

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СИСТЕМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БІОПАЛЬНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Журавель Д.П., кандидат технічних наук
Таврійський державний агротехнологічний університет*

У статті розглянуто методологію підвищення довговічності функціональних систем сільськогосподарської техніки при використанні біопально-мастильних матеріалів. Розглядаючи функціональні системи сучасних тракторів та сільськогосподарських машин, як складні технічні системи, які схильні до різних видів відмов, нами були запропоновані моделі надійності, які дозволяють по статистичним характеристикам напрацювання на відмову їх елементів отримувати нормовані в технічних умовах фактичні показники ресурсів. Сільськогосподарська техніка складається із комплексу складних функціональних систем, які поділяються на нерезервовані, резервовані, відновлювальні і не відновлювальні. На конкретному прикладі функціональних систем тракторів, при роботі на біопально-мастильних матеріалах нами був реалізований один з основоположних принципів підвищення довговічності технічних систем, сутність якого полягає у визначенні та усуненні «слабкої ланки».

При обробці експериментальних даних використовували методи математичної статистики, зокрема статистики випадкових процесів.

Для побудови математичного опису процесу зміни параметрів керувалися теорією випадкових функцій та теорією ймовірностей, враховуючи принципи функціональних взаємодій для системного підходу та використовуючи теорії надійності.

Методи теорії моделювання складних функціональних систем є базою для формування імітаційної моделі процесу технічної експлуатації машин. В процесі експлуатації сільськогосподарської техніки із-за зношування її деталей і порушення герметичності змінюються параметри, які характеризують працездатність вузлів і агрегатів в цілому.

Сільськогосподарська техніка, надійність функціональних систем, моделювання, коефіцієнт готовності, параметри розподілу, ймовірність безвідмовної роботи, середній ресурс.

Постановка проблеми. Ефективність сільськогосподарського виробництва значною мірою залежить від працездатності сільськогос-

подарської техніки в різних умовах експлуатації. Сучасна сільськогосподарська техніка (СГТ) складається зі складних функціональних систем, працездатність яких залежить від їх надійності [1,2,4-8].

Нині в Україні щорічно використовується більше 50 млн. тонн моторних паливних, вироблених з нафти, із них 5,5 млн. тонн припадає на дизельне паливо (ДП), з яких 1,9 млн. тонн застосовується в АПК.

Підвищення цін на пально-мастильні матеріали (ПММ) викликає, головним чином, зменшення нафти у надрах Землі і залежністю держави у нафтопродуктах за рахунок імпорту на 85...90%. Крім того, застосування мінеральних ПММ призводить до значної кількості шкідливих викидів, що забруднюють навколишнє середовище. Ці факти спонукають до впровадження альтернативних видів ПММ рослинного походження. В більшості своїй вони значно відрізняються від нафтових своїми фізико-хімічними властивостями, які впливають як на організацію робочого процесу, так і на екологічні та техніко-економічні показники сільськогосподарської техніки, призводячи до збільшення відмов вузлів і агрегатів функціональних систем. Підвищення надійності використання СГТ при застосуванні альтернативних видів ПММ рослинного походження є важливою народногосподарською проблемою [1-6].

Аналіз останніх досліджень. Одним із проблемних питань, пов'язаних з використанням біопально-мастильних матеріалів (БПММ) є забезпечення надійності як функціональних систем СГТ так і експлуатаційних показників машино-тракторних агрегатів (МТА). Триботехнічний і хімотологічний аналіз процесів, які виникають в трибоспряженнях вузлів і агрегатів пояснює причину прискореного зношування поверхонь конструкційних матеріалів при використанні БПММ. Наявність вільних жирних кислот в сирій рослинній оліві (РО) і присутність метанолу в біодизелі призводить до виділення водню і його поступовий перехід в поверхневий шар металу, що призводить до водневого зношування. Підвищена густина і кінематична в'язкість РО в порівнянні з мінеральним дизельним паливом (ДП) сприяє збільшенню далекобійності і діаметру розпиленого пального, що призводить до підвищеного попадання на стінки камери згоряння і гільзи циліндрів. Застосування чистої РО в якості дизельного пального неприпустимо в зв'язку з погіршенням як енергетичних і економічних показників, так і надійності дизелю в цілому. Підвищення кислотності пального призводить до збільшення корозійного зносу плунжерних пар паливного насоса високого тиску (ПНВТ), руйнуванню гумотехнічних виробів і збільшенню відкладень. Продукти згоряння пального, які включають сірчастий і сірчаній ангідриди, проникають через нещільності циліндро-поршневої групи в картер, де утворюють з водою сірчану і сірчисту кислоти. Змішуючись з оливою, кислоти погі-

ршують її якість, особливо антикорозійні властивості, що призводить до швидкого старіння. В результаті дії сірчистих продуктів на картерну оливу утворюються смолисті з'єднання, які в подальшому утворюють нагар. Відкладення лаку в зоні поршневих кілець призводить до їх закоксування і заклинювання. Сірчисті з'єднання призводять також до збільшення відкладень на фільтрах тонкого і грубого очищення.

