

**DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-2**

УДК 631.3–192:662.63

Д. П. Журавель, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-6100-895X

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

e-mail: dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua, тел.: +380968782453

## **СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ГІДРОСИСТЕМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БІОЛОГІЧНИХ РОБОЧИХ РІДИН**

*Анотація.* в роботі обґрунтовано модель надійності, що дозволяє за статистичними характеристиками напрацювання на відмову їх елементів отримувати нормовані в технічних умовах усереднені значення часу на виконання технологічних операцій з технічного обслуговування та ремонту гідравлічних систем сільськогосподарської техніки за допомогою коефіцієнтів готовності  $K_g$  та технічного використання  $K_{т.в}$ . В результаті проведених досліджень встановлено, що коефіцієнт готовності для гідравлічної системи: на мінеральній оліві – 0,816; на біооліві – 0,791; на сумішевій оліві з покращеними показниками – 0,864, а коефіцієнт технічного використання: на мінеральній оліві – 0,632; на біооліві – 0,583; на сумішевій оліві з покращеними показниками – 0,728. Таким чином використання сумішевих робочих рідин з покращеними показниками дозволить підвищити показники коефіцієнтів готовності і технічного використання.

*Ключові слова:* біоолива, моделювання надійності, гідравлічна система, сільськогосподарська техніка, коефіцієнт готовності, відмова, коефіцієнт технічного використання.

*Постановка проблеми.* Гідравлічні системи широко використовуються в різних галузях сільського господарства, передають енергію, виконують функції охолодження та мастила, захисту деталей від корозії, а також виносять з гідроагрегатів продукти зносу [1-5]. У зв'язку з цим працездатність гідроприводів, їх надійність та довговічність значною мірою залежить від типу рідини, її в'язкісно-температурних характеристик, протизадирних та протизносних властивостей, а також стану у процесі експлуатації. Гідросистема сільськогосподарських машин є складною гідромеханічною системою, що має високу функціональну значимість для забезпечення працездатності машини загалом. Незважаючи на наявні методи діагностика та засоби технічного обслуговування гідравлічних систем, на практиці цьому питанню приділяється недостатньо уваги що призводить до зниження експлуатаційних показників як гідравлічних систем, так і техніки загалом. Потрапляння



мінеральних олив в ґрунт призводить до екологічних проблем, що впливає на зниження її родючості. Поліпшення подібної ситуації можливе при використанні рослинних олив, як альтернативних робочих рідин для гідравлічних систем сільськогосподарської техніки.

*Аналіз останніх досліджень.* Основна функція робочих рідин для гідравлічних систем, це передача механічної енергії від її джерела до місця використання із забезпеченням зміни величини або спрямування доданої сили [6-10]. Гідравлічний привод не може діяти без рідкого робочого середовища, що є необхідним елементом будь-якої гідравлічної системи. У постійному вдосконаленні конструкцій гідравлічних приводів відзначаються такі тенденції: підвищення робочих тисків і пов'язане з цим розширення верхніх температурних меж експлуатації робочих рідин; скорочення загальної маси приводу або збільшення відношення потужності, що передається, до маси, що тягне за собою більш інтенсивну експлуатацію робочої рідини; зменшення робочих зазорів між деталями робочого органу, вихідної та приймальної порожнин гідравлічної системи, що посилює вимоги до чистоти робочих рідин (або її фільтрування за наявності фільтрів у гідравлічних системах). З метою задоволення вимог, продиктованих зазначеними тенденціями розвитку гідравлічних приводів, сучасні робочі рідини для них повинні: мати оптимальний рівень в'язкості та хороші в'язкісно-температурні характеристики в широкому діапазоні температур, тобто високий індекс в'язкості, або пологу в'язкісно-температурну криву; відрізнятися високим антиокислювальним потенціалом, а також термічною та хімічною стабільністю, що забезпечують тривалу без змінну роботу рідини в гідравлічній системі; захищати деталі гідравлічного приводу від корозії; мати хорошу фільтрацію; мати необхідні деаеруючі, деемульгуючі та антипінні властивості; характеризуватись високою мастильною здатністю, необхідним протизадирним та протизносним потенціалом; бути сумісними з гумами, еластомерами та іншими ущільнювальними матеріалами [11-16]. В останні роки намічається тенденція використання в технічних цілях рослинних олив, що характеризуються високою біорозкладальністю (ріпакової, соєвої, соняшникової, арахісової, пальмової) та їх похідних. Пріоритетним з погляду використання у сільськогосподарській техніці є ріпакова олива, трибологічні та фізико-хімічні властивості якої здатні забезпечити функції робочої рідини гідравлічної системи без втрати її експлуатаційних показників [17-19].

