



УДК. 631.3.004:621.892

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-3

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ГІДРОСИСТЕМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ШЛЯХОМ ОЧИЩЕННЯ РОБОЧИХ 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. Гідравлічна олива виконує одну із основних функцій передачі механічної енергії та змащувального середовища. Своєчасна заміна робочої рідини забезпечить нормальну роботу гідросистеми і дасть змогу продовжити термін служби її компонентів. Необхідність в заміні нової оливи, або очищеної обумовлена потраплянням вологи, окалин, металевих часток (результат зносу деталей), кремнієвий пісок, гума, пластик, фарба.

Забруднення оливи може призвести до: зносу гідравлічного обладнання і зниження ефективності його роботи; прискоренню процесу окислення оливи; до розкладання оливи, емульгування, утворення іржі і корозії; деформації насоса і штока гідроциліндра; виходу з ладу клапанів; вироблення, зносу посадочних місць золотників, їх заклинювання; виходу з ладу гидромоторів і гідронасосів; зносу, заклинювання плунжерних пар, качаючих вузлів; виходу з ладу гідравлічного розподільника; підвищеного зносу ущільнень гідроциліндрів, гидромоторів, гідронасосів і т.д; перегрів гідравлічної системи. Тому для продовження терміну служби оливи і механізмів устаткування необхідно проводити їх планову заміну або очищення за допомогою спеціального фільтруючого обладнання [1-4].

Аналіз останніх досліджень. Більше 80% відмов гідравлічного обладнання відбувається через забруднення оливи дрібно- і крупнодисперсними забруднювачами (тверді частинки, вода, повітря і т.д). Очищення гідравлічної оливи - одна з основних заходів по запобіганню внутрішніх частин від корозії і механічного зносу, яке включає промивку та очищення системи трубопроводів з метою видалення з них сторонніх речовин і осадів. При цьому проводиться часткове або повне розбирання трубопроводу [2-4]. Періодичність заміни, очищення гідравлічної оливи повинна здійснюватися кожні 8-9 місяців (2000 мото-год) щоденної експлуатації обладнання, але не рідше одного разу на рік.



Продовження строку служби олив дозволяє заощадити кошти на простій техніки, технічне обслуговування і ремонт обладнання [5-8]. Нині існує багато методів видалення частинок твердої дисперсної фази (ТДФ) із робочих рідин. Усі їх умовно можна розділити на три види: фільтрація – метод очищення рідин від твердих, а в ряді випадків і від рідких забруднень при пропусканні її через пористі перегородки; використання силових полів – метод заснований на ефекті взаємодії частинок ТДФ із силовими полями. Використовують поля різної природи: гравітаційні, магнітні, відцентрові, електростатичні, поля, які генеруються ультразвуковими коливаннями; фізико-хімічне очищення – метод заснований на відмінностях дисперсного середовища і дисперсійної фази [2,9-15]. До такого методу відноситься очищення і зневоднення робочих рідин силікагелями або цеолітами, масообмінна сушка, виморожування вільної і емульсійної води та ін. Сучасні засоби очищення робочих рідин повинні відповідати наступним вимогам: забезпечувати високу точність очищення незалежно від природи, концентрації і розмірів частинок ТДФ; мати постійну пропускну здатність і забезпечувати ефективність роботи незалежно від часу наробітку і об'єму рідини, яка очищається; володіти значною брудоемністю з метою збільшення міжпромивочного ресурсу і повного ресурсу установки та ін. [16-21].