Застосування їх в якості ПММ для СГТ дасть змогу підвищити довговічність вузлів і агрегатів функціональних систем при зниженні агресивності, схильності до полімеризації і задоволенні інших експлуатаційних вимог[1-6].

Мета досліджень. Підвищення довговічності сільськогосподарської техніки при застосуванні альтернативних видів ПММ рослинного походження.

Результати досліджень. Методи розрахунку показників надійності резервованих відновлюваних систем, як правило, є складними в інженерному застосуванні. Цього можна уникнути при деяких припущеннях, виділяючи системи в класи з простими алгоритмами для обчислення показників надійності. До них відносяться: спрощення структурної схеми розрахунку надійності; незалежність елементів по відмовах і відновленню; експоненціальні закони розподілу часу безвідмовної роботи і часу відновлення елементів; певні правила обслуговування відмови елементів; стаціонарний характер показників надійності системи.

При оцінці надійності стаціонарних і нестаціонарних показників надійності відновлюваних систем найчастіше використовують методи одновимірних і багатовимірних марковських випадкових процесів. Значення показників надійності є наближеними і розраховуються наближеними методами.

Коефіцієнт готовності, наробіток на відмову, середній час відновлення і середній час безвідмовної роботи обчислювали за відомими формулами[2].

Математичною моделлю функціонування системи є система звичайних диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} p_0'(t) = -\lambda_c p_0(t) - \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot p_i(t) \\ p_i'(t) = \lambda_i p_0(t) - \mu_i \cdot p_i(t), \quad i = 1, 2, \dots, n \end{cases},$$

де λ_i – інтенсивність відмови i -го елементу, відповідні відмовам елементів системи;

$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ – інтенсивність відмови системи;

$p_0(t) = K_T(t)$ – ймовірність того, що в момент t система справна;

$p_i(t)$ – ймовірність того, що в момент t система знаходиться в несправному стані внаслідок відмови i -го елемента.

μ_i – інтенсивності переходів, відповідні відновленню елементів системи.

Систему лінійних диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами можливо вирішувати аналітично (для обмеженого числа елементів при фіксованому значенні інтенсивностей відмови і відновлення) і чисельним (наближеним, зокрема Рунге - Кутта).

Опис основних вузлів і агрегатів функціональних систем сільськогосподарської техніки наведено у вигляді графу, тобто наочного зображення взаємозв'язку елементів вузлів і агрегатів функціональних систем СГТ (рис. 1).

Графова модель $G\{V, P\}$ складається з двох множин – множини V об'єктів вузлів і агрегатів функціональних систем СГТ і множини P зв'язків - інтенсивностей їх відмов.

В основу покладено один із основних принципів надійності – принцип забезпечення рівної безвідмовності елементів шляхом виявлення і усунення «слабкої ланки».

Графову модель використовували з метою комп'ютерного моделювання процесу функціонування елементів вузлів і агрегатів функціональних систем СГТ.

Взаємозв'язок елементів вузлів і агрегатів функціональних систем СГТ наведений наступним чином: 0 – мобільна техніка; 1 – дизельний двигун; 2 – трансмісія; 3 – ходова частина; 4 – гідروобладнання; 5 – електрообладнання; 6 – механізм управління; 11 – кривошипно-шатунний механізм; 12 – система змащення; 13 – електрообладнання; 14 – система запуску; 15 – газорозподільний механізм; 16 – паливна апаратура; 41 – насос; 42 – гідролінії; 43 – гідроциліндр; 44 – розподільник; 45 – ущільнення гідравлічної системи; 21 – механічна трансмісія; 51 – вали шліцьові; 52 – шестерні; 53 – підшипники; 54 – синхронізатори; 55 – ущільнення трансмісійної системи; 22 – гідростатична трансмісія; 61 – насос підпитки; 62 – качаючий вузол насоса; 63 – качаючий вузол гідромотора; 64 – клапанна коробка; 65 – система управління; 71 – паливний бак; 72 – підкачуючий насос; 73 – паливний фільтр грубого очищення; 74 – паливний насос високого тиску; 75 – форсунка; 76 – трубопроводи; 81 – плунжерна пара; 82 – клапан; 83 – паливний фільтр тонкого очищення; 84 – ущільнення паливної системи.

