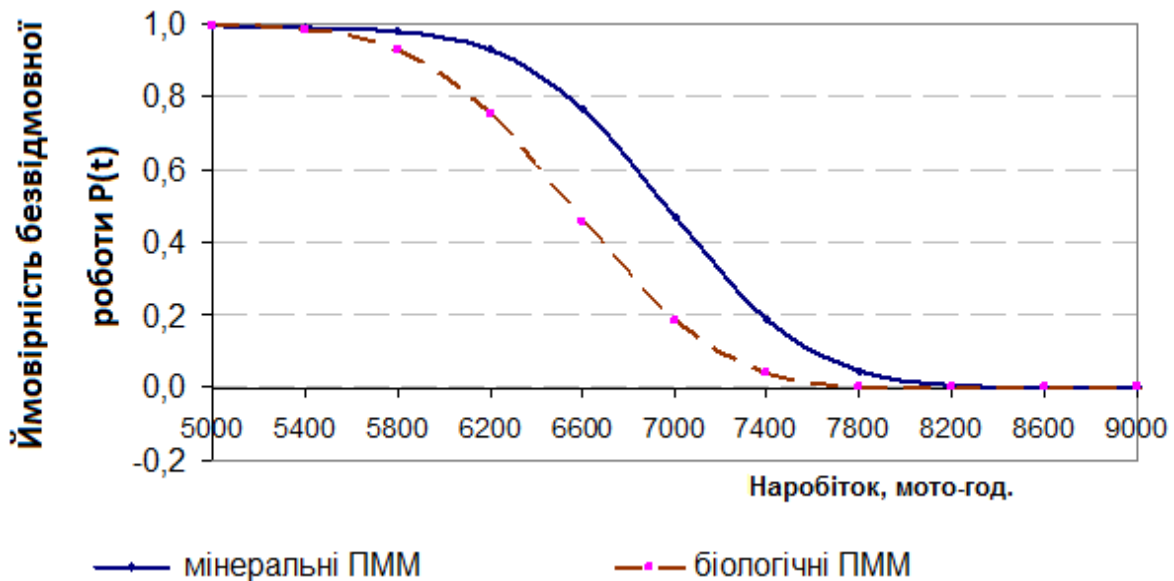


Рис. 1. Ймовірності безвідмовної роботи сільськогосподарської техніки при роботі на мінеральних і біологічних паливно-мастильних матеріалах

Середній ресурс наробітку функціональних систем сільськогосподарської техніки при роботі на мінеральних ПММ складає 15667 мото-годин, а при роботі на біологічних ПММ, складає 14465 мото-год., що дає зниження загального середнього ресурсу, в порівнянні з роботою на мінеральних ПММ, на 7,67 %.

Висновки. При переході на біологічні ПММ трудомісткість ремонтно-обслуговуючих заходів збільшується на 4,5 %, за рахунок збільшення ТО-1 на три і ТО-2 на одне в розрахунку на 6000 мото-годин напрацювання. Зниження ресурсу з 6000 мото-годин до 5360 мото-годин збільшує кількість технічних оглядів до нормованого терміну.

Встановлено, що зниження ресурсу елементів і систем СГТ при роботі на біологічних ПММ пояснюється активним впливом метанолу біодизельного пального і вільних жирних кислот біооливи на матеріали основних елементів дизельного двигуна, системи змащення, гідростатичних і механічних трансмісій, гідросистем. Це призводить до руйнування поверхонь і збільшення зносів деталей трибоспрямижень. Падіння ресурсу відбувається через низьку стійкість ущільнюючих елементів, виготовлених із синтетичних каучуків, які активно взаємодіють з вільними жирними кислотами біпаливно-мастильних матеріалів.

