

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: 10.31388/2220-8674-2022-3-14

УДК 631.3–192:662.63

Д. П. Журавель, д.т.н.

ORCID: 0000-0002-6100-895X

*Таврійський державний агротехнологічний університет**Імені Дмитра Моторного*

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

ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БІОДИЗЕЛЬНИХ ПАЛЬНИХ

Анотація. В роботі обґрунтовано вплив біодизельних палих на коефіцієнт готовності машинно-тракторних агрегатів з метою адаптації паливної системи дизельного двигуна під біодизель. Отримано ймовірності станів, які покладені в основу визначення комплексних показників надійності паливної системи дизельного двигуна. В цілому надійність всієї паливної системи залежить від надійності всіх підсистем, а також від виду пального. Встановлено, що одним із шляхів підвищення коефіцієнта готовності машино-тракторних агрегатів, а отже і надійності в цілому може бути заміна конструкційних матеріалів паливної системи дизельного двигуна на інертні до агресивного середовища біодизельного пального. В результаті цього коефіцієнт готовності для паливної системи, на біопальному, без заміни конструкційних матеріалів склав 0,66 а з заміною – 0,71, при цьому час на виконання технологічних операцій з технічного обслуговування і ремонту паливної апаратури знизився на 15...35 %.

Ключові слова: біодизельне пальне, моделювання надійності, паливна система, машинно-тракторний агрегат, граф станів, інтенсивність і ймовірність подій, коефіцієнт готовності, відмова.

Постановка проблеми. Ефективність використання сільськогосподарської техніки залежить від багатьох чинників, що визначає місце серед яких належить системі технічного сервісу [1-4].

Підтримка технічних засобів в справному стані забезпечує система технічного обслуговування і ремонту машинно-тракторних агрегатів (МТА), які представляють собою комплекс систем, що складаються з ряду підсистем. Однією з таких підсистем, яка виконує самостійні функції, є паливна система дизельного двигуна, що в свою чергу також поділяється на більш дрібні підсистеми. В цілому надійність всієї паливної системи залежить від надійності всіх підсистем, а також від



виду пального, яке використовується при експлуатації машинно-тракторних агрегатів. Використовуючи відомі методи, можна зробити порівняльну оцінку коефіцієнтів готовності K_g , як комплексного показника надійності паливної системи дизельного двигуна машинно-тракторного агрегату при використанні біологічного пального, так і адаптації паливної системи під біопальне [5-7].

Аналіз останніх досліджень. В результаті аналізу теоретичних і експериментальних досліджень та методів підвищення надійності дизельної паливної системи, встановлено два основних методологічних напрямки [8-12]. Перший включає конструктивно-технологічні методи, що вимагають зміни розрахунково-конструктивних параметрів прецизійних пар і вдосконалення технології виготовлення окремих деталей. Другий становить експлуатаційно-технологічні методи, пов'язані із забезпеченням сприятливих умов роботи деталей, що труться за рахунок вдосконалення існуючої технології ремонту і обслуговування. Вибір раціонального способу підвищення ресурсу дизельної паливної системи повинен базуватися на даних про характер зношування і умови роботи деталей вузлів і агрегатів [13-18].

Низький рівень технічного обслуговування паливної системи призводить до частих ремонтів, особливо це виражається при експлуатації на біодизельних паливах [19-22].

Ці пальні мають рідкий або газоподібний стан, виробляються із зеленої маси або насіння рослин. Здебільшого вони значно відрізняються від традиційних рідких вуглеводневих паливних своїми фізико-хімічними властивостями, які впливають як на організацію робочого процесу двигуна внутрішнього згоряння, так і на підсумкові техніко-економічні та екологічні показники машино-тракторного агрегату в цілому. З усіх проблемних питань, пов'язаних з використанням біодизельного пального, найменш вивчені ті, які визначають надійність двигунів. Все це і обумовлює необхідність наукових досліджень.

