

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного



Науковий вісник

Таврійського державного агротехнологічного університету



Випуск 12, том 3

Електронне наукове фахове видання

Запоріжжя – 2022 р.

УДК [631.3+621.3+004]

T 13

Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. – Мелітополь: ТДАТУ, 2022. – Вип. 12, том 3.

ISSN 2220-8674

Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ,
Протокол № 6 від 27 грудня 2022 р.

Представлені результати наукових досліджень вчених у галузях галузевого машинобудування, енергетики, електротехніки, електромеханіки, харчових технологій, комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, інженерно-технічного персоналу і здобувачів вищої освіти, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

Реферативні бази: Crossref, Google Scholar, AGRIS, «Україна наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського.

Редакційна колегія:

Головний редактор

Кюрчев В. М. чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (Україна)

Заступник головного редактора

Надикто В. Т. – чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (Україна)

Відповідальний секретар

Діордієв В. Т. – д.т.н., проф. (Україна)

Технічний секретар

Кондратюк Ю.В. (Україна)

Beloev Hristo – д.т.н., проф. (Болгарія)

Cortez Jose Italo – PhD (Mexico)

Ivanovs Semjons – PhD (Latvia)

Olt Jüri – PhD, проф. (Eesti)

Pascuzzi Simone – Dr. проф. (Italia)

Вершков О. О. – к.т.н., доц. (Україна)

Волошина А.А. – д.т.н., проф. (Україна)

Гавриленко Є. А. – д.т.н., проф. (Україна)

Галько С. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Гнатушенко В. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Гумен О. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Дейниченко Г. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Євлаш В. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Журавель Д. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Квітка С. О. – к.т.н., доц. (Україна)

Кувачов В. П. – д.т.н., доц. (Україна)

Кузнецов М. П. – д.т.н., с.н.с. (Україна)

Кюрчев С. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Лендел Т. І. – к.т.н., (Україна)

Лисиченко М. Л. – д.т.н., проф. (Україна)

Ломейко О. П. – к.т.н., доц. (Україна)

Лубко Д. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Лясковська С. Є. – к.т.н., доц. (Україна)

Малкіна В. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Мацулевич О. Є. – к.т.н., доц. (Україна)

Паламарчук І. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Панченко А. І. – д.т.н., проф. (Україна)

Пилипенко Л. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Погребняк А. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Постолатій В. М. – д.х.т.н. (Молдова)

Пріс О. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Самойчук К. О. – д.т.н., проф. (Україна)

Сердюк М. Є. – д.т.н., проф. (Україна)

Сидоренко О. С. – к.т.н., доц. (Україна)

Скляр О. Г. – к.т.н., проф. (Україна)

Скляр Р. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Соболь О. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Тітова О. А. – д.т.н., доц. (Україна)

Холодняк Ю. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Шоман О. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Яковлев В. Ф. – к.т.н., проф. (Україна)

Ялпачик В. Ф. – д.т.н., проф. (Україна)

Відповідальний за випуск – к.т.н., професор Скляр О. Г.

Адреса редакції: ТДАТУ

Вул. Жуковського, 66,

м. Запоріжжя, 69600, Україна

© Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2022.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-3-5

УДК. 631.3.004:621.892

Д. П. Журавель, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-6100-895X

А. М. Бондар, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-4761-9084

Д. Ю. Філенко, здобувач СВО

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua, тел.: (096)68782453

СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА БІОПАЛЬНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛАХ

Анотація. в роботі розглянуто сільськогосподарську техніку як складну багатоопераційну систему. Складено граф стану сільськогосподарської техніки в період її експлуатації та визначено значення ймовірності знаходження в кожному з станів. Виявлено агрегати, через яких виникає найбільша ймовірність знаходження сільськогосподарської техніки в стані ремонту. В період експлуатації в межах заданого ресурсу розмічений граф не має тупикових станів, а ймовірності переходів сільськогосподарської техніки з одного в інше стабілізується в області фінальних своїх значень, які характеризують рівень надійності окремих агрегатів. Для зменшення кількості відмов необхідно провести комплекс заходів для адаптації сільськогосподарської техніки при експлуатації на біопально-мастильних матеріалах.

Ключові слова: біопально-мастильні матеріали, моделювання надійності, сільськогосподарська техніка, діагностування, ймовірність відмови, граф стану, структурний аналіз, прогнозування ресурсу.

Постановка проблеми. Підвищення цін на пально-мастильні матеріали (ПММ) викликане, головним чином, зменшенням нафти у надрах Землі, і залежністю України в нафтопродуктах за рахунок імпорту. Не останнє місце у цьому ряді існуючих проблем є і величезна кількість шкідливих викидів, що забруднюють навколишнє середовище. Ці факти спонукають до пошуку альтернативних видів ПММ, враховуючи кількість їх споживання.

Ефективність використання сільськогосподарської техніки визначається не тільки конструктивно-технологічними рішеннями, закладеними в процесі виготовлення, а й умовами її експлуатації,

технічного обслуговування і ремонту. Розвиток науково-технічного прогресу, інтенсифікація режимів експлуатації сільськогосподарської техніки обумовлює необхідність підвищення надійності технічних систем, особливо при використанні альтернативних пально-мастильних матеріалів біологічного походження. Вирішення цієї проблеми, це величезний резерв підвищення ефективності виробництва і продуктивності праці. З огляду змісту проблеми надійності машин слідує, що ця властивість характеризується в першу чергу здатністю виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах [1].