Однак необхідно відзначити недостатність також інформації про використання рослинних олив для сільськогосподарської техніки. Відсутній науковообґрунтований склад робочої рідини для гідросистем сільськогосподарської техніки на основі ріпакової оливи,



мало досліджень з вивчення впливу подібних олиив на надійнісні показники гідравлічних систем. Тому розробка альтернативних мастильних матеріалів та робочих рідин на основі рослинної сировини з покращеними трибологічними властивостями є актуальною науково-технічною проблемою.

*Формулювання цілей статті.* Метою статті є обґрунтування впливу різних видів робочих рідин на надійність гідравлічних систем сільськогосподарської техніки.

*Основна частина.* Гідравлічну систему (ГС) можна представити у вигляді декількох підсистем. До таких підсистем, які виконують самостійні функції, відносяться: насос, гідролінії, гідроциліндр, розподільник і ущільнюючі елементи.

Надійність ГС залежить від надійності кожної з підсистем, а також від використання різних видів олиив. При цьому відмова в роботі будь-якої з підсистем веде до припинення нормальної роботи всієї системи. Кожна з підсистем може перебувати в двох фіксованих станах - робочому і неробочому.

Для опису цих процесів будемо використовувати, в якості інструменту, деякі аспекти теорії ймовірностей. Знаходження систем в тому чи іншому стані кількісно оцінюється відповідною ймовірністю. Причому неможливо передбачити в який момент часу, яка з підсистем може вийти з ладу, і потребує діагностики та ремонтних робіт.

Оскільки потоки подій пов'язані з переходами з одного стану в інший є простими пуассоновськими, які володіють інтенсивностями  $\lambda_{i,j}$  и  $\mu_{1,0}$ .

Тому, гідравлічне обладнання, як система може перебувати в обмеженому числі можливих дискретних станів. Вважаємо, що всі переходи системи зі стану  $S_i$  в  $S_j$  відбуваються під впливом найпростіших потоків подій з інтенсивностями  $\lambda_{i,j}(i,j=0,1,2,3)$ . Так, перехід системи зі стану  $S_0$  в  $S_2$  буде відбуватися під впливом потоку відмов першого вузла, а зворотній перехід зі стану  $S_2$  в  $S_0$  під впливом потоку "закінчень ремонтів" першого вузла і т.п.

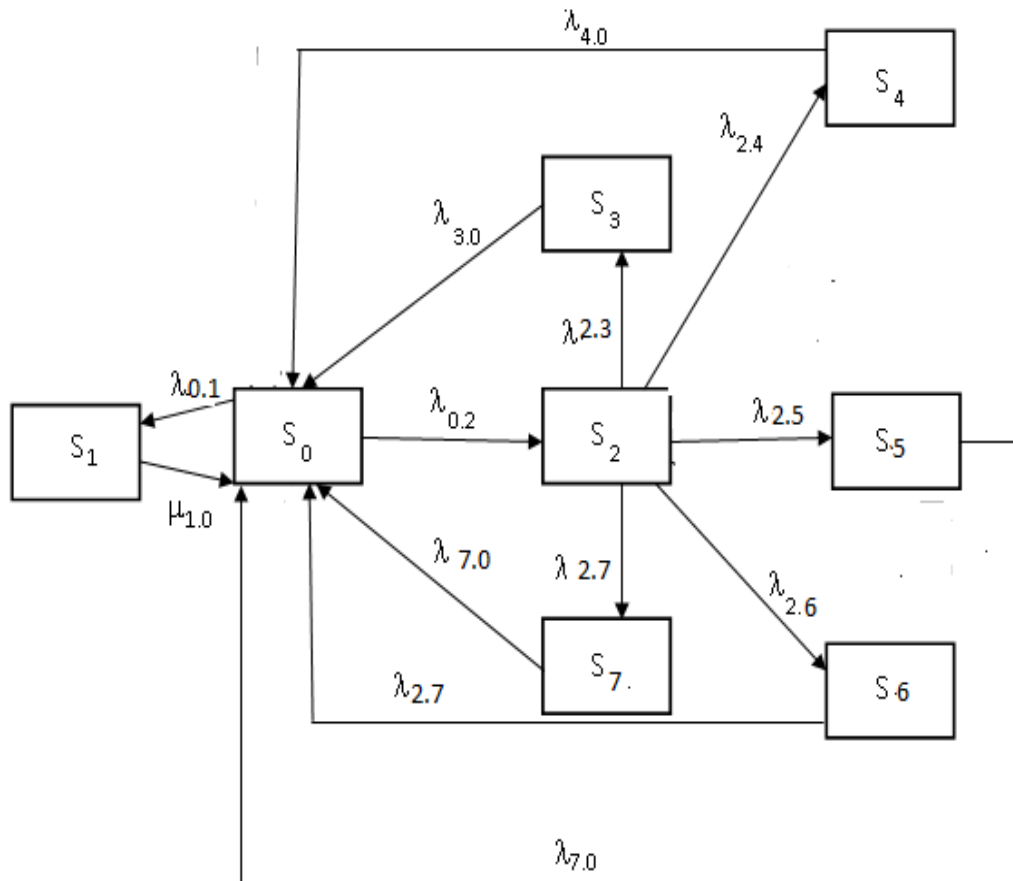
Вже згадана система має вісім можливих станів:  $S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$ .