Формулювання цілей статті. Метою статті є обґрунтування впливу надійності паливної системи дизельного двигуна на коефіцієнт готовності машинно-тракторного агрегату в залежності від використання різних видів паливних і адаптації паливної системи під біо-пальне.

Основна частина. У процесі збору інформації в господарських умовах використовували такі плани спостережень як NUN, NUT і NRT відповідно до вимог ГОСТ 17510. Під спостереженням перебувало 12 тракторів МТЗ-80 і спостереження проводили на протязі 16000 мото-годин. Машини, які досягали граничного стану, знімали з подальшого спостереження, а якщо виникли експлуатаційні відмови усували без зняття машин зі спостереження.



Отриману інформацію обробляли в такій послідовності: будували статистичний ряд і визначали величини зміщення початку розсіювання; визначали середнє значення і середньоквадратичне відхилення показників надійності; будували граф стану для вузлів паливної системи дизельних двигунів; складали диференціальні рівняння Колмогорова і визначали коефіцієнти готовності і технічного використання; будували залежності ймовірностей відмов, тобто переходу стану вузлів паливної системи з одного в інше, як із заміною конструкційних матеріалів так і без заміни.

Паливну систему можна представити у вигляді декількох підсистем. До таких підсистем, які виконують самостійні функції, відносяться: паливний бак, насос підкачки, фільтр, паливний насос високого тиску, форсунки, трубопроводи, клапан, ущільнення. Основним функціональним завданням паливних систем двигунів є подача точної кількості пального у відповідний циліндр і в точно певний проміжок часу.

Для полегшення пуску дизеля в холодну пору часто застосовуються свічки накалювання, які відрізняються від іскрових свічок запалювання тим, що вони є просто електричними нагрівачами і підігрівають холодне повітря перед подачею його в циліндри двигуна в процесі пуску.

Надійність агрегату залежить від надійності кожної з підсистем, а також від використання різних видів пального, зокрема, біопального та адаптації паливної системи до нього. При цьому відмова в роботі будь-якої з підсистем веде до припинення його нормальної роботи. Кожна з підсистем може перебувати в двох фіксованих станах - робочому, і неробочому.

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, паливне 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 зворотний перехід зі стану S_2 в S_0 під впливом потоку "закінчень ремонтів" першого вузла і т.п.

Вже згадана система має одинадцять можливих станів: $S_0, S_1, S_2,$

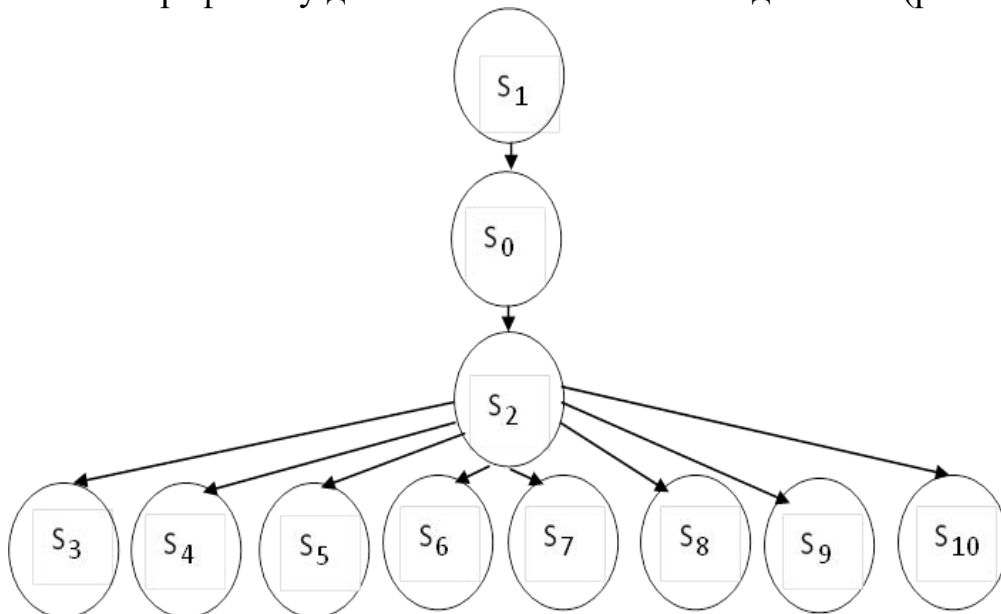
$S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}$.