Аналіз останніх досліджень. Обмежений обсяг і суперечливі результати досліджень в області заміни нафтових паливних на біологічні, не дозволяють однозначно судити про вплив біопаливної композиції на енергетичні, паливно-економічні, екологічні та інші показники, що формують технічний рівень сільськогосподарської техніки [2-7]. Наявні опубліковані неповні статистичні дані про рівень надійності різних типів експлуатованих машин і систем в даний час у зв'язку з інтенсивним розвитком виробництва вже недостатньо повно відображають фактичний стан проблеми надійності [8-15], особливо на тлі використання альтернативних паливно-мастильних матеріалів біологічного походження [16-22].

Формулювання мети статті. Метою статті є структурний аналіз надійності сільськогосподарської техніки при експлуатації на біопально-мастильних матеріалах для подальшого прогнозування ресурсу вузлів і агрегатів та розробки комплексу заходів для адаптації сільськогосподарської техніки при експлуатації на біопально-мастильних матеріалах.

Основна частина. Статистичний аналіз по функціональним системам сільськогосподарської техніки дозволив визначити розподіл їх відмов (рис.1).

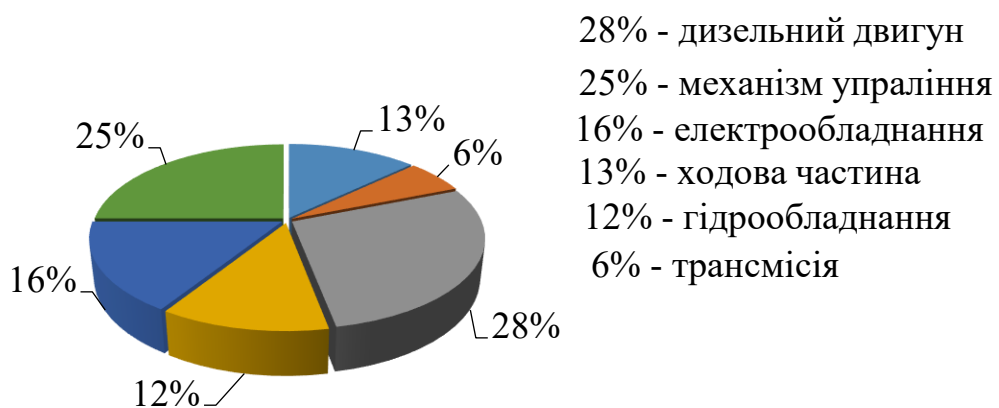
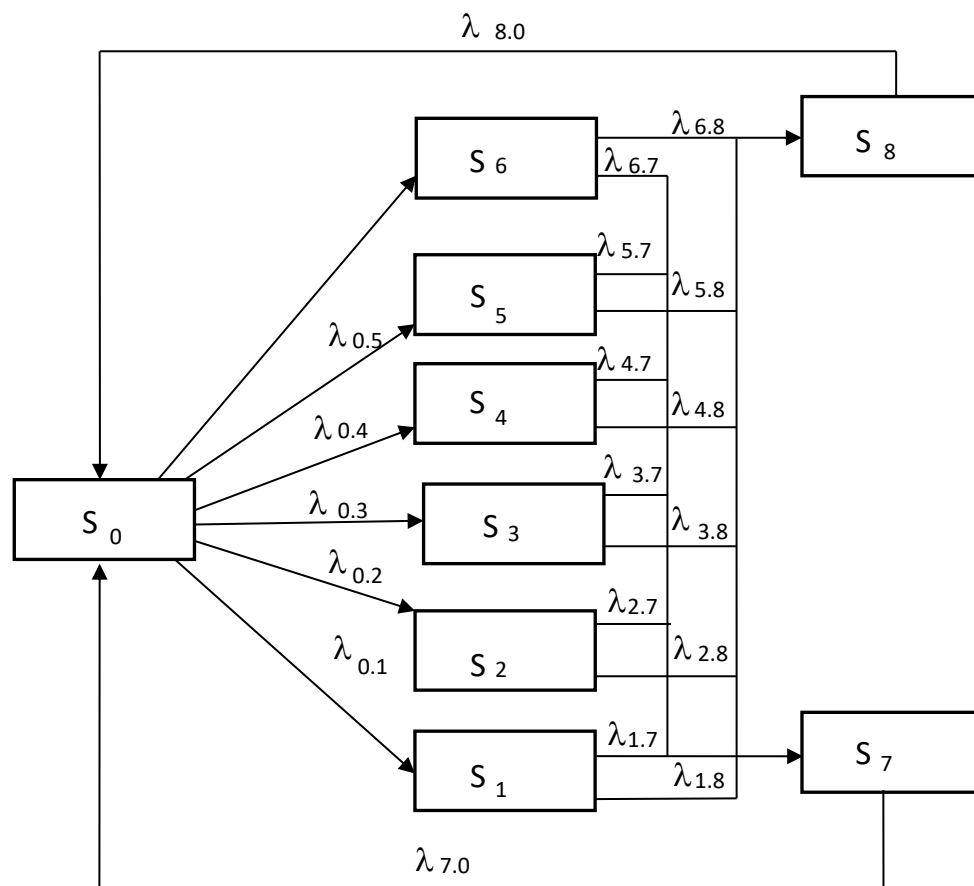