Випадковий процес переходу з одного стану в інший може бути здійснений на основі визначення ймовірностей стану, які є функціями часу  $P_0(t), P_1(t) \dots P_7(t)$ .

Або  $P_1(t) = P\{S(t) = S_i\}$ , где  $P_1(t)$  - ймовірність того, що в момент часу  $t$  система  $S$  знаходиться в стані  $S_i$ .

Отримаємо систему диференційних рівнянь Колмогорова для ймовірностей станів: в лівій частині кожного з них стоїть похідна ймовірності  $i$ -го стану.

З точки зору математичного опису такий процес зручно розглядати як марковський, і ілюструвати його відповідним графом стану. Схематично граф стану для гідравлічної системи сільськогосподарської техніки наведено на рис. 1.



$S_0$  – гідравлічна система (ГС) справна і працює;  $S_1$  – ГС справна але не працює (простої);  $S_2$  – ГС несправна, і не працює (йде діагностування відмови);  $S_3$  – ГС несправна, через відмову насосу;  $S_4$  – ГС несправна, через відмову гідроліній;  $S_5$  – ГС несправна, через відмову гідроциліндра (гідродвигуна);  $S_6$  – ГС несправна, через відмову розподільника;  $S_7$  – ГС несправна, через відмову ущільнення

Рис. 1. Граф стану гідравлічної системи сільськогосподарської техніки

У правій частині – сума добутків ймовірностей всіх станів (з яких йдуть стрілки в даний стан) на інтенсивності відповідних потоків подій, мінус сумарна інтенсивність всіх потоків, які виводять систему з даного стану, помножена на ймовірність даного (і-го стану).



$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_0(t)}{dt} = \mu_{1.0}(t) + \lambda_{3.0}P_3(t) + \lambda_{4.0}P_4(t) + \lambda_{5.0}P_5(t) + \lambda_{6.0}P_6(t) + \\ \lambda_{7.0}P_7(t) - \lambda_{0.1}P(t) - \lambda_{0.2}P_0(t) \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_{0.1}P_0(t) - \mu_{1.0}P_1(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_{0.2}P_0(t)(\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7}) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_{2.3}P_2(t) - \lambda_{3.0}P_3(t) \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = \lambda_{2.4}P_2(t) - \lambda_{4.0}P(t) \\ \frac{dP(t)}{dt} = \lambda_{2.5}P_2(t) - \lambda_{5.0}P_5(t) \\ \frac{dP_6(t)}{dt} = \lambda_{2.6}P(t) - \lambda_{6.0}P(t) \\ \frac{dP(t)}{dt} = \lambda_{2.7}P(t) - \lambda_{7.0}P_7(t) \end{array} \right. \quad (1)$$

Очевидно, що для будь-якого моменту  $t$  сума ймовірностей всіх станів дорівнює одиниці

$$\sum_{i=0}^{i=7} P_i(t) = 1 \quad (2)$$

Для вирішення системи рівнянь задамо початкові умови. В даному випадку система знаходиться в стані  $S_0$  з ймовірністю  $P_1(0) = 1$ .