Випадковий процес переходу з одного стану в інший може бути здійснений на основі визначення ймовірностей стану, які є функціями часу $P_0(t), P_1(t) \dots P_{10}(t)$.

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 диференціальних 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 паливної системи наведений на (рис. 1).



S_0 – паливна система (ПС) справна і працює; S_1 – ПС справна, але не працює (простої); S_2 – ПС несправна, і не працює (йде діагностування відмови); S_3 – ПС несправна, через відмову паливного бака; S_4 – ПС несправна, через відмову насоса підкачки; S_5 – ПС несправна, через відмову фільтра; S_6 – ПС несправна, через відмову ПНВТ; S_7 – ПС несправна, через відмову форсунок; S_8 – ПС несправна, через відмову трубопроводу; S_9 – ПС несправна, через відмову клапана; S_{10} – ПС несправна, через відмову ущільнень.

Рисунок. 1. Граф стану паливної системи дизельного двигуна

У нижній 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 (i -го стану).



$$\left\{ \begin{array}{l}
 \frac{dP_0(t)}{dt} = \mu_{1\mu_0}(t) + \lambda_{3.0}P_3(t) + \lambda_{4.0}P_4(t) + \lambda_{5.0}P_5(t) + \lambda_{6.0}P_6(t) + \\
 \lambda_{7.0}P_7(t) + \lambda_{8.0}P_8(t) + \lambda_{9.0}P_9(t) + \lambda_{10.0}P_{10}(t) - \lambda_{0.1}P(t) - \lambda_{0.2}P_0(t) \\
 \frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_{0.1}P_0(t) - \mu_{1.0}P_1(t) \\
 \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_{0.2}P_0(t)(\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7} + \lambda_{2.8} + \lambda_{2.9} + \lambda_{2.1}) \\
 \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_{2.3}P_2(t) - \lambda_{3.0}P_3(t) \\
 \frac{dP_4(t)}{dt} = \lambda_{2.4}P_2(t) - \lambda_{4.0}P(t) \\
 \frac{dP(t)}{dt} = \lambda_{2.5}P_2(t) - \lambda_{5.0}P_5(t) \\
 \frac{dP_6(t)}{dt} = \lambda_{2.6}P(t) - \lambda_{6.0}P(t) \\
 \frac{dP(t)}{dt} = \lambda_{2.7}P(t) - \lambda_{7.0}P_7(t) \\
 \frac{dP_8(t)}{dt} = \lambda_{2.8}P_2(t) - \lambda_{8.0}P(t) \\
 \frac{dP_9(t)}{dt} = \lambda_{2.9}P(t) - \lambda_{9.0}P_9(t) \\
 \frac{dP_{10}(t)}{dt} = \lambda_{2.1}P(t) - \lambda_{10.0}P_{10}(t)
 \end{array} \right. \quad (1)$$

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

$$\sum_{i=0}^{i=10} P_i(t) = 1 \quad (2)$$

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:

$$P_1(0) = P_2(0) = P_3(0) = P_4(0) = P_5(0) = P_6(0) = P_7(0) = \\
 P_8(0) = P_9(0) = P_{10}(0) = 0$$

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 ($t \rightarrow \infty$):



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

Для стаціонарного режиму експлуатації, це характерно. У такому режимі паливна 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.