Рисунок 1. Розподіл відмов по функціональним системам сільськогосподарської техніки

Сільськогосподарську техніку можна представити у вигляді деякої системи яка складається з ряду окремих підсистем. До таких підсистем відносяться, перш за все: механізм керування, електрообладнання, гідрообладнання, дизельний двигун, трансмісія, ходова частина.

Ефективність роботи такої техніки залежить від працездатності кожної з підсистем. При цьому відмова в роботі будь-якої з підсистем веде до відмови всього одиниці техніки в цілому і припинення її нормального функціонування.

Кожен з агрегатів (підсистем) може знаходитися в двох фіксованих положеннях: робочому або неробочому, обумовленому відмовою в очікуванні або в стані ремонту. Знаходження підсистеми в тому чи іншому стані кількісно оцінюється відповідною ймовірністю.



S_0 – техніка знаходиться у справному стані; S_1 – техніка не працює через відмову механізму керування; S_2 – техніка не працює через відмову електрообладнання; S_3 – техніка не працює через відмову гідрообладнання; S_4 – техніка не працює через відмову дизельного двигуна; S_5 – техніка не працює через відмову трансмісії; S_6 – техніка не працює через відмову ходової частини; S_7 – перша група складності відмов; S_8 – друга група складності відмов.

Рисунок 2. Граф сатану функціональних систем сільськогосподарської техніки

Таким чином, переходи сільськогосподарської техніки, як складної системи, з одного стану в інші може розглядатися у вигляді процесу з фіксованими дискретними положеннями і безперервним часом переходів. При цьому, заздалегідь не можливо передбачити в який момент часу з агрегатами можуть відбуватися ті чи інші відмови, що вимагають діагностики і ремонтних робіт.

Такий випадковий процес переходів з точки зору математичного опису зручно розглядати як марківський і ілюструвати його відповідним графом станів. Для мобільної сільськогосподарської техніки розмічений граф станів наведений на рис. 2.

Передбачається, що потоки подій, пов'язані з переходами в різні стани є простими пуасонівськими, що володіють інтенсивностями λ_i [1].

Опис випадкового процесу переходу в різні стани може бути здійснено на основі визначення ймовірностей стану, які в загальному випадку є функціями часу $P_0(t), P_1(t) \dots P_8(t)$, або можна записати: $P_i(t) = P\{S(t) = S_i\}$,

де $P_i(t)$ - ймовірність того, що в момент часу t система S знаходиться в стані S_i .

Дотримуючись правила складання рівнянь Колмогорова, що використовується в системах блукаючих по безлічі станів, для розглянутої сільськогосподарської техніки можна записати:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dp_0(t)}{dt} = \lambda_{70}p_7(t) + \lambda_{80}p_8(t) - (\lambda_{01} + \lambda_{02} + \lambda_{03} + \lambda_{04} + \lambda_{05} + \lambda_{06})p_0(t); \\ \frac{dp_1(t)}{dt} = \lambda_{01}p_0(t) - \lambda_{17}p_1(t) - \lambda_{18}p_1(t); \\ \frac{dp_2(t)}{dt} = \lambda_{02}p_0(t) - \lambda_{27}p_2(t) - \lambda_{28}p_2(t); \\ \frac{dp_3(t)}{dt} = \lambda_{03}p_0(t) - \lambda_{37}p_3(t) - \lambda_{38}p_3(t); \\ \frac{dp_4(t)}{dt} = \lambda_{04}p_0(t) - \lambda_{47}p_4(t) - \lambda_{48}p_4(t); \\ \frac{dp_5(t)}{dt} = \lambda_{05}p_0(t) - \lambda_{57}p_5(t) - \lambda_{58}p_5(t); \\ \frac{dp_6(t)}{dt} = \lambda_{06}p_0(t) - \lambda_{67}p_6(t) - \lambda_{68}p_6(t); \\ \frac{dp_7(t)}{dt} = \lambda_{17}p_1(t) + \lambda_{27}p_2(t) + \lambda_{37}p_3(t) + \lambda_{47}p_4(t) + \lambda_{57}p_5(t) \\ \quad + \lambda_{67}p_6(t) - \lambda_{70}p_7(t); \\ \frac{dp_8(t)}{dt} = \lambda_{18}p_1(t) + \lambda_{28}p_2(t) + \lambda_{38}p_3(t) + \lambda_{48}p_4(t) + \lambda_{58}p_5(t) \\ \quad + \lambda_{68}p_6(t) - \lambda_{80}p_8(t) \end{array} \right. \quad (1)$$



Якщо врахувати, що можливі стани мобільної техніки статистично незалежні події, то для повної групи таких подій існує нормувальна умова в вигляді такої суми:

$$\sum_{i=0}^{i=8} P_0(t) = 1 \quad (2)$$

Щоб вирішити систему диференціальних рівнянь (1) відносно невідомих ймовірностей станів $P(t)$, задамося початковим розподілом ймовірностей в момент початку роботи при $t = 0$.