Тоді згідно нормувальної умови, інші ймовірності станів рівні:

$$P_1(0) = P_2(0) = P_3(0) = P_4(0) = P_5(0) = P_6(0) = P_7(0) = 0$$

Використовуючи рівняння Колмогорова є можливість знайти ймовірності станів як функції часу.

В даному випадку інтерес представляють ймовірності системи  $P_i(t)$  в граничному стаціонарному режимі ( $t \rightarrow \infty$ ):

$$P_i = \lim_{t \rightarrow \infty} P_i(t) \quad (3)$$

Для стаціонарного режиму експлуатації, це характерно. У такому режимі гідравлічна система переходить з одного стану в інший, але ймовірності знаходження в них залишаються постійними. Так як граничні ймовірності постійні:



$$\frac{dP_i}{dt} = 0, \quad (4)$$

То замінюючи в рівняннях Колмогорова їх похідні нульовими значеннями, отримаємо систему алгебраїчних рівнянь.

$$\left\{ \begin{array}{l} (\lambda_{01} + \lambda_{02})P_0 = \mu_{10}P_1 + \lambda_{30}P_3 + \lambda_{40}P_4 + \lambda_{50}P_5 + \lambda_{60}P_6 + \\ + \lambda_{70}P_7 \\ \mu_{10}P_1 = \lambda_{01}P_0 \\ (\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7})P_2 = \lambda_{02}P_0 \\ \lambda_{30}P_3 = \lambda_{2.3}P_2 \\ \lambda_{40}P_4 = \lambda_{2.4}P_2 \\ \lambda_{50}P_5 = \lambda_{2.5}P_2 \\ \lambda_{60}P_6 = \lambda_{2.6}P_2 \\ \lambda_{70}P_7 = \lambda_{2.7}P_2 \end{array} \right. \quad (5)$$

Ми отримали систему алгебраїчних рівнянь в яких є вісім невідомих  $P_0 \dots P_7$ .

Ці рівняння доповнюємо умовами:

$$\sum_{i=0}^{i=7} P_i(t) = 1 \quad (6)$$

З другого рівняння системи отримуємо:

$$P_0 = P_2 \left( \frac{\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7}}{\lambda_{02}} \right) \quad (7)$$

Далі

$$P_3 = P_2 \left( \frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} \right) \quad (8)$$

$$P_4 = P_2 \left( \frac{\lambda_{2.4}}{\lambda_{40}} \right) \quad (9)$$

$$P_5 = P_2 \left( \frac{\lambda_{2.5}}{\lambda_{50}} \right) \quad (10)$$

$$P_6 = P_2 \left( \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} \right) \quad (11)$$

$$P_7 = P_2 \left( \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) \quad (12)$$

Вирішуємо систему, підставляючи в нормувальну умову всі ймовірності, які виражені через  $P_2$ :



$$\begin{aligned}
& P_2 \frac{(\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7})}{\lambda_{02}} + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} \cdot \\
& P_2 \frac{(\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7})}{\lambda_{02}} + P_2 + P_2 \left( \frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} \right) + \\
& P_2 \left( \frac{\lambda_{2.4}}{\lambda_{40}} \right) + P_2 \left( \frac{\lambda_{2.5}}{\lambda_{50}} \right) + P_2 \left( \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} \right) + P_2 \left( \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) = 1 \quad (13)
\end{aligned}$$

Звідси:

$$\begin{aligned}
& P_2 \frac{(\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7})}{\lambda_{02}} \cdot \left( 1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} \right) + P_2 + \\
& P_2 \left( \frac{\lambda_{2.4}}{\lambda_{40}} \right) + P_2 \left( \frac{\lambda_{2.5}}{\lambda_{50}} \right) + P_2 \left( \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} \right) + P_2 \left( \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) = 1 \quad (14)
\end{aligned}$$

Після перетворення, маємо:

$$P_2 \left[ \frac{\lambda_{2.3} + \dots + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7}}{\lambda_{02}} \left( 1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} \right) + 1 + \left( \frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \dots + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) \right] = 1 \quad (15)$$

Звідси,  $P_2$  дорівнює:

$$\begin{aligned}
P_2 &= \frac{1}{\left[ \frac{\lambda_{2.3} + \dots + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7}}{\lambda_{02}} \left( 1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} \right) + 1 + \left( \frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \dots + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) \right]} \quad (16) \\
P_2 &= \left[ \frac{\lambda_{2.3} + \dots + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7}}{\lambda_{02}} \left( 1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} \right) + 1 + \left( \frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \dots + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) \right]^{-1} \quad (17)
\end{aligned}$$

Маючи  $P_2$ , знаходимо  $P_0, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7$ .