Список використаних джерел

1. Антонов А. В., Никулин М. С. Статистические модели в теории надежности: учебное пособие. Москва: Абрис, 2012. 390 с.
2. Войтов В. А., Даценко М. С., Карнаух М. В. Особливості експлуатації паливної апаратури дизелів сільськогосподарського призначення з використанням біологічного палива. *Техніка і технології АПК*. 2010. №1. С. 13-18.
3. Войтов В. А., Даценко М. С., Карнаух М. В. Собівартість виробництва біодизеля на базі метилових ефірів жирних кислот рослинних олив. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. Харків, 2010. Вип. 94: Проблеми технічної експлуатації машин. Системотехніка і технології лісового комплексу. С. 270–277.
4. Войтов В. А., Даценко М. С., Карнаух М. В. Техніко-експлуатаційні та екологічні показники дизельних двигунів при застосуванні біодизеля. *Техніка і технології АПК*. 2009. № 1. С. 13-17.
5. Войтюк В. Д. Техніко-технологічний розвиток системи сервісу енергонасиченої сільськогосподарської техніки: дис... докт. техн. наук: 05.05.11. Мелітополь, 2012. 448 с.
6. Девянин С. Н., Марков В. А., Семенов В. Г. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей. Москва: Издательский центр ФГОУ ВПО МГАУ, 2007. 340 с.
7. Журавель Д. П. Методологія оцінки надійності мобільної сільсько-господарської техніки при експлуатації на різних видах паливо-мастильних матеріалів. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. Суми, 2016. Вип. 10/3(31). С.66-71.
8. Журавель Д. П. Підвищення довговічності функціональних систем сільськогосподарської техніки при використанні біопаливно-мастильних матеріалів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. Київ, 2018. Вип. 282. С.279-292.
9. Журавель Д. П. Моделювання процесу зношування прецизійних пар паливних систем мобільної техніки при експлуатації на біодизелі. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2018. Вип. 18, т. 2. С. 105-118.
10. Журавель Д. П. Підвищення ефективності використання мобільної сільськогосподарської техніки шляхом забезпечення оптимального складу сумішевих біодизельних паливних. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2018. Вип.8, т. 2. С. 91-107.
11. Молодик М. В. Наукові основи системи технічного



обслуговування і ремонту машин в сільському господарстві. Кіровоград: КОД, 2009.180 с.

12. Candeia, R. A., Silva M. C. D., Carvalho Filho J. R., Brasilino M. G. A., Bicudo T. C., Santos I. M. G., Souza A. G. Influence of soybean biodiesel content on basic properties of biodiesel-diesel blends. *Fuel*. 2009. Vol. 88, Issue 4. P. 738–743. **DOI:** 10.1016/j.fuel.2008.10.015.

13. 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, Issue 5. P. 685–701. **DOI:** 10.1243/09544070jauto1094.

14. 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 Processing Technology*. 2009. Vol. 88, Issue 9. P. 1779–1785. **DOI:** 10.1016/j.fuel.2009.04.006

15. Georgogianni K. G. Kontominas M. G., Pomonis P. J., Avlonitis D., Gergis V. Conventional and in situ transesterification of sunflower seed oil for the production of biodiesel. *Fuel Processing Technology*. 2008. Vol. 89, Issue 5. P. 503–509. **DOI:** 10.1016/j.fuproc.2007.10.004.

16. 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. Article 118940.

17. Jayaraman J., Alagu K., Appavu P., Jayaram P., Mariadoss A. Enzymatic production of biodiesel using lipase catalyst and testing of an unmodified compression ignition engine using its blends with diesel. *Renewable Energy*. 2020. Vol.145. P. 399–407.

18. Mohapatra A.K., Senapati A.K., Jha G., Sharma K., Kumar P. Preheating of sunflower blended biodiesel for the improvement of performance characteristics of a DI diesel engine under various loads. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019. Vol. 8(6). P. 921-926.

19. Tucki K., Mruk R., Orynycz O., Wasiak A., Świć A. Thermodynamic fundamentals for fuel production management. *Sustainability(Switzerland)*. 2019. Vol. 11(16). P. 4449. **DOI.org/10.3390/su11164449.**

20. Ahmed S. A., Zhou S., Zhu Y., (...), Malik A., Huang Y. Numerical and comparative study of butanol and ethanol diesel blends in a turbocharged compression ignition diesel engine. *International Agricultural Engineering Journal*. 2019. Vol. 28(2). P. 19-32.

21. 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.

22. 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.

23. Peng D. X. Room temperature tribological performance of biodiesel (soybean oil). *Industrial Lubrication and Tribology*. 2016. Vol. 68(6). P. 617-623.

ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ НА НАДІЙНІСТЬ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БІОЛОГІЧНИХ РІДИН

Журавель Д. П.