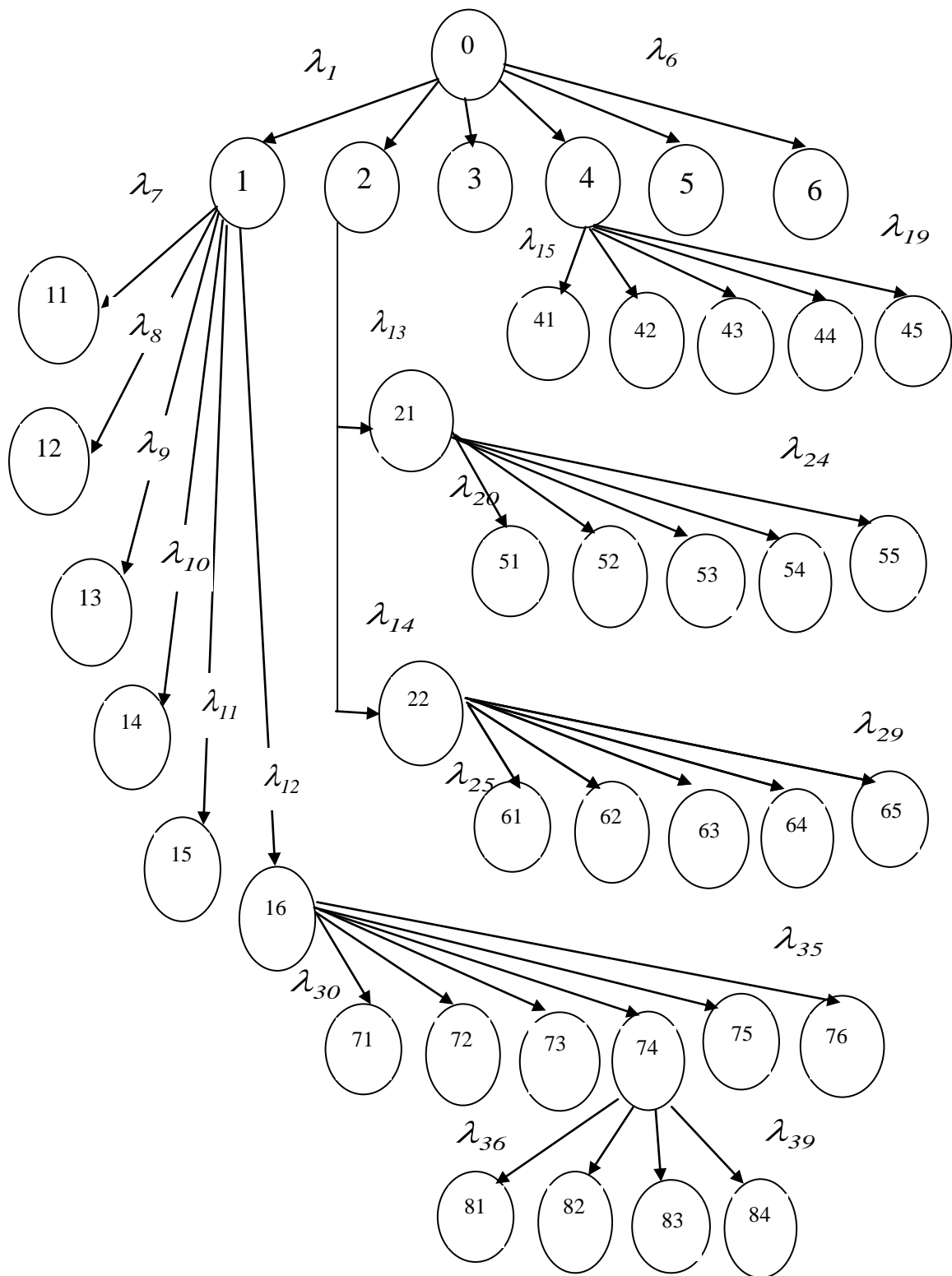


Рис.1. Граф стану вузлів і агрегатів функціональних систем СГТ

Система лінійних диференціальних рівнянь зі сталими коефіцієнтами описує процес функціонування систем СГТ, яка має вид:

$$\#1 = \left\{ \begin{array}{l} p'_0(t) = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6)p_0(t) + \\ \quad + \mu_1 p_1(t) + \mu_2 p_2(t) + \mu_3 p_3(t) + \mu_4 p_4(t) + \mu_5 p_5(t) + \mu_6 p_6(t) \\ p'_1(t) = \lambda_1 p_0(t) - (\lambda_7 + \lambda_8 + \lambda_9 + \lambda_{10} + \lambda_{11} + \lambda_{12})p_1(t) + \\ \quad + \mu_7 p_{11}(t) + \mu_8 p_{12}(t) + \mu_9 p_{13}(t) + \mu_{10} p_{14}(t) + \mu_{11} p_{15}(t) + \mu_{12} p_{16}(t) \\ p'_{11}(t) = \lambda_7 p_1(t) \\ p'_{12}(t) = \lambda_8 p_1(t) \\ p'_{13}(t) = \lambda_9 p_1(t) \\ p'_{14}(t) = \lambda_{10} p_1(t) \\ p'_{15}(t) = \lambda_{11} p_1(t) \\ p'_{16}(t) = \lambda_{12} p_1(t) - (\lambda_{30} + \lambda_{31} + \lambda_{32} + \lambda_{33} + \lambda_{34} + \lambda_{35})p_{16}(t) + \\ \quad + \mu_{30} p_{71}(t) + \mu_{31} p_{72}(t) + \mu_{32} p_{73}(t) + \mu_{33} p_{74}(t) + \mu_{34} p_{75}(t) + \mu_{35} p_{76}(t) \\ p'_2(t) = \lambda_2 p_0(t) - \lambda_{13} p_2(t) - \lambda_8 p_2(t) + \mu_{14} p_{22}(t) + \mu_{13} p_{21}(t) \\ p'_3(t) = \lambda_3 p_0(t) \\ p'_4(t) = \lambda_4 p_0(t) - (\lambda_{15} + \lambda_{16} + \lambda_{17} + \lambda_{18} + \lambda_{19})p_4(t) + \\ \quad + \mu_{15} p_{41}(t) + \mu_{16} p_{42}(t) + \mu_{17} p_{43}(t) + \mu_{18} p_{44}(t) + \mu_{19} p_{45}(t) \\ p'_{21}(t) = \lambda_{13} p_2(t) - (\lambda_{20} + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24})p_{21}(t) \\ \quad + \mu_{20} p_{51}(t) + \mu_{21} p_{52}(t) + \mu_{22} p_{53}(t) + \mu_{23} p_{54}(t) + \mu_{24} p_{55}(t) \\ p'_{22}(t) = \lambda_{14} p_2(t) - (\lambda_{25} + \lambda_{26} + \lambda_{27} + \lambda_{28} + \lambda_{29})p_{22}(t) + \\ \quad + \mu_{25} p_{61}(t) + \mu_{26} p_{62}(t) + \mu_{27} p_{63}(t) + \mu_{28} p_{64}(t) + \mu_{29} p_{65}(t) \\ p'_{41}(t) = \lambda_{15} p_4(t) \\ p'_{42}(t) = \lambda_{16} p_4(t) \\ p'_{43}(t) = \lambda_{17} p_4(t) \\ p'_{44}(t) = \lambda_{18} p_4(t) \\ p'_{45}(t) = \lambda_{19} p_4(t) \end{array} \right.$$

де $\lambda_{i,j}$ - інтенсивність переходу із стану i в стан j ,

$\mu_{i,j}$ - інтенсивність відновлення переходу із стану i в стан j

Для $t = 0$ всі елементи системи вважаються справними при початкових умовах: $p_0(0) = I$, $p_i(0) = 0$, $i = 1, 2, \dots, k$ знаходиться частиний розрахунок рівняння.

Система розраховується чисельним методом Рунге-Кутта.