Ймовірність  $P_1$  знаходимо з нормувальної умови, як різницю:

$$P_1 = 1 - (P_0 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7). \quad (18)$$

Отримані ймовірності станів покладені в основу визначення комплексних показників надійності гідравлічної системи. Тому коефіцієнт готовності  $K_G$ , є сумою ймовірностей працездатних станів, при справній і працюючій гідравлічній системі, а також при справній, але не працюючій гідравлічній системі (простою), з будь-яких причин не технічного характеру:

$$K_G = P_0 + P_1 \quad (19)$$



Вводимо в формулу значення ймовірностей і отримуємо:

$$K_{\Gamma} = P_0 + [1 - (P_0 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7)] \quad (20)$$

Перетворюючи рівняння (20) отримуємо:

$$K_{\Gamma} = 1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7 \quad (21)$$

Виразив ймовірності через  $P_2$ , маємо:

$$K_{\Gamma} = 1 - P_2 \left( 1 - \frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \frac{\lambda_{2.4}}{\lambda_{40}} + \frac{\lambda_{2.5}}{\lambda_{50}} + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) \quad (22)$$

Підставляючи в рівняння значення  $P_2$ , які виражені через інтенсивності маємо остаточну формулу:

$$K_{\Gamma} = \frac{\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7}}{\lambda_{2.3} + \dots + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7} + \frac{\lambda_{02}}{\left(1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}}\right)} \cdot \left(1 + \frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \dots + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}}\right)} \quad (23)$$

Розглядаючи питання надійності гідравлічних систем слід звернути увагу на ще один комплексний показник надійності - коефіцієнт технічного використання  $K_{Т.В.}$

$$K_{Т.В.} = K_2 - (P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7) \quad (24)$$

Підставляємо в рівняння коефіцієнт готовності:

$$K_{Т.В.} = 1 - 2(P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7) \quad (25)$$

Звідси:

$$K_{Т.В.} = 1 - 2P_2 \cdot \left( \frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \frac{\lambda_{2.4}}{\lambda_{40}} + \frac{\lambda_{2.5}}{\lambda_{50}} + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) \quad (26)$$

Замінюючи ймовірність  $P_2$ , через інтенсивності отримуємо:

$$K_{Т.В.} = 1 - \frac{2 \cdot \left(1 + \frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \frac{\lambda_{2.4}}{\lambda_{40}} + \frac{\lambda_{2.5}}{\lambda_{50}} + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}}\right)}{\frac{\lambda_{2.3} + \dots + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7}}{\lambda_{02}} \cdot \left(1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}}\right) + 1 + \left(\frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \dots + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}}\right)} \quad (27)$$

Для визначення інтенсивностей переходів  $\lambda_i$  и  $\mu_{10}$  досліджуваної гідравлічної системи з одного стану в інший використовуємо наступне співвідношення:

$$\lambda_i = (T_i)^{-1} ; \quad (28)$$





$$\mu_{10} = T_{10}^{-1}. \quad (29)$$

де  $T_i$  – середній час проведення  $i$ -тої операції.

Інтенсивності переходів  $\lambda_i$  и  $\mu_7$  обчислюються на основі практичних випробувань.

Далі розраховуємо ймовірності переходів гідравлічної системи з одного стану в інший, на мінеральній оліві за формулою (17):

$$P_2 = \left[ \left( \frac{0,00025+0,0002+0,000142+0,00012+0,0001}{0,001} \right) \left( 1 + \frac{0,49}{0,01} \right) + 1 + \frac{0,00025}{0,000156} + \frac{0,0002}{0,000111} + \frac{0,000142}{0,0001183} + \frac{0,00012}{0,00007} + \frac{0,00001}{0,00008} \right]^{-1} = 0,021.$$

Звідси, відповідно до формул (8 ... 12) обчислюємо ймовірності:

$$P_3 = 0,0336; P_4 = 0,0378; P_5 = 0,0252; P_6 = 0,0357; P_7 = 0,0315;$$

По формулі (7) находимо  $P_0$ ,  $P_0 = 0,021 \cdot 0,812 = 0,017$ .