Правомірно допустити, що в початковий момент часу техніка знаходиться в працездатному стані і виконує свої функції. Тобто, система знаходиться в стані S_0 з ймовірністю $P_0(0) = 1$. Тоді, згідно з нормувальною умови, інші ймовірності станів рівні:

$$P_1(0) + P_2(0) + P_3(0) + P_4(0) + P_5(0) + P_6(0) + P_7(0) + P_8(0) = 0;$$

У сталому режимі експлуатації, коли перехідні процеси набувають деякий стаціонарний характер, ймовірності станів прагнуть до деяким своїм граничним (фінальним) значенням: $P_i = \lim_{n \rightarrow \infty} P_i(t)$.

Це характерно для стаціонарного режиму експлуатації. У такому режимі техніка переходить з одного стану в інший, але ймовірність знаходження в них залишаються постійними.

Кожна фінальна ймовірність набуває значення середнього відносного часу перебування техніки в тому чи іншому положенні. Якщо повернення в той чи інший стан можливий, то такий стан вважається істотним.

Для встановлення фінальних ймовірностей важливо (необхідно і досить), щоб з будь-якого істотного стану система (трактор) за якусь кількість кроків могла потрапити в інший будь-який суттєвий стан.

З графа станів мобільної сільськогосподарської техніки (Рис. 1) видно, що всі його стани істотні, бо після виконання кінцевої кількості кроків (переходів) завжди можливе повернення системи в будь-яке інше істотне. Це говорить про можливість досягнення встановлюючого режиму переходів, для якого виконується умова: $P_i = \text{const}$, $\lambda_{ij} = \text{const}$

В цьому випадку, виходячи з стаціонарності режиму, для сталого процесу буде справедлива рівність:

$$\frac{dp_i}{dt} = 0 \quad (3)$$



Тоді рішення системи диференціальних рівнянь може бути замінено рішенням системи лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_{70}P_7(t) + \lambda_{80}P_8(t) = (\lambda_{01} + \lambda_{02} + \lambda_{03} + \lambda_{04} + \lambda_{05} + \lambda_{06})P_0 \quad (4) \\ \lambda_{01}P_0 = \lambda_{17}P_1 + \lambda_{18}P_1; \quad (5) \\ \lambda_{02}P_0 = \lambda_{27}P_2 + \lambda_{28}P_2; \quad (6) \\ \lambda_{03}P_0 = \lambda_{37}P_3 + \lambda_{38}P_3; \quad (7) \\ \lambda_{04}P_0 = \lambda_{47}P_4 + \lambda_{48}P_4; \quad (8) \\ \lambda_{05}P_0 = \lambda_{57}P_5 + \lambda_{58}P_5; \quad (9) \\ \lambda_{06}P_0 = \lambda_{67}P_6 + \lambda_{68}P_6; \quad (10) \\ \lambda_{17}P_1 + \lambda_{27}P_2 + \lambda_{37}P_3 + \lambda_{47}P_4 + \lambda_{57}P_5 + \lambda_{67}P_6 = \lambda_{70}P_7; \quad (11) \\ \lambda_{18}P_1 + \lambda_{28}P_2 + \lambda_{38}P_3 + \lambda_{48}P_4 + \lambda_{58}P_5 + \lambda_{68}P_6 = \lambda_{80}P_8; \quad (12) \end{array} \right.$$

Таким чином, отримана система з дев'яти алгебраїчних рівнянь з дев'ятьма невідомими $P_0 \dots P_8$. Ці рівняння системи можуть бути доповнені нормувальною умовою (2).

Рішення системи виконаємо методом підстановок. Для цього необхідно замінити перше рівняння (4) нормувальною умовою (2). Із рівнянь (5 - 12) системи маємо:

$$\begin{aligned} P_1 &= P_0 \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{17} + \lambda_{18}}; \quad P_2 = P_0 \frac{\lambda_{02}}{\lambda_{27} + \lambda_{28}}; \quad P_3 = P_0 \frac{\lambda_{03}}{\lambda_{37} + \lambda_{38}}; \quad (13) \\ P_4 &= P_0 \frac{\lambda_{04}}{\lambda_{47} + \lambda_{48}}; \quad P_5 = P_0 \frac{\lambda_{05}}{\lambda_{57} + \lambda_{58}}; \quad P_6 = P_0 \frac{\lambda_{06}}{\lambda_{67} + \lambda_{68}}; \\ P_7 &= P_0 \frac{\frac{\lambda_{17}\lambda_{01}}{\lambda_{17} + \lambda_{18}} + \frac{\lambda_{27}\lambda_{02}}{\lambda_{27} + \lambda_{28}} + \frac{\lambda_{37}\lambda_{03}}{\lambda_{37} + \lambda_{38}} + \frac{\lambda_{47}\lambda_{04}}{\lambda_{47} + \lambda_{48}} + \frac{\lambda_{57}\lambda_{05}}{\lambda_{57} + \lambda_{58}} + \frac{\lambda_{67}\lambda_{06}}{\lambda_{67} + \lambda_{68}}}{P_{70}}; \\ P_8 &= P_0 \frac{\frac{\lambda_{18}\lambda_{01}}{\lambda_{17} + \lambda_{18}} + \frac{\lambda_{28}\lambda_{02}}{\lambda_{27} + \lambda_{28}} + \frac{\lambda_{38}\lambda_{03}}{\lambda_{37} + \lambda_{38}} + \frac{\lambda_{48}\lambda_{04}}{\lambda_{47} + \lambda_{48}} + \frac{\lambda_{58}\lambda_{05}}{\lambda_{57} + \lambda_{58}} + \frac{\lambda_{68}\lambda_{06}}{\lambda_{67} + \lambda_{68}}}{P_{80}}; \end{aligned}$$