$$\left\{ \begin{array}{l} (\lambda_{01} + \lambda_{02})P_0 = \mu_{10}P_1 + \lambda_{30}P_3 + \lambda_{40}P_4 + \lambda_{50}P_5 + \lambda_{60}P_6 + \\ \lambda_{70}P_7 + \lambda_{80}P_8 + \lambda_{90}P_9 + \lambda_{100}P_{10} \\ \mu_{10}P_1 = \lambda_{01}P_0 \\ (\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7} + \lambda_{2.8} + \lambda_{2.9} + \lambda_{2.1})P_2 = \lambda_{02}P_0 \\ \lambda_{30}P_3 = \lambda_{2.3}P_2 \\ \lambda_{40}P_4 = \lambda_{2.4}P_2 \\ \lambda_{50}P_5 = \lambda_{2.5}P_2 \\ \lambda_{60}P_6 = \lambda_{2.6}P_2 \\ \lambda_{70}P_7 = \lambda_{2.7}P_2 \\ \lambda_{80}P_8 = \lambda_{2.8}P_2 \\ \lambda_{90}P_9 = \lambda_{2.9}P_2 \\ \lambda_{100}P_{10} = \lambda_{2.1}P_2 \end{array} \right. \quad (5)$$

Ми отримали систему алгебраїчних рівнянь в яких є одинадцять невідомих $P_0 \dots P_{10}$.

Ці рівняння доповнюємо умовами:

$$\sum_{i=0}^{i=10} P_i(t) = 1 \quad (6)$$

З другого рівняння системи отримуємо:

$$= P_2 \left(\frac{\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7} + \lambda_{2.8} + \lambda_{2.9} + \lambda_{2.1}}{\lambda_{02}} \right) P_0 \quad (7)$$

Далі

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



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

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

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

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

$$P_8 = P_2 \left(\frac{\lambda_{2.8}}{\lambda_{80}} \right) \quad (13)$$

$$P_9 = P_2 \left(\frac{\lambda_{2.9}}{\lambda_{90}} \right) \quad (14)$$

$$P_{10} = P_2 \left(\frac{\lambda_{2.1}}{\lambda_{100}} \right) \quad (15)$$

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

$$P_2 \frac{(\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7} + \lambda_{2.8} + \lambda_{2.9} + \lambda_{2.1})}{\lambda_{02}} + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} + P_2 \frac{(\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7} + \lambda_{2.8} + \lambda_{2.9} + \lambda_{2.1})}{\lambda_{02}} + P_2 + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.4}}{\lambda_{40}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.5}}{\lambda_{50}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.8}}{\lambda_{80}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.9}}{\lambda_{90}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.1}}{\lambda_{100}} \right) = 1 \quad (16)$$

Звідси:

$$P_2 \frac{(\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7} + \lambda_{2.8} + \lambda_{2.9} + \lambda_{2.1})}{\lambda_{02}} \cdot \left(1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} \right) + P_2 + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.4}}{\lambda_{40}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.5}}{\lambda_{50}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.8}}{\lambda_{80}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.9}}{\lambda_{90}} \right) + P_2 \left(\frac{\lambda_{2.1}}{\lambda_{100}} \right) = 1 \quad (17)$$

Після перетворення, маємо:

$$P_2 \left[\frac{\lambda_{2.3} + \dots + \lambda_{2.9} + \lambda_{2.1}}{\lambda_{02}} \left(1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} \right) + 1 + \left(\frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \dots + \frac{\lambda_{2.9}}{\lambda_{90}} + \frac{\lambda_{2.1}}{\lambda_{100}} \right) \right] = 1 \quad (18)$$

Звідси, P_2 дорівнює:



$$P_2 = \frac{1}{\left[\frac{\lambda_{2.3} + \dots + \lambda_{2.9} + \lambda_{2.1}}{\lambda_{02}} \left(1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} \right) + 1 + \left(\frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \dots + \frac{\lambda_{2.9}}{\lambda_{90}} + \frac{\lambda_{2.1}}{\lambda_{100}} \right) \right]} \quad (19)$$

$$P_2 = \left[\frac{\lambda_{2.3} + \dots + \lambda_{2.9} + \lambda_{2.1}}{\lambda_{02}} \left(1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} \right) + 1 + \left(\frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \dots + \frac{\lambda_{2.9}}{\lambda_{90}} + \frac{\lambda_{2.1}}{\lambda_{100}} \right) \right]^{-1} \quad (20)$$

Маючи P_2 , знаходимо $P_0, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9, P_{10}$.