$P_1$  згідно формули (18) дорівнює  $P_1 = 1 - 0,201 = 0,799$ .

Звідси коефіцієнт готовності для гідравлічної системи обчислюємо за формулою (21):

$$K_{\Gamma} = 1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7 = 1 - 0,021 - 0,0336 - 0,0378 - 0,0252 - 0,0357 - 0,0315 = 0,816$$

Знаходимо коефіцієнт технічного використання:

$$K_{\text{т.в.}} = K_{\Gamma} - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7 = 0,816 - 0,184 = 0,632$$

Необхідність застосування рослинних олій у техніці зумовлена дефіцитом нафтових олів, їх подорожчанням. В такій ситуації використання олів рослинного походження стає економічно виправданим.

Далі по аналогії проведемо розрахунки  $K_{\Gamma}$  та  $K_{\text{т.в.}}$  при використанні в гідросистемі біоолив.



$$P_2 = \left[ \left( \frac{0,0003125 + 0,0002631 + 0,0001562 + 0,000151 + 0,000192}{0,001} \right) \left( 1 + \frac{0,42}{0,01} \right) + 1 + \frac{0,0003125}{0,000416} + \frac{0,0002631}{0,000389} + \frac{0,0001562}{0,000306} + \frac{0,000151}{0,00022} + \frac{0,000192}{0,000215} \right]^{-1} = 0,0249.$$

Звідси, відповідно до формул (8 ... 12) обчислюємо ймовірності:

$$P_3 = 0,0331; P_4 = 0,0368; P_5 = 0,0483; P_6 = 0,0363; P_7 = 0,0289;$$

По формулі (7) находимо  $P_0$ ,  $P_0 = 0,0249 \cdot 1,075 = 0,0267$ .

$P_1$  згідно формули (18) дорівнює  $P_1 = 1 - 0,224 = 0,776$ .

Звідси коефіцієнт готовності для гідравлічної системи, на біооливі, обчислюємо за формулою (21):

$$K_r = 1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7 = 1 - 0,2083 = 0,791$$

Знаходимо коефіцієнт технічного використання для гідравлічної системи, на біооливі:

$$K_{т.в} = K_r - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7 = 0,791 - 0,2083 = 0,583$$

В результаті проведених досліджень встановлено, що хімотологічні і триботехнічні властивості нафтових та біологічних олив істотно відрізняються, тому з метою забезпечення їх оптимального складу необхідно проводити їх змішування в певних пропорціях; триботехнічні властивості біологічних олив мають кращі властивості, ніж мінеральні, але поступаються по стійкості до окислення, тому для покращення їх властивостей доцільно вводити до їх складу необхідні багатофункціональні добавки і присадки.

По аналогії, як і у перших двох випадках, проведемо розрахунки  $K_r$  та  $K_{т.в}$  при використанні в гідросистемі біооливи в суміші з мінеральною оливою з покращеними показниками.

$$P_2 = \left[ \left( \frac{0,0002 + 0,00037 + 0,00019 + 0,000117 + 0,000122}{0,001} \right) \left( 1 + \frac{0,47}{0,01} \right) + 1 + \frac{0,0002}{0,000015} + \frac{0,00037}{0,0000249} + \frac{0,00019}{0,000135} + \frac{0,000117}{0,00008} + \frac{0,000122}{0,000087} \right]^{-1} = 0,0171.$$

Звідси, відповідно до формул (8 ... 12) обчислюємо ймовірності:

$$P_3 = 0,0227; P_4 = 0,0253; P_5 = 0,0235; P_6 = 0,0249; P_7 = 0,0254.$$



По формулі (7) находимо  $P_0$ ,  $P_0 = 0,0171 \cdot 0,999 = 0,017$ .

$P_1$  згідно формули (18) дорівнює  $P_1 = 1 - 0,1388 = 0,86$ .