Вирішимо систему підставляючи в нормувальну умову значення всіх ймовірностей виражених через P_0 :

$$\begin{aligned} &P_0 + P_0 \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{17} + \lambda_{18}} + P_0 \frac{\lambda_{02}}{\lambda_{27} + \lambda_{28}} + P_0 \frac{\lambda_{03}}{\lambda_{37} + \lambda_{38}} + P_0 \frac{\lambda_{04}}{\lambda_{47} + \lambda_{48}} + P_0 \frac{\lambda_{05}}{\lambda_{57} + \lambda_{58}} + \\ &+ P_0 \frac{\lambda_{06}}{\lambda_{67} + \lambda_{68}} + P_0 \frac{\frac{\lambda_{17}\lambda_{01}}{\lambda_{17} + \lambda_{18}} + \frac{\lambda_{27}\lambda_{02}}{\lambda_{27} + \lambda_{28}} + \frac{\lambda_{37}\lambda_{03}}{\lambda_{37} + \lambda_{38}} + \frac{\lambda_{47}\lambda_{04}}{\lambda_{47} + \lambda_{48}} + \frac{\lambda_{57}\lambda_{05}}{\lambda_{57} + \lambda_{58}} + \frac{\lambda_{67}\lambda_{06}}{\lambda_{67} + \lambda_{68}}}{P_{70}} + \\ &+ P_0 \frac{\frac{\lambda_{18}\lambda_{01}}{\lambda_{17} + \lambda_{18}} + \frac{\lambda_{28}\lambda_{02}}{\lambda_{27} + \lambda_{28}} + \frac{\lambda_{38}\lambda_{03}}{\lambda_{37} + \lambda_{38}} + \frac{\lambda_{48}\lambda_{04}}{\lambda_{47} + \lambda_{48}} + \frac{\lambda_{58}\lambda_{05}}{\lambda_{57} + \lambda_{58}} + \frac{\lambda_{68}\lambda_{06}}{\lambda_{67} + \lambda_{68}}}{P_{80}} = 1 \end{aligned}$$

Вирішивши щодо P_0 отримаємо:

$$P_0 = \left[1 + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{17} + \lambda_{18}} + \frac{\lambda_{02}}{\lambda_{27} + \lambda_{28}} + \frac{\lambda_{03}}{\lambda_{37} + \lambda_{38}} + \frac{\lambda_{04}}{\lambda_{47} + \lambda_{48}} + \frac{\lambda_{05}}{\lambda_{57} + \lambda_{58}} + \right.$$



$$\frac{\lambda_{06}}{\lambda_{67} + \lambda_{68}} + \frac{\frac{\lambda_{17}\lambda_{01}}{\lambda_{17} + \lambda_{18}} + \frac{\lambda_{27}\lambda_{02}}{\lambda_{27} + \lambda_{28}} + \frac{\lambda_{37}\lambda_{03}}{\lambda_{37} + \lambda_{38}} + \frac{\lambda_{47}\lambda_{04}}{\lambda_{47} + \lambda_{48}} + \frac{\lambda_{57}\lambda_{05}}{\lambda_{57} + \lambda_{58}} + \frac{\lambda_{67}\lambda_{06}}{\lambda_{67} + \lambda_{68}}}{P_{70}} + \frac{\frac{\lambda_{18}\lambda_{01}}{\lambda_{17} + \lambda_{18}} + \frac{\lambda_{28}\lambda_{02}}{\lambda_{27} + \lambda_{28}} + \frac{\lambda_{38}\lambda_{03}}{\lambda_{37} + \lambda_{38}} + \frac{\lambda_{48}\lambda_{04}}{\lambda_{47} + \lambda_{48}} + \frac{\lambda_{58}\lambda_{05}}{\lambda_{57} + \lambda_{58}} + \frac{\lambda_{68}\lambda_{06}}{\lambda_{67} + \lambda_{68}}}{P_{80}} \Big]^{-1}. \quad (14)$$

Відповідно маючи P_0 за формулами (13) визначаються ймовірності $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8$.

Для аналізу стану дослідженої техніки з точки зору її надійності представляє практичну цінність визначення впливу інтенсивностей потоків відмов і відновлень, що характеризують відокремлені підсистеми: механізм керування, електрообладнання, гідрообладнання, дизельний двигун, трансмісію і ходову частину.