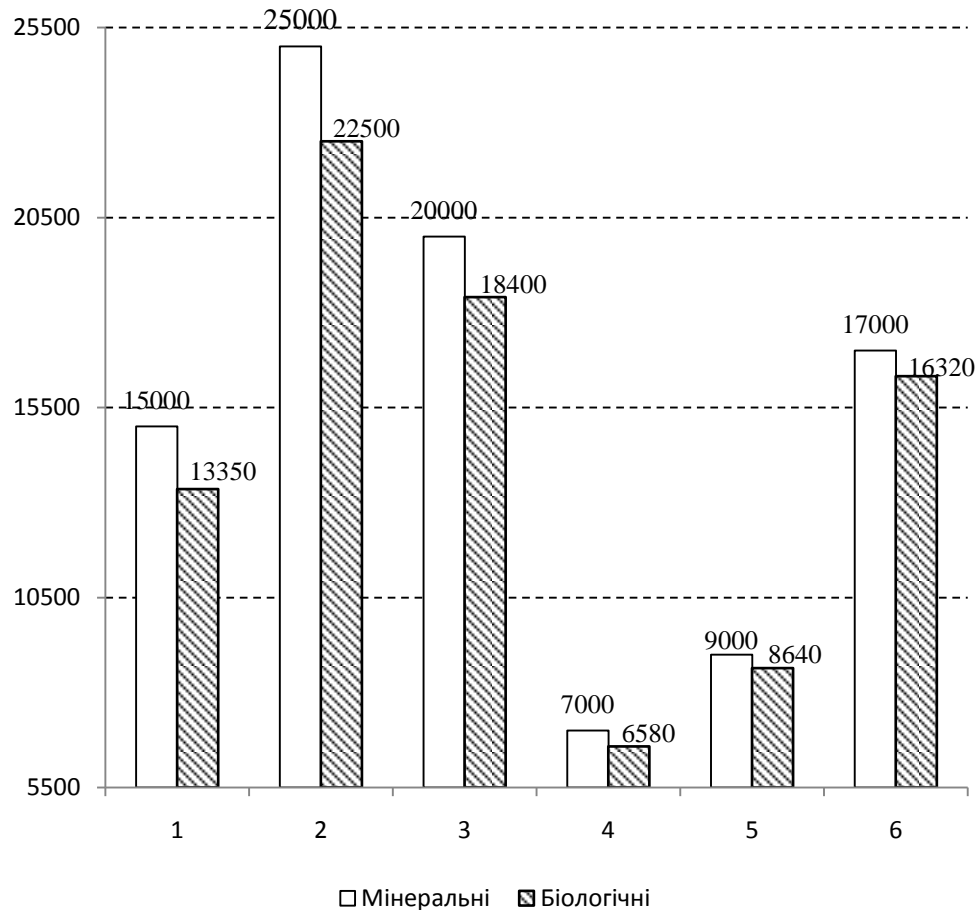
$$\#2 = \left\{ \begin{array}{l} p'_{51}(t) = \lambda_{20} p_{21}(t) \\ p'_{52}(t) = \lambda_{21} p_{21}(t) \\ p'_{53}(t) = \lambda_{22} p_{21}(t) \\ p'_{54}(t) = \lambda_{23} p_{21}(t) \\ p'_{55}(t) = \lambda_{24} p_{21}(t) \\ p'_5(t) = \lambda_5 p_0(t) \\ p'_6(t) = \lambda_6 p_0(t) \\ p'_{61}(t) = \lambda_{25} p_{22}(t) \\ p'_{62}(t) = \lambda_{26} p_{22}(t) \\ p'_{63}(t) = \lambda_{27} p_{22}(t) \\ p'_{64}(t) = \lambda_{28} p_{22}(t) \\ p'_{65}(t) = \lambda_{29} p_{22}(t) \\ p'_{71}(t) = \lambda_{30} p_{16}(t) \\ p'_{72}(t) = \lambda_{31} p_{16}(t) \\ p'_{73}(t) = \lambda_{32} p_{16}(t) \\ p'_{74}(t) = \lambda_{33} p_{16}(t) - (\lambda_{36} + \lambda_{37} + \lambda_{38} + \lambda_{39}) p_{74}(t) + \\ \quad + \mu_{36} p_{81}(t) + \mu_{37} p_{82}(t) + \mu_{38} p_{83}(t) + \mu_{39} p_{84}(t) \\ p'_{75}(t) = \lambda_{34} p_{16}(t) \\ p'_{76}(t) = \lambda_{35} p_{16}(t) \\ p'_{81}(t) = \lambda_{36} p_{74}(t) \\ p'_{82}(t) = \lambda_{37} p_{74}(t) \\ p'_{83}(t) = \lambda_{38} p_{74}(t) \\ p'_{84}(t) = \lambda_{39} p_{74}(t) \\ \sum_{i=1,..k} p_i(t) = 1 \end{array} \right.$$

Вирішення системи рівнянь є матриця ймовірностей безвідмовної роботи функціональних систем СГТ при роботі на мінеральних і біологічних ПММ.

Статистичний аналіз наробітку функціональних систем СГТ, що поступають в ремонт, дозволив встановити середні значення на-

робітку до відмови та їх 80% ресурс, що відповідає нормованим середнім ресурсам.

Середні ресурси функціональних систем СГТ при роботі на різних видах ПММ наведені на рис.2.