Ймовірність P_1 знаходимо з нормувальної умови, як різницю:

$$P_1 = 1 - (P_0 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10}) \quad (21)$$

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

$$K_r = P_0 + P_1 \quad (22)$$

Вводимо в формулу значення ймовірностей і отримуємо:

$$K_r = P_0 + [1 - (P_0 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10})] \quad (23)$$

Перетворюючи вираження отримуємо:

$$K_r = 1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7 - P_8 - P_9 - P_{10} \quad (24)$$

Виразив ймовірності через P_2 , маємо:

$$K_r = 1 - P_2 \left(1 - \frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \frac{\lambda_{2.4}}{\lambda_{40}} + \frac{\lambda_{2.5}}{\lambda_{50}} + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} + \frac{\lambda_{2.8}}{\lambda_{80}} + \frac{\lambda_{2.9}}{\lambda_{90}} + \frac{\lambda_{2.1}}{\lambda_{100}} \right) \quad (25)$$

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



$$K_r = \frac{\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \lambda_{2.7} + \lambda_{2.8} + \lambda_{2.9} + \lambda_{2.1}}{\lambda_{2.3} + \dots + \lambda_{2.9} + \lambda_{2.1} + \frac{\lambda_{02}}{\left(1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}}\right)} \cdot \left(1 + \frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \dots + \frac{\lambda_{2.9}}{\lambda_{90}} + \frac{\lambda_{2.1}}{\lambda_{100}}\right)} \quad (26)$$

Розглядаючи питання надійності паливних систем слід звернути увагу на ще один комплексний показник надійності – коефіцієнт технічного використання КТ.В.

$$KT.V. = K_2 - (P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10}) \quad (27)$$

Підставляємо в рівняння коефіцієнт готовності:

$$KT.V. = 1 - 2(P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10}) \quad (28)$$

Звідси:

$$KT.V. = 1 - 2P_2 \cdot \left(\frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \frac{\lambda_{2.4}}{\lambda_{40}} + \frac{\lambda_{2.5}}{\lambda_{50}} + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} + \frac{\lambda_{2.8}}{\lambda_{80}} + \frac{\lambda_{2.9}}{\lambda_{90}} + \frac{\lambda_{2.1}}{\lambda_{100}} \right) \quad (29)$$

Замінюючи ймовірність P2, через інтенсивності отримуємо:

$$KT.V. = 1 - \frac{2 \cdot \left(1 + \frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \frac{\lambda_{2.4}}{\lambda_{40}} + \frac{\lambda_{2.5}}{\lambda_{50}} + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{60}} + \frac{\lambda_{2.7}}{\lambda_{70}} + \frac{\lambda_{2.8}}{\lambda_{80}} + \frac{\lambda_{2.9}}{\lambda_{90}} + \frac{\lambda_{2.1}}{\lambda_{100}}\right)}{\frac{\lambda_{2.3} + \dots + \lambda_{2.9} + \lambda_{2.1}}{\lambda_{02}} \cdot \left(1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}}\right) + 1 + \left(\frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{30}} + \dots + \frac{\lambda_{2.9}}{\lambda_{90}} + \frac{\lambda_{2.1}}{\lambda_{100}}\right)} \quad (30)$$

Для визначення інтенсивностей переходів λ_i и μ_{10} досліджуваної паливної системи з одного стану в інший використовуємо наступне співвідношення:

$$\lambda_i = (T_i)^{-1} ; \quad (31)$$

$$\mu_{10} = T_{10}^{-1}. \quad (32)$$

де T_i – середній час проведення і-тої операції.