Звідси коефіцієнт готовності для гідравлічної системи обчислюємо за формулою (21):

$$K_r = 1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7 = 1 - 0,0171 - 0,0227 - 0,0253 - 0,0235 - 0,0218 - 0,0254 = 0,864.$$

Знаходимо коефіцієнт технічного використання:

$$K_{т.в.} = K_r - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7 = 0,864 - 0,1358 = 0,728.$$

*Висновок:* Таким чином, використовуючи отримані залежності можна достовірно оцінити ступінь впливу різних видів робочих рідин на надійність гідравлічної системи сільськогосподарської техніки, використовуючи узагальнені показники, а саме коефіцієнти готовності і технічного використання. Очевидним є те, що одним із шляхів підвищення коефіцієнта готовності і технічного використання сільськогосподарської техніки при застосуванні біологічних змащувальних матеріалів рекомендується застосування багатофункціональних добавок і присадок, що дозволить виключити шкідливий вплив вільних жирних кислот оливи на метали деталей сполучень і забезпечити нормовані ресурси вузлів і агрегатів сільськогосподарської техніки. Розглядаючи гідравлічні системи сільськогосподарської техніки, як складні технічні системи, схильні до різних видів відмов, нами було запропоновано модель надійності, що дозволяє за статистичними характеристиками напрацювання на відмову їх елементів отримувати нормовані в технічних умовах усереднені значення часу на виконання технологічних операцій з технічного обслуговування та ремонту гідравлічних систем. Вони оцінюються узагальненими показниками, а саме коефіцієнтом готовності  $K_r$  та коефіцієнтом технічного використання  $K_{т.в.}$ .

В результаті проведених досліджень встановлено, що коефіцієнт готовності для гідравлічної системи: на мінеральній оливі - 0,816; на біоливі - 0,791; на сумішеві оливі з покращеними показниками - 0,864, а коефіцієнт технічного використання: на мінеральній оливі - 0,632; на біоливі - 0,583; на сумішеві оливі з покращеними показниками - 0,728. Таким чином використання сумішевих робочих рідин з покращеними показниками дозволило підвищити показники коефіцієнтів готовності і технічного використання. Завдяки цьому ми отримали можливість на конкретному прикладі гідросистеми



сільськогосподарської техніки, при роботі на різних видах робочих рідин реалізовувати один із основоположних принципів підвищення надійності технічних систем, сутність якого полягає у визначенні та усуненні несправностей елементів підсистем, що обмежують експлуатаційну надійність гідравлічної системи в роботі на відмову та зменшення часу на пошук та усунення несправностей.

#### *Список використаних джерел*

1. 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*. 2018. Вип. 282. С. 279–292.
2. Журавель Д. П. Моделювання процесу зношування прецизійних пар паливних систем мобільної техніки при експлуатації на біодизелі. *Праці ТДАТУ*. 2018. Вип. 18, т. 2. С. 105–118.
3. Журавель Д. П. Підвищення ефективності використання мобільної сільськогосподарської техніки шляхом забезпечення оптимального складу сумішевих біодизельних паливних. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2018. Вип. 8, т. 2. С. 91–107.
4. Журавель Д. П. Моделювання працездатності машино-тракторного агрегату при експлуатації на біодизелі. *Праці ТДАТУ*. 2019. Вип. 19, т. 3. С. 57–68.
5. Мілько Д. О. Методика складання раціону великої рогатої худоби на основі поживної цінності кормових компонентів. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2019. Вип. № 10(109). С. 91–96.
6. Бондар А. М. Використання біологічної оливи для сільськогосподарської техніки. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2019. Вип. № 10(109). С. 125–131.
7. Galina Gritsaenko, Igor Gritsaenko, Andrei Bondar. Mechanism for the Maintenance of Investment in Agriculture. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. 2019. Ch. I. P. 29–40.
8. Kyrylo Samoichuk, Olga Viunyk, Dmytro Milko, Andrii Bondar. Research on milk homogenization in the stream homogenizer with separate cream feeding. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 142–148.
9. Dmitry Milko, Kyrylo Samoichuk, Yulia Postol. Revealing new patterns in resourcesaving processing of chromium-containing ore raw materials by solidphase reduction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 1/12(103). P. 24–29.
10. Dmytro Milko., Oleksandr Sclyar., Radmila Sclyar., Ganna Pedchenko. Results of the nutritional preservation research of the alfalfa



laying on storage with two-phase compaction. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2020. Vol. 60, no. 1. P. 269–274.