Анотація

Робота присвячена обґрунтуванню впливу технічного обслуговування і ремонту на надійність машин при експлуатації на біологічних паливно-мастильних матеріалах. Результати моделювання свідчать, що при існуючих характеристиках надійності тракторів і співвідношення вартості ремонтів найбільш економічним способом підтримки машини в працездатному стані є поточні профілактичні ремонти з діагностуванням. На підставі проведених досліджень, встановлено, що зниження ресурсу елементів і систем мобільної сільськогосподарської техніки при роботі на біологічних паливно-мастильних матеріалах пояснюється активним впливом метанолу біодизельного пального і вільних жирних кислот біооливи на матеріали основних елементів дизельного двигуна, системи змащення, гідростатичних і механічних трансмісій, гідросистем. Це призводить до руйнування поверхонь і збільшення зносів деталей трибоспряжень. Падіння ресурсу відбувається також через низьку стійкість ущільнюючих елементів, виготовлених із синтетичних каучуків, які активно взаємодіють з вільними жирними кислотами біологічних рідин. Встановлено, що при переході на біологічні паливно-мастильні матеріали трудомісткість ремонтно-обслуговуючих заходів збільшується на 4,5 %, за рахунок збільшення ТО-1 на три обслуговування і ТО-2 на одне обслуговування, при терміні напрацювання - 6000 мото-годин.

Ключові слова – технічне обслуговування, ресурс, надійність, біологічні паливно-мастильні матеріали, ймовірність безвідмовної роботи, знос, працездатний стан.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА НА НАДЕЖНОСТЬ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

Журавель Д. П.

Аннотация

Работа посвящена обоснованию влияния технического обслуживания и ремонта на надежность машин при эксплуатации на биотопливо-смазочных материалах. Результаты моделирования показывают, что при существующих характеристиках надежности тракторов соотношение стоимости ремонтов



наиболее экономичным способом поддержки машины в работоспособном состоянии является текущие профилактические ремонты с диагностированием. На основании проведенных исследований установлено, что снижение ресурса элементов и систем мобильной сельскохозяйственной техники при работе на биологических горюче-смазочных материалах объясняется активным влиянием метанола биодизельного горючего и свободных жирных кислот биомасла на материалы основных элементов дизельного двигателя, системы смазки, гидростатических и механических трансмиссий, гидросистем. Это приводит к разрушению поверхностей и увеличению износов деталей трибосопряжений. Падение ресурса происходит также из-за низкой устойчивости уплотнительных элементов, изготовленных из синтетических каучуков, которые активно взаимодействуют со свободными жирными кислотами биологических жидкостей. При переходе на биологические ГСМ трудоемкость ремонтно-обслуживающих мероприятий увеличивается на 4,5 %, за счет увеличения ТО-1 на три и ТО-2 – на одно, в расчете на 6000 мото-часов наработки.

Ключевые слова - техническое обслуживание, ресурс, надежность, биологические топливо-смазочные материалы, вероятность безотказной работы, износ, работоспособное состояние.

INFLUENCE OF MAINTENANCE AND REPAIR ON THE RELIABILITY OF MACHINES AND EQUIPMENT WHEN USING BIOLOGICAL LIQUIDS

D.Zhuravel

Summary

The work is devoted to the justification of the impact of maintenance and repair on the reliability of machines when operating on biofuel-lubricants. The simulation results show that with the existing tractor reliability characteristics and the ratio of the cost of repairs, the most cost-effective way of keeping the machine in working order is ongoing preventive repairs with diagnosis. The so-called "capital repairs" of tractors carried out at repair shops, due to the high cost, are not economically justified. Compared to preventive maintenance, they lead to an increase in total costs with damage from downtime by 24–40%, with an increase in the number of failures by 7–13% and a duration of downtime by 13–42%. In this work, under the repair strategy should be the recovery of the machine through maintenance operations, replacement or simple repair (without the use of sophisticated equipment) of one or more parts. Current repair is considered, which involves the simultaneous elimination of several failures and / or the execution of works aimed at their prevention. In the latter case, such a repair is called current preventive. Based on the studies, it was found that the reduction in the life of elements and systems of mobile agricultural equipment when working on biological fuels and lubricants is explained by the active influence of methanol of biodiesel fuel and bio-free fatty acids on materials of the main elements of a diesel engine, lubrication system, hydrostatic and mechanical transmissions, hydraulic systems.

This leads to the destruction of surfaces and an increase in wear of the parts of the friction units. The fall of the resource is also due to the low stability of sealing elements made of synthetic rubbers, which actively interact with free fatty acids of biological fluids. When switching to biological fuels, the complexity of repair and service measures increases by 4,5% due to the increase of TO-1 for three and TO-2 for one in the calculation of 6000 operating hours.

Key words - maintenance, resource, reliability, biological fuel and lubricants, probability of trouble-free operation, wear and tear, working condition.