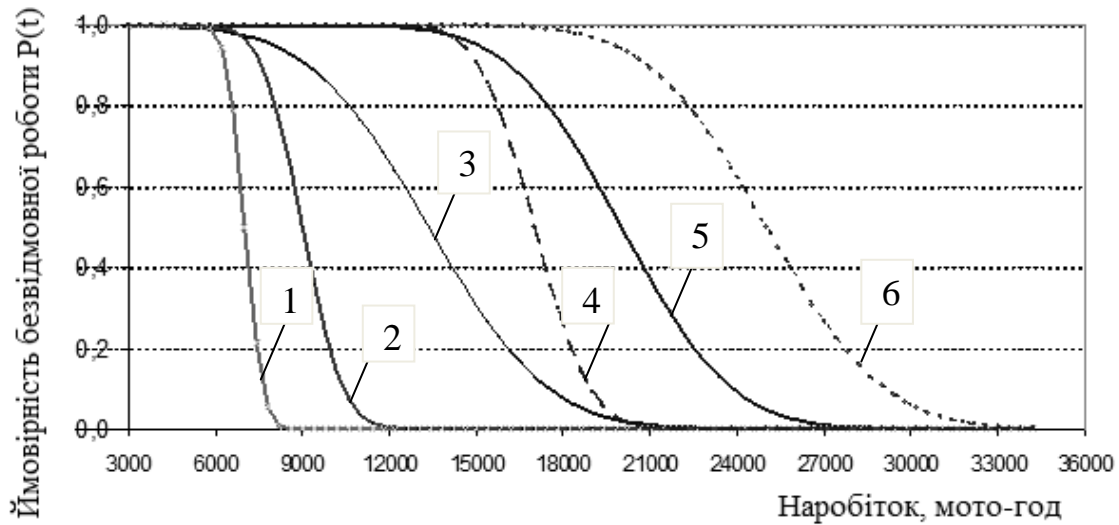


1 – дизельний двигун, 2 – трансмісія, 3 – ходова частина, 4 – гідрообладнання, 5 – електрообладнання, 6 – механізм управління

Рис.2. Середні ресурси функціональних систем СГТ при роботі на різних видах ПММ, мото-год

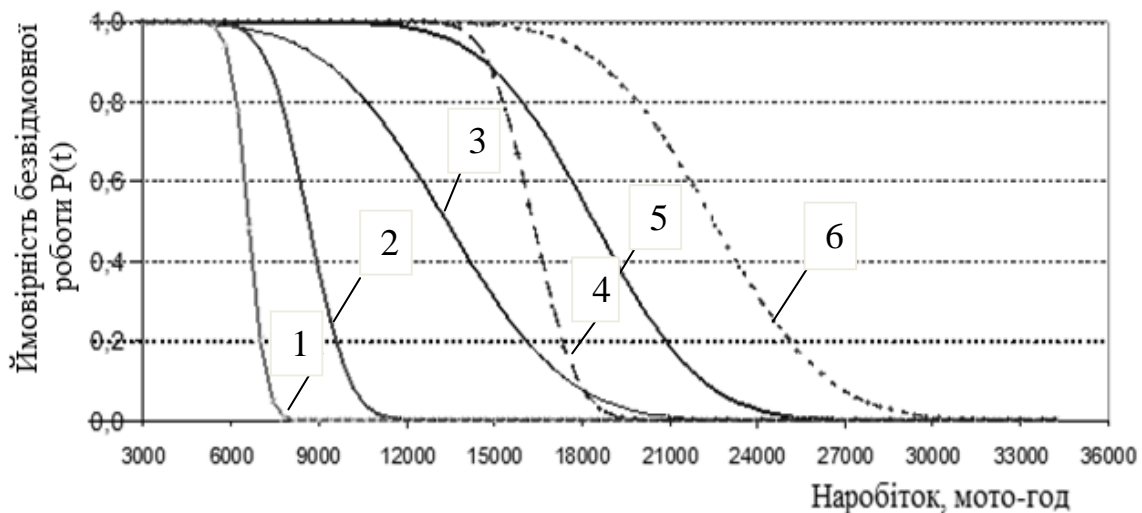
Нами встановлено, що зниження ресурсу функціональних систем СГТ при роботі на біологічних ПММ пояснюється активною дією вільних жирних кислот і метанолів біологічних ПММ на матеріали усіх елементів її функціональних систем, що призводить до руйнування поверхонь трибоспрязень і збільшення зносу деталей вузлів і агрегатів.

Ймовірності безвідмовної роботи функціональних систем СГТ на мінеральних та біологічних ПММ наведені на рис.3.