У першому наближенні про інтенсивності подій, які переводять сільськогосподарську техніку з одного фіксованого стану в інше можна судити по середнім часам перебування її в тому чи іншому стані. Тому для розрахунків інтенсивностей переходів λ_{ij} використовується наступне співвідношення:

$$\lambda_{ij} = (T_i)^{-1}, \quad (15)$$

де T_i – середній час проведення i -тої операції.

При усуненні відмови, ремонтним виконавцям байдуже від якого трактора (агрегату) надходить відмова і який він за рахунком. Тому всі відмови умовно розділені на дві групи складності. Відмови першої групи усуваються ремонтом або заміною деталей, розташованих зовні вузлів і агрегатів, без їх розбирання, а також відмови, усунення яких вимагає позачергового проведення операцій ТО-1 і ТО-2. До першої групи належать нескладні відмови, усунення яких не вимагають глибокого розбирання агрегату (наприклад, розрив ременя генератора, роз'єднання троса управління роботою гідронасоса, підтікання оливи, зависання клапана і ін.) і, як правило, виконуються механізатором. Відмови другої групи усуваються ремонтом або заміною легкодоступних вузлів і агрегатів, а також ті, усунення яких вимагає розкриття внутрішніх порожнин основних агрегатів без їх розбирання або позачергового проведення операцій ТО-2. До другої групи відносяться більш складні відмови (наприклад, руйнування підшипника, заклинювання гідромотора, руйнування кільця в гідроциліндрі, руйнування шестерні та ін.).

Для аналізу системи в числовому вигляді, були використані результати власних експлуатаційних досліджень, а також експертні



оцінки фахівців з ремонту та обслуговуванню сільськогосподарської техніки по Запорізькій, Вінницькій та Хмельницькій областях. Результати наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристика відмов агрегатів і систем сільськогосподарської техніки

Найменування вузлів та агрегатів	Середній наробіток на відмову, год.	Кількість відмов	
		Перша група	Друга група
S ₁ , Механізм керування	761,6	15	25
S ₂ , Електрообладнання	336,5	10	11
S ₃ , Гідрообладнання	357,3	22	14
S ₄ , Дизельний двигун	623,2	12	20
S ₅ , Трансмісія	1042,6	4	9
S ₆ , Ходова частина	858,6	7	12

Діагностування несправності (визначення групи складності відмови I чи II) і підготовка до ремонту в середньому займає час $T_{i7} = 0,1$ год. і

Час проведення ремонту I групи складності становить $T_{i7} = 0,3$ год, а для II групи складності $T_{i8} = 0,5$ год, за умови наявності відповідної ремонтної бази і запасних частин.

$\lambda_{01} = 13,13 \cdot 10^{-4}$, $\lambda_{02} = 29,71 \cdot 10^{-4}$, $\lambda_{03} = 27,99 \cdot 10^{-4}$, $\lambda_{04} = 16,05 \cdot 10^{-4}$, $\lambda_{05} = 9,59 \cdot 10^{-4}$, $\lambda_{06} = 11,64 \cdot 10^{-4}$, $\lambda_{70} = 3,3$, $\lambda_{80} = 2,0$, $\lambda_{17} = 0,0197$, $\lambda_{27} = 0,0298$, $\lambda_{37} = 0,0615$, $\lambda_{47} = 0,0193$, $\lambda_{57} = 0,0038$, $\lambda_{67} = 0,0081$, $\lambda_{18} = 0,033$, $\lambda_{28} = 0,0327$, $\lambda_{38} = 0,0391$, $\lambda_{48} = 0,0337$, $\lambda_{58} = 0,0086$, $\lambda_{68} = 0,0139$.

Розраховуємо P_0 за формулою (14):

$$P_0 = [1 + 0,262 + 0,0014 + 0,00306]^{-1} = 0,789$$

За формулами (13) знаходимо $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$.

$$P_1 = 0,020, P_2 = 0,038, P_3 = 0,022, P_4 = 0,024, P_5 = 0,062, P_6 = 0,042.$$

Висновки: 1. Аналіз надійності сільськогосподарської техніки може бути проведений на основі побудови розміченого графа станів,



який функціонально об'єднує характерні істотні дисперсні положення підсистем: механізм керування; електрообладнання; гідрообладнання; дизельні двигуни; трансмісія; ходова частина.

2. В період експлуатації в межах заданого ресурсу розмічений граф не має тупикових станів, а ймовірності переходів сільськогосподарської техніки з одного в інше стабілізується в області фінальних своїх значень, які характеризують рівень надійності окремих агрегатів (підсистем).

3. Характеристика відмов агрегатів і систем сільськогосподарської техніки при експлуатації на біопально-мастильних матеріалах свідчить про значні показники щодо кількості відмов по групам складності. Для зменшення кількості відмов необхідно провести комплекс заходів для адаптації сільськогосподарської техніки при експлуатації на біопально-мастильних матеріалах.

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. К., 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*. Вип. 18.т.2. Мелітополь, 2018. С. 105–118.