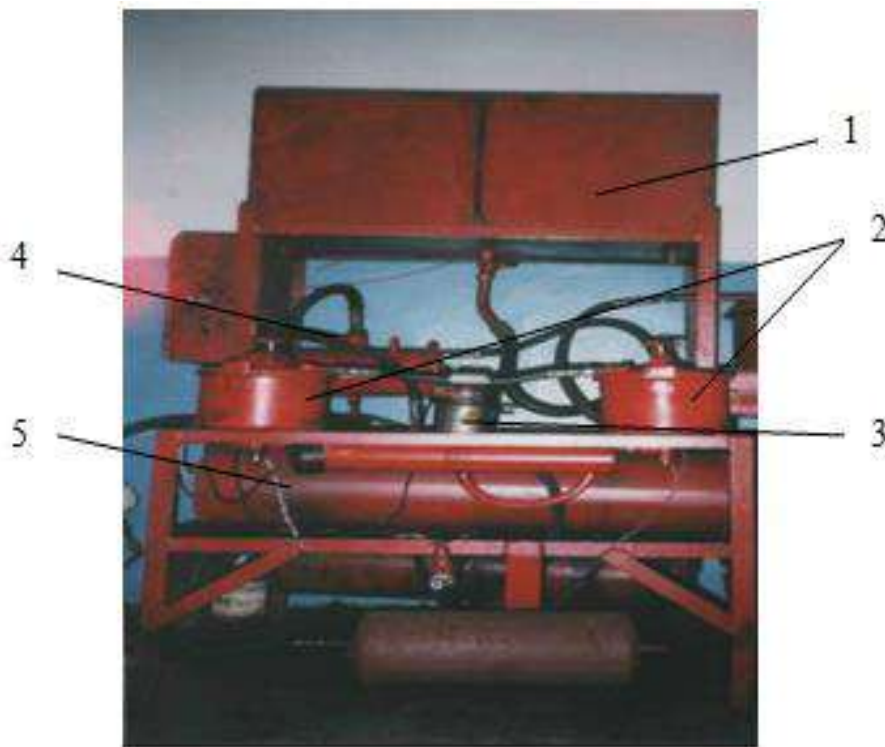
Формулювання мети статті. Обґрунтування методики та устаткування для очищення робочих рідин з метою продовження строку їх служби і подальшого забезпеченням експлуатаційної надійності гідравлічних систем сільськогосподарської техніки.

Основна частина. Результати проведених досліджень, показали, що найбільш доцільніше використовувати комбіновані методи очищення відпрацьованих гідравлічних олив за допомогою різного роду фільтрів. Нами була розроблена установка для очищення відпрацьованих гідравлічних олив, використовуючи саме комбіновані методи. Технічна характеристика установки наведено в таблиці 1, а загальний вигляд показано на рис.1.

Таблиця 1

Технічна характеристики установки для очищення відпрацьованих гідравлічних олив

№ п/п	Показники	Значення
1	Пропускна здатність, л/хв	0,3
2	Ступінь очищення, %, не менше	85
3	Гідравлічний опір, Па	180×10^3
4	Споживана потужність, кВт, не більше	1,5
5	Напруга живлення, В	220
6	Рід току	перемінний
7	Швидкість на вхідному патрубку, м/с	0,1



1-бак для відпрацьованої оливи; 2-перколяційний фільтр адсорбер; 3-електромагнітний фільтр; 4 - випарник легко киплячих фракцій; 5- бак для очищеної оливи.

Рис. 1. Загальний вигляд установки для очищення відпрацьованих гідравлічних олив

Принцип роботи установки для очищення відпрацьованих гідравлічних олив полягає в послідовному проходженні підігрітої відпрацьованої гідравлічної оливи через перколяційний фільтр-адсорбер (2), де відбувається її очищення від продуктів зносу і окислення, електромагнітний фільтр (3), де відбувається її очищення від феромагнітних домішок, випарник легко киплячих фракцій (4), де відбувається її очищення від води і палив.

Перколяційний фільтр-адсорбер складається із корпусу, вхідного і вихідного патрубків, кришки і фільтруючого пакету. В якості адсорбенту використовувався модифікований кремнезем, який є широко розповсюдженим природним матеріалом. Процес очищення полягає в проходженні забрудненої оливи через шар адсорбенту. При цьому відбувається відділення частинок твердо дисперсної фази, води та органічних з'єднань золистого характеру.