1 – гідрообладнання; 2 – електрообладнання; 3 – дизельний двигун; 4 – механізм управління; 5 – ходова частина; 6 – трансмісія

Рис. 3. Ймовірності безвідмовної роботи функціональних систем СТТ при роботі на мінеральних ПММ



1 – гідрообладнання; 2 – електрообладнання; 3 – дизельний двигун; 4 – механізм управління; 5 – ходова частина; 6 – трансмісія

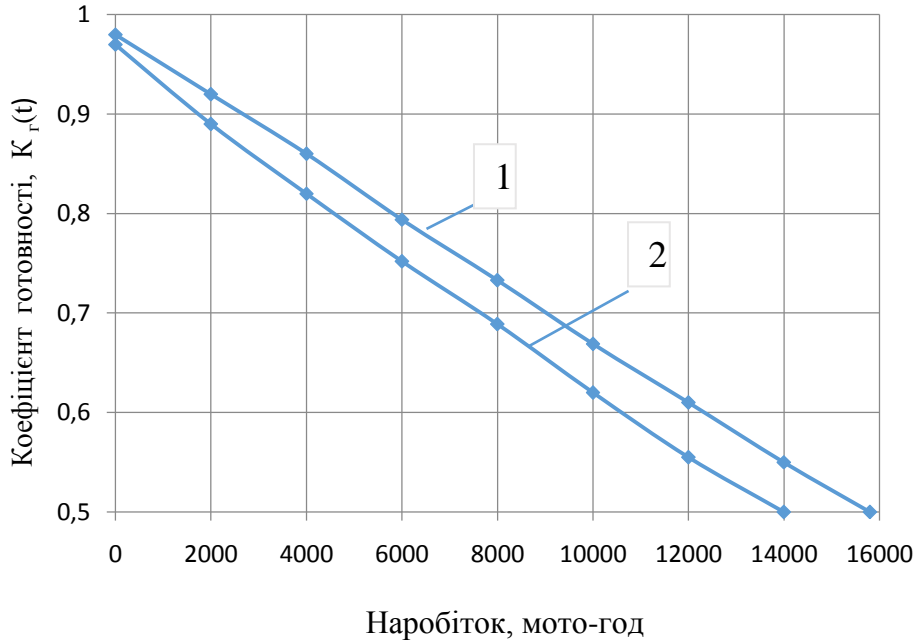
Рис. 4. Ймовірності безвідмовної роботи функціональних систем СТТ на біологічних ПММ

Як видно з рис. 3 і 4, найменш надійними функціональними системами сільськогосподарської техніки є електро- і гідрообладнання. Коефіцієнт готовності функціональних систем СТТ дорівнює сумі ймовіроносей всіх справних її станів:

$$K_{\Gamma}(t) = \sum_{i=1}^n p_i(t). \quad (3)$$

де $K_r(t)$ - коефіцієнт готовності.

Коефіцієнти готовності функціональних систем СГТ при роботі на мінеральних і біологічних ПММ наведені на рис.5.



1 – мінеральні ПММ; 2 – біологічні ПММ

Рис.5. Коефіцієнти готовності функціональних систем СГТ при роботі на мінеральних і біологічних ПММ

Таким чином встановлено, що коефіцієнт готовності функціональних систем СГТ при роботі на мінеральних ПММ вище чим при роботі на біологічних ПММ. При досягненні числового значення $K_r(t)=0,5$, при якому подальша експлуатація СГТ не доцільна, наробіток її становить: на БПММ – 14000 мото-год., а на мінеральних 16000 мото-год. Для збільшення $K_r(t)$, необхідно підвищити надійність спряжень вузлів і агрегатів СГТ шляхом виявлення і усунення «слабкої ланки».

Висновки

1. На підставі графів стану вузлів і агрегатів функціональних систем СГТ отримані математичні моделі надійності, які дозволили виявити їх "слабкі ланки" при роботі на БПММ. А саме, для: дизельного двигуна – паливна система; гідравлічної системи - гідронасос; гідростатичної трансмісії – насос підпитки; механічної трансмісії - ущільнення. Встановлено, що показники надійності функціональних систем СГТ при роботі на БПММ нижчі на 1202 мото-години; дизельного двигуна - на 1650 мото-годин; паливної системи - на 4325 мото-годин; гідросистеми - на 950 мото-годин;

трансмiсійних систем: гiдростатичної - на 290 мото-годин, механiчної - на 600 мото-годин.

2. Встановлено, що зниження ресурсу елементiв i систем СГТ при роботi на бiологiчних ПММ пояснюється активним впливом метанолу бiодизельного пального i вiльних жирних кислот бiооливи на матерiали основних елементiв дизельного двигуна, системи змащення, гiдростатичних i механiчних трансмiсiй, гiдросистем. Це призводить до руйнування поверхонь i збiльшенню зносiв деталей трибоспряжень.