3. Журавель Д.П. Підвищення ефективності використання мобільної сільськогосподарської техніки шляхом забезпечення оптимального складу сумішевих біодизельних паливних. *Науковий вісник ТДАТУ: Електронне наукове фахове видання*. Вип.8. Т.2. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. С. 91–107.

4. Журавель Д.П. Моделювання працездатності машино-тракторного агрегату при експлуатації на біодизелі. *Праці ТДАТУ*. Вип. 19.Т.3. Мелітополь, 2019. С.57–68.

5. Мілько Д. О. Методика складання раціону великої рогатої худоби на основі поживної цінності кормових компонентів. *Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодержавний збірник*. ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2019. Вип. № 10 (109). С. 91–96.

6. Бондар А. М. Використання біологічної оливи для сільськогосподарської техніки. *Механізація та електрифікація сільського господарства : загальнодержавний збірник*. ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 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. Springer Nature Switzerland AG., 2019. 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*. National Institute Of Research-Development For Machines And Installations Designed To Agriculture And Food Industry - INMA Bucharest, Vol. 60, no.1 / 2020. P. 269–274.

11. Kyrylo Samoichuk, Nadiya Palyanichka, Vadim Oleksienko, 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. Struchaiev N., Postol Y., Stopin Y., Zhuravel D., Hulevskiy V. Ways to impro the efficiency of pipelines heat insulation. *Problems of the Regional Energetics*, 2 (46) 2020. P. 43–52.

13. Korobka S., Syrotyuk S., Boltianskyi B., Boltianska L. Solar dryer with integrated energy Unit. *Problems of the Regional Energetics*, 2 (50) 2021. P. 60–75.

14. Бондар А.М. Покращення та оцінка якісних показників відпрацьованих автотракторних олив для сільськогосподарської техніки. *Науковий вісник ТДАТУ: електронне наукове фахове видання*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 1. 15 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-6.

15. Бондар А.М. Прогнозування ресурсу трибосистем при використанні сумішевих олив. *Науковий вісник ТДАТУ: електронне наукове фахове видання*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 1. 19 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-10.

16. Nadikto V., Chebanov A., Verechaga O. Improving the efficiency of pressing the male of castor seeds in the screw press. *Norwegian Journal of development of the International Science*, vol.1. No 59/2021. P. 48–53.

17. Бондар А.М., Дашивець Г.І., Паніна В.В. Обґрунтування швидкісних параметрів роботи машино-тракторного агрегату. *Науковий вісник ТДАТУ: електронне наукове фахове видання*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 2. С. 85–97. 13 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-16.



18. Dmytro Zhuravel. Research of lubricant properties of used tractor motor oils. *Науковий вісник ТДАУ: електронне наукове фахове видання*. Мелітополь: ТДАУ, 2021. Вип. 11, том 2. 18 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-5.

19. 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*, 6 (8 (114)), 6–15. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245557>.

20. Бондар А. М., Дашивець Г. І., Паніна В. В. Методика обробки емпіричних даних якісних показників роботи колісної машини. *Науковий вісник ТДАУ: електронне наукове фахове видання*. Гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев., Мелітополь: ТДАУ, 2022. Вип. 12, том 2. 13 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2022-2-2.

21. 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, 15, 1795. <https://doi.org/10.3390/en15051795>.

22. Каплан, М.; 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, 15, 3416. <https://doi.org/10.3390/en15093416>.

Стаття надійшла до редакції 05.11.2022 р.

D. Zhuravel, A. Bondar, D. Filenko
Dmytro Motorny Tavria state agrotechnological university

**STRUCTURAL ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF
AGRICULTURAL MACHINERY IN OPERATION
ON BIOGRAPHY AND LUBRICANTS**

Summary

The paper considers agricultural machinery as a complex multi - operational system. The limited volume and contradictory results of research in the field of replacement of petroleum fuels with biological ones do not allow to unambiguously judge the impact of biofuel composition on energy, fuel and economic, environmental and other indicators that form the technical level of agricultural machinery. The available published incomplete statistics on the level of reliability of different types of operated machines and systems at present due to the intensive development of production do not fully reflect the actual state of the problem, especially against the background of the use of alternative fuels and lubricants of biological origin. Analysis of the system in numerical form, the results of own operational researches, and also expert estimations of experts in repair and service of agricultural machinery were used. Graphs of the state of agricultural machinery during its operation are made and the value of the probability of being in each of the states is determined. Units were identified, due to which there is the greatest probability of



agricultural machinery being in a state of repair. During the period of operation within the given resource the marked graph has no deadlocks, and the probability of transitions of agricultural machinery from one to another is stabilized in the area of its final values, which characterize the level of reliability of individual units. The characteristics of failures of units and systems of agricultural machinery during operation on biofuel and lubricants indicate significant indicators of the number of failures by groups of complexity. To reduce the number of failures, it is necessary to carry out a set of measures for the adaptation of agricultural machinery during operation on biofuels and lubricants.

Keywords: biofuels, reliability modeling, agricultural machinery, diagnostics, failure probability, state graph, structural analysis, resource forecasting.