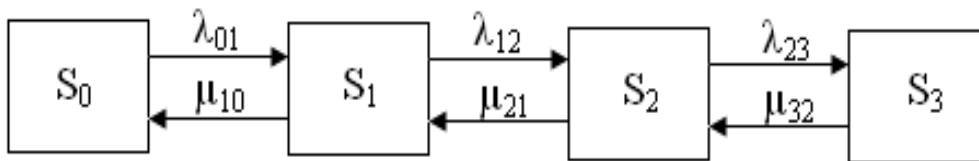
Фільтр електромагнітний (ФЕМ) складається із корпусу, вхідного і вихідного патрубків, кришки, стакана і феромагнітної засипки – сталевого дробу. В процесі проходження оливи через ФЕМ відбувається очищення її від феромагнітних частинок. В електромагнітній системі «котушка – дріб - корпус» створюється

електромагнітне поле, при цьому феромагнітні частинки утримуються в місцях контакту сталевих дробинок.

Випарник легко киплячих фракцій складається із корпусу, в який вставлений циліндр з нагрівальним елементом, вхідного і вихідного патрубків, датчика температури, кришки. При досяганні температури зовнішньої поверхні циліндра, яка відповідає виділенню легко киплячих фракцій, спрацьовує датчик температури, відкривається вентиль і подається олива. В процесі цього із оливи виділяються домішки палива і води. Після чого олива поступає в бак очищеної оливи.

В результаті очищення відпрацьованої гідравлічної оливи установкою, забрудненість зменшилась з 0,91% мас до 0,06% мас, що відповідає 17-му класу чистоти, згідно ГОСТ 17216.

Виконаємо теоретичну оцінку надійності системи очищення відпрацьованих гідравлічних оливи. Систему очищення представимо у вигляді графа станів, який наведено на рис. 2.



S_0 - справний стан системи очищення;

S_1 - вихід з ладу перколяційних фільтрів-адсорберів;

S_2 - вихід з ладу електромагнітного фільтра;

S_3 - вихід з ладу випарника легко киплячих фракцій.

Рис. 2. Граф станів системи очищення відпрацьованої гідравлічної оливи

Вже згадана система має 4 стани, які описані вище. Всі переходи системи зі стану S_a в S_b відбуваються під впливом найпростіших потоків подій з інтенсивностями λ (a, b).

Так, перехід системи зі стану S_0 в S_1 буде відбуватися під впливом потоку відмов першого вузла, а зворотній перехід зі стану S_1 в S_0 - під впливом потоку "закінчень ремонтів" першого вузла і т.п.

Потік відмов фільтрів приймаємо як найпростіший, і час між відмовами в цьому потоці розподіляється по показовому закону і визначається параметрами інтенсивності відмов:

$$\lambda = \frac{1}{t_6}, \quad (1)$$



де t_6 – середній час безвідмовної роботи фільтра.

Час між відновленнями також розподіляється по показовому закону і також визначається параметрами інтенсивності відновлення:

$$\mu = \frac{1}{t_p}, \tag{2}$$

де t_p - середній час відновлення справного стану заміною фільтра.

Використовуючи правило Колмогорова (рівняння граничних ймовірностей), запишемо систему диференціальних рівнянь ймовірностей станів для рис.1.

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp_0}{dt} &= -\lambda_{01}p_0 + \mu_{10}p_1 \\ \frac{dp_1}{dt} &= \lambda_{01}p_0 - \lambda_{12}p_1 + \mu_{12}p_2 - \mu_{10}p_1 \\ \frac{dp_2}{dt} &= \lambda_{12}p_1 - \mu_{21}p_2 - \lambda_{23}p_2 + \mu_{32}p_3 \\ \frac{dp_3}{dt} &= \lambda_{23}p_2 - \mu_{32}p_3 \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