Список лiтератури

1. Дидур В. А. Надeжностъ мобильной сельскохозяйственной техники при использовании биологических топливо-смазочных материалов / В. А. Дидур, Д. П. Журавель // Науковий вiсник Нацiонального унiверситету бiоресурсiв i природокористування України / НУБiП ; вiдп. ред. Д. О. Мельничук. – К., 2016. – № 251. – С. 69-78. – (Технiка та енергетика АПК).

2. Журавель Д. П. Методологiя оцiнки надiйностi мобильної сiльськогосподарської техніки при експлуатацiї на рiзних видах паливомастильних матерiалiв / Д. П. Журавель // Вiсник Сумського нацiонального аграрного унiверситету / СНАУ. – Суми, 2016. – Вип. 10/3(31). – С.66-71. – (Механiзацiя та автоматизацiя виробничих процесiв).

3. Журавель Д. П. Вплив забрудненостi абразивом бiопаливомастильних матерiалiв на енергоємнiсть поверхневих шарiв металiв вузлiв i агрегатiв мобильної техніки / Д. П. Журавель // Вiсник Українського вiддiлення Мiжнародної академiї аграрної освiти. – Херсон, 2017. – Вип. 5. – С.56-65.

4. Журавель Д. П. Методологiя забезпечення надeжностi мобильной техники при использовании биологических ТСМ / Д. П. Журавель // Енергозабезпечення технологiчних процесiв в агропромисловому комплексi України : матер. VI Мiжнар. наук.-техн. конф. / ТДАТУ. – Мелiтополь, 2015. – С. 8-10.

5. Журавель Д. П. Забезпечення надiйностi мобильної сiльськогосподарської техніки при експлуатацiї на рiзних видах паливомастильних матерiалiв / Д. П. Журавель // Сучасні проблеми землеробської механiки : збiрник тез доповiдей XVII мiжнародної наукової конференцiї / СНАУ. – Суми, 2016. – С. 163-164.

6. Журавель Д. П. Пiдвищення ефективностi експлуатацiї мобильної сiльськогосподарської техніки при використаннi бiопаливомастильних матерiалiв / Д. П. Журавель / Рациональне використання енергiї в технiцi. TechEnergy 2017: збiрник тез доповiдей XIII Мiжнародної наукової конференцiї / НУБiП. – К., 2017. – С. 155-156.

7. Бойко А.І. Напрями забезпечення надійності складної сільськогосподарської техніки /А.І. Бойко // Зб. наукових праць ХНТУСГ.- Харків, 2009.– Вип. № 80. - С. 13-16.

8. Роговский И. Стохастические модели обеспечения работоспособности сельскохозяйственных машин / И. Роговский // Motrol: Motorization and power industry in agriculture. – 2014. – Том 16, №3. – P. 296– 302.

В статье рассмотрена методология повышения долговечности функциональных систем сельскохозяйственной техники при использовании биотопливо-смазывающих материалов. При обработке экспериментальных данных использовали методы математической статистики, в частности статистики случайных процессов. Для построения математического описания процесса изменения параметра руководствовались теорией случайных функций) и теорией вероятностей, учитывая принципы функциональных взаимодействий для системного подхода и используя теории надежности. Методы теории моделирования сложных функциональных систем являются базой для формирования имитационной модели процесса технической эксплуатации машин. В процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники из-за изнашивания ее деталей и нарушения герметичности изменяются параметры, которые характеризуют работоспособность узлов и агрегатов в целом.

Сельскохозяйственная техника, надежность функциональных систем, моделирование, коэффициент готовности, параметры распределения, вероятность безотказной работы, средний ресурс.

In the article methodology of providing of reliability of the functional systems of agricultural technique is considered at the use of биотопливо-смазывающих materials. At processing of experimental data used the methods of mathematical statistics, in particular statisticians of casual processes. For the construction of mathematical description of process of change of parameter followed the theory of casual functions) and theory of chances, taking into account principles of functional cooperations for approach of the systems and using the theories of reliability. Methods of theory of design of the difficult functional systems are a base for forming of simulation model of process of technical exploitation of machines. In the process of exploitation of agricultural technique parameters that characterize the capacity of knots and aggregates on the whole change from the wear of her details and violation of impermeability.

Agricultural technique, reliability of the functional systems, design, coefficient of readiness, parameters of distribution, probability of faultless work, middle resource.