**ЗМІСТ****ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

- Богомолів О. В., Михайлов В. М., Завгородній О. І., Ірклієнко В. І., Богомолів О. О., Іващенко С. Г.* 1
До питання енергоємності процесів сепарації зернових сумішей
- Кюрчев С. В., Верхованцева В. О.* 2
Аналіз ефективності застосування каскадного морозильного пристрою для заморожування ягід
- Скляр О. Г., Скляр Р. В., Болтянський Б. В.* 3
Аналіз сучасних технологій та обладнання для утримання виробничої птиці
- Тебенко В. М., Завадських Г. М., Лисак О. І.* 4
Пріоритетні напрями інноваційного розвитку
- Журавель Д. П., Бондар А. М., Філенко Д. Ю.* 5
Структурний аналіз надійності сільськогосподарської техніки при експлуатації на біопально-мастильних матеріалах
- Самойчук К. О., Ковальов О. О., Фучаджи Н. О.* 6
Методика розрахунку параметрів промислового зразка струминно-щілинного гомогенізатора молока
- Kotar A. S.* 7
Modern technologies for processing livestock manure and poultry litter into high-quality fertilizers
- Болтянська Л. О.* 8
Енергозбереження та енергоефективність в домогосподарствах населення
- Дашивець Г. І., Бондар А. М., В'юнник О. В.* 9
Вплив технологічної бази на підвищення рівня виробничих ресурсів сервісного підприємства
- Бондаренко Л. Ю., Тетервак І. Р.* 10
Огляд агрегатів для покращення кисневого балансу компостної суміші



- Мітков В. Б.* 11
Обґрунтування доцільності введення екологічного контролю енергетичних засобів при виробництві сільськогосподарської продукції
- Болтянський Б. В., Скляр Р. В.* 12
Модель функціонування бази технічного сервісу обладнання тваринницьких підприємств
- Ковальов О. О., Самойчук К. О., Паляничка Н. О.* 13
Оптимізація форми внутрішніх поверхонь кільцевої щілини струминного гомогенізатора молока
- Журавель Д. П.* 14
Прогнозування надійності паливної системи мобільної техніки при використанні біодизельних паливних
- Лисак О. І., Тебенко В. М., Завадських Г. М.* 15
Розробка бізнес-плану вирощування цукрової кукурудзи для малих підприємств півдня України
- Ломейко О. П., Верхованцева В. О., Паляничка Н. О.* 16
Аналіз ефективності способів вдосконалення клапанних гомогенізаторів

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Дідур В. В., Журавель Д. П., Шокарев О. М., В'юник О. В., Комар А. С.* 17
Аналіз технологій отримання олії з олійних культур
- Боковець С. П., Перцевой Ф. В.* 18
Дослідження гідрогелів агару у поєднанні з медом та кунжутним борошном методом дск для виробництва батончиків
- Бандура В. М., Фіалковська Л. В.* 19
Технологія зберігання насіння зернових культур
- Ілляшенко Я. І., Мельник О. Ю.* 20
Використання кріопорошків в технології виготовлення пастили
- Семко Т. В., Іваніщева О. А.* 21
Формування функціональних властивостей пісочно-відсаджувального печива шляхом застосування зостери



- Крижак Л. М.* 22
Перспективне використання плодів садової ірги (*Amelanchier medic*) у харчовій промисловості
- Роженко А. С., Мельник О. Ю.* 23
Використання калини та продуктів її переробки у виробництві здобних виробів
- Пахомська О. В.* 24
Харчові добавки: класифікація та вплив на організм людини
- Кошель О. Ю., Москаленко А. О., Маренкова Т. І., Лобачова Н. Л.* 25
Визначення показників якості тіста для круасанів
- Геліх А. О., Головка М. П., Кошель О. Ю., Василенко О. О., Чернишов С. О.* 26
Удосконалення технології м'ясних тістових напівфабрикатів з використанням безглютенової рослинної сировини

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

- Волошин В. С., Азархов О. Ю.* 27
До питання ролі людини в енергетичному обміні сонце-земля
- Гулевський В. Б., Постол Ю. О., Добровенко І. Г.* 28
Огляд сучасного стану релейного захисту електричних мереж
- Сілі І. І., Азархов О. Ю.* 29
Дезінфікуючий UV-C мобільний робот

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

- Дереза О. О., Дереза С. В.* 30
Інструменти комунікації для підготовки фахівців АПК
- Холодняк Ю. В., Гавриленко Є. А., Мірошниченко М. Ю.* 31
Комп'ютерне моделювання криволінійних поверхонь на основі масиву точок
- Лубко Д. В., Шаров С. В.* 32
Розробка сучасної експертної системи для галузі свинарства у приватних господарствах



- Зінов'єва О. Г.* 33
Оптимізація технічного обслуговування сільськогосподарської техніки методом імітаційного моделювання
- Лубко Д. В.* 34
Використання Web-технологій для автоматизації розробки технологічних карт вирощування сільськогосподарських культур

Електронне наукове фахове видання

Науковий вісник
Таврійського державного агротехнологічного університету

Випуск 12, том 3.

Відповідальний за випуск – к.т.н., професор Скляр О. Г.

Комп'ютерна верстка: Комар А. С.

Підписано до друку 28 грудня 2022 р.
Друкарня ТДАТУ
18,40 умов. друк. арк.