Якщо ліві частини рівнянь прирівняти до нуля, то отримаємо систему алгебраїчних рівнянь граничних станів. Використовуючи нормувальну умову:

$$p_0 + p_1 + p_2 + p_3 = 1, \tag{4}$$

а також умову, що при $t = 0$, $p_0 = 1$, отримаємо вирази для визначення ймовірності знаходження досліджуваних фільтрів в справному стані:

$$P_{0П} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} + \frac{\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{21}\mu_{10}} + \frac{\lambda_{23}\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{32}\mu_{21}\mu_{10}}}. \tag{5}$$

Ймовірність відмови перколяційних фільтрів-адсорберів визначається за формулою:



$$P_{1П} = \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} P_{0П} \quad (6)$$

Імовірність відмови електромагнітного фільтра визначається за формулою:

$$P_{2П} = \frac{\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{21}\mu_{10}} P_{0П} \quad (7)$$

Імовірність відмови випарника легко киплячих фракцій визначається за формулою:

$$P_{3П} = \frac{\lambda_{23}\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{32}\mu_{21}\mu_{10}} P_{0П} \quad (9)$$

Якщо взяти за пропускну здатність установки 0,3 л/хв, то інтенсивності відмов розподіляться таким чином:

$$\lambda_{01} = 1/3 = 0,333, \lambda_{12} = 1/6 = 0,167, \lambda_{23} = 1/12 = 0,083.$$

Інтенсивності відновлення розподіляться таким чином:

$$\mu_{10} = 3, \mu_{21} = 2, \mu_{31} = 1.$$

Розраховуємо ймовірність знаходження досліджуваних фільтрів в справному стані:

$$P_{0П} = \frac{1}{1 + \frac{0,333}{3} + \frac{0,167 \cdot 0,333}{2 \cdot 1} + \frac{0,083 \cdot 0,167 \cdot 0,333}{3 \cdot 2 \cdot 1}} =$$

$$= \frac{1}{1 + 0,111 + 0,0278 + 0,00077} = 0,87827.$$

Розраховуємо ймовірність відмови фільтрів:

- перколяційних фільтрів-адсорберів:

$$P_{1П} = \frac{0,333}{3} \cdot 0,87827 = 0,09749.$$

- електромагнітного фільтра:

$$P_{2П} = \frac{0,167 \cdot 0,333}{2 \cdot 1} \cdot 0,87827 = 0,02442.$$



- випарника легко киплячих фракцій :

$$P_{3п} = \frac{0,083 \cdot 0,167 \cdot 0,333}{3 \cdot 2 \cdot 1} \cdot 0,87827 = 0,00002027.$$

Висновок. Таким чином, використовуючи отримані залежності можна оцінити ступінь впливу різних методів фільтрації на надійність системи очищення відпрацьованої гідравлічної оливи. В результаті очищення відпрацьованої гідравлічної оливи установкою, забрудненість зменшилась з 0,91% мас до 0,06% мас, що відповідає 17-му класу чистоти, згідно ГОСТ 17216.

Список використаних джерел

1. Сухарев Э. А. Эксплуатационная надежность машин. Теория, методология, моделирование: учебное пособие. Ровно: НУВХП, 2006. 192 с.
2. Топілін Г. Є., Уминський С. М., Інютін С. В. Використання гідродинамічних апаратів у технологічних процесах. Одеса: ОДАУ, 2009. 183 с.
3. Надійність сільськогосподарської техніки: підручник / за ред. М. І. Черновола. 2-ге вид., переробл. і допов. Кіровоград: КОД, 2010. 168 с.
4. Молодик М. В. Наукові основи системи технічного обслуговування і ремонту машин в сільському господарстві: монографія. Кіровоград: КОД, 2009. 180 с.
5. Журавель Д. П. Рациональне використання біологічних олив для мобільних енергетичних засобів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-9.
6. 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.
7. 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.
8. 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.

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. Comparative behavior of various nano additives in a DIESEL engine powered by novel *Garcinia gummi-gutta* biodiesel / S. Janakiraman et al. *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 / J. 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. DOI: 10.35940/ijeat.F8228.088619.