11. Kyrylo Samoichuk, Nadiya Palyanichka, Vadim Oleksiienko, Serhii Petrychenko. Improving the quality of milk dispersion in a counter-jet homogenizer. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 633–640.

12. Бондар А. М. Покращення та оцінка якісних показників відпрацьованих автотракторних олив для сільськогосподарської техніки. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 11, т. 1. 15. С. 1-6.

13. Бондар А. М. Прогнозування ресурсу трибосистем при використанні сумішевих олив. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 11, т. 1. 19 с.

14. Бондар А. М., Дашивець Г. І., Паніна В. В. Обґрунтування швидкісних параметрів роботи машино-тракторного агрегату. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 11, т. 2. С. 85–97.

15. Dmytro Zhuravel. Research of lubricant properties of used tractor motor oils. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 11, т. 2. 18 с.

16. Kuznetsov, M., Lysenko, O., Chebanov, A. (2021). Ensuring power balance in a hybrid power system with a backup generator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 6 (8 (114)). P. 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245557>.

17. Бондар А. М., Дашивець Г. І., Паніна В. В. Методика обробки емпіричних даних якісних показників роботи колісної машини. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2022. Вип. 12, т. 2. 13 с. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2022-2-2>.

18. Samoichuk K., Petrychenko S., Bondar A., Hutsol T., Kubo' n M., Niemiec M., Mykhailova L., Gródek-Szostak Z., Sorokin D. Modeling of Diesel Engine Fuel Systems Reliability When Operating on Biofuels. *Energies*. 2022. Vol. 15. P. 1795. <https://doi.org/10.3390/en15051795>.

19. Karłan M., Klimek K., Maj G., Bondar A., Lemeshchenko-Lagoda V., Boltianskyi B., Boltianska L., Syrotyuk H., Syrotyuk S. [et al.]. Method of Evaluation of Materials Wear of Cylinder-Piston Group of Diesel Engines in the Biodiesel Fuel Environment. *Energies*. 2022. Vol. 15. P. 3416. <https://doi.org/10.3390/en15093416>.

*Стаття надійшла до редакції 05.08.2024 р.*



**D. Zhuravel**  
**Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University**

## **STRUCTURAL ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF HYDRAULIC SYSTEMS OF AGRICULTURAL EQUIPMENT USING BIOLOGICAL WORKING FLUIDS**

### *Summary*

The work substantiates the reliability model, which allows, based on the statistical characteristics of the working time to failure of their elements, to obtain the averaged values of the time for performing technological operations for technical maintenance and repair of hydraulic systems of agricultural machinery, standardized in technical conditions, with the help of coefficients of readiness and technical use. As a result of the conducted studies, it was established that the coefficient of readiness for the hydraulic system: on mineral oil - 0.816; on bio-oil – 0.791; on mixed oil with improved indicators - 0.864, and the coefficient of technical use: on mineral oil - 0.632; on bio-oil – 0.583; on mixed oil with improved indicators - 0.728. Therefore, the use of mixed working fluids with improved indicators made it possible to increase the indicators of the coefficients of readiness and technical use. Thus, using the obtained dependencies, it is possible to reliably assess the degree of influence of different types of working fluids on the reliability of the hydraulic system of agricultural machinery, using generalized indicators, namely the coefficients of readiness and technical use. It is obvious that one of the ways to increase the readiness factor and technical use of agricultural machinery when using biological lubricating materials is the use of multifunctional additives and additives, which will eliminate the harmful effect of free fatty acids of oil on the metals of the coupling parts and ensure standardized resources of nodes and aggregates of agricultural machinery. Considering the hydraulic systems of agricultural machinery as complex technical systems prone to various types of failures, we proposed a reliability model that allows, based on the statistical characteristics of the working time to failure of their elements, to obtain the average values of the time for performing technical maintenance and repair operations standardized in technical conditions GS. The renewability of raw materials and relative cheapness compared to biodegradable, ecologically safe synthetic products determine the expediency of work on the solidification of working fluids of biological origin in the operation of agricultural machinery.

**Key words.** bio-oil, reliability modeling, hydraulic system, agricultural machinery, readiness factor, failure, technical utilization factor.