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.

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. Kumar et al. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development* 9. 2019. № 2. P. 857-861.

18. Emima Y., Rajesh M., Rao K. S. Experimental investigation on performance and exhaust emission characteristics of diesel engine using



sesame 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. DOI:10.1177/1350650117737874.

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

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ГІДРОСИСТЕМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ШЛЯХОМ ОЧИЩЕННЯ РОБОЧИХ РІДИН

Журавель Д.П.

Анотація

В роботі обґрунтована методика та устаткування для очищення робочих рідин з метою продовження строку їх служби і подальшого забезпечення експлуатаційної надійності гідравлічних систем сільськогосподарської техніки. Розроблено та досліджено математичні моделі надійності системи очищення відпрацьованих гідравлічних олив. Отримано ймовірності станів, які покладені в основу визначення комплексних показників надійності гідравлічної системи сільськогосподарської техніки. В цілому надійність всієї гідравлічної системи залежить від надійності всіх її елементів, а також від якісних показників робочих рідин. Приведена технічна характеристика установки для очищення відпрацьованих гідравлічних олив та її принцип дії.

Ключові слова: система очищення, надійність системи, відпрацьована гідравлічна олива, фільтрація, граф станів, інтенсивність і ймовірність відмови, інтенсивність відновлення, ресурс.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОСИСТЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПУТЕМ ОЧИСТКИ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Журавель Д.П.

Аннотация

В работе обоснована методика и оборудование для очистки рабочих жидкостей с целью продления срока их службы и дальнейшего обеспечением



эксплуатационной надежности гид-равличних систем сельскохозяйственной техники. Разработаны и исследованы математические модели надежности системы очистки отработанных гидравлических масел. Получены вероятности состояний, которые положены в основу определения комплексных показателей надежности гидравлической системы сельскохозяйственной техники. В целом надежность всей гидравлической системы зависит от надежности всех ее элементов, а также от качественных показателей рабочих жидкостей. Приведена техническая характеристика установки для очистки отработанных гидравлических масел и ее принцип действия.

Ключевые слова: система очистки, надежность системы, отработанное гидравлическое масло, фильтрация, граф состояний, интенсивность и вероятность отказа, интенсивность восстановления, ресурс.

HYDRAULIC SYSTEM RELIABILITY AGRICULTURAL MACHINERY BY CLEANING WORKING LIQUIDS

D. Zhuravel

Summary

The work substantiates the methodology and equipment for cleaning working fluids with the aim of extending their service life and further ensuring the operational reliability of hydraulic systems of agricultural machinery. Oil contamination can lead to: deterioration of hydraulic equipment and reduced efficiency; accelerating the process of oxidation of oil; to oil decomposition, emulsification, rust and corrosion; deformation of the pump and the rod of the hydraulic cylinder; failure of valves; development, wear of seats of spools, their jamming; failure of hydraulic motors and hydraulic pumps; wear, jamming of plunger pairs, rocking nodes; failure of the hydraulic distributor; increased wear of seals of hydraulic cylinders, hydraulic motors, hydraulic pumps, etc.; hydraulic system overheating. Therefore, to extend the life of the oils and machinery mechanisms, it is necessary to carry out their planned replacement or cleaning with the help of special filtering equipment. Mathematical models of the reliability of the system for cleaning used hydraulic oils have been developed and investigated. The probabilities of the states that underlie the definition of complex indicators of the reliability of the hydraulic system of agricultural machinery are obtained. In general, the reliability of the entire hydraulic system depends on the reliability of all its elements, as well as on the quality indicators of the working fluids. The main existing methods of purification of chemical-chemical indicators of working fluids are substantiated. The technical characteristic of the installation for cleaning used hydraulic oils and its operation principle are given.

Keywords: cleaning system, system reliability, spent hydraulic oil, filtration, state graph, failure rate and probability, recovery rate, resource.