Далі розраховуємо ймовірності переходів паливної системи з одного стану в інший, на біопальному, без заміни конструкційних матеріалів за формулою (16):



$$P_2 = \left[\left(\frac{0,025+0,02+0,05+0,0125+0,0143+0,063+0,05+0,018}{0,01} \right) \left(1 + \frac{0,19}{1} \right) + 1 + \frac{0,025}{0,0185} + \frac{0,02}{0,0084} + \frac{0,05}{0,067} + \frac{0,0125}{0,0042} + \frac{0,0143}{0,0084} + \frac{0,063}{0,2} + \frac{0,05}{0,034} + \frac{0,018}{0,0084} \right]^{-1} = 0,022.$$

Звідси, відповідно до формул (18 ... 25) обчислюємо ймовірності:

$$P_3 = 0,044; P_4 = 0,052; P_5 = 0,0165; P_6 = 0,066; P_7 = 0,0374; P_8 = 0,00693; P_9 = 0,032; P_{10} = 0,047.$$

По формулі (17) находимо P_0 , $P_0 = 0,022 \cdot 25,3 = 0,56$.

P_1 згідно формули (31) дорівнює $P_1 = 1 - 0,9 = 0,1$.

Звідси коефіцієнт готовності для паливної системи, на біопальному, без заміни конструкційних матеріалів, обчислюємо за формулою (32):

$$T_r = 0,056 + 0,1 = 0,66.$$

Розраховуємо ймовірності переходів паливної системи з одного стану в інший, при роботі на біопальному зі заміною конструкційних матеріалів на інертні до агресивного середовища біодизельного пального за формулою (26):

$$P_2 = \left[\left(\frac{0,033+0,025+0,067+0,0153+0,02+0,1+0,056+0,025}{0,011} \right) \left(1 + \frac{0,19}{1} \right) + 1 + \frac{0,033}{0,0185} + \frac{0,025}{0,0084} + \frac{0,067}{0,067} + \frac{0,0153}{0,0042} + \frac{0,02}{0,0084} + \frac{0,01}{0,2} + \frac{0,056}{0,034} + \frac{0,025}{0,0084} \right]^{-1} = 0,017.$$

Для визначення значення часу на технологічне обслуговування та ремонт окремих вузлів паливної апаратури і визначення коефіцієнта готовності всього механізму в цілому, були використані результати експлуатаційних досліджень, а також експертні оцінки фахівців з ремонту та обслуговування паливної апаратури.

Звідси, відповідно до формул (8 ... 15) обчислюємо ймовірності:

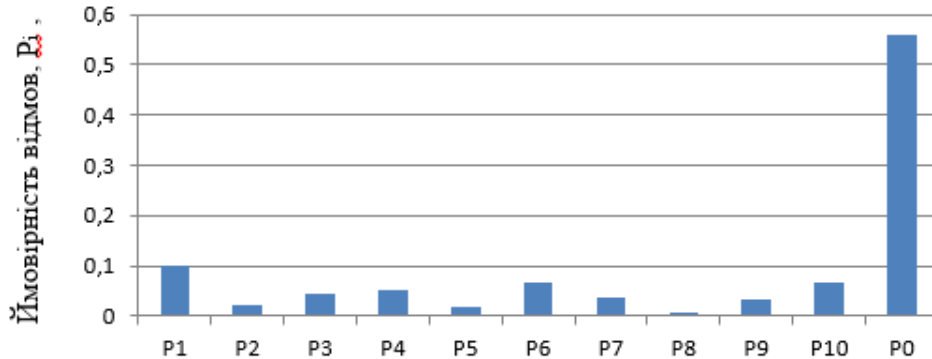
$$P_3 = 0,045; P_4 = 0,05; P_5 = 0,017; P_6 = 0,062; P_7 = 0,04;$$

$$P_8 = 0,0025; P_9 = 0,028; P_{10} = 0,05.$$

По формулі (7) находимо P_0 , $P_0 = 0,017 \cdot 34,13 = 0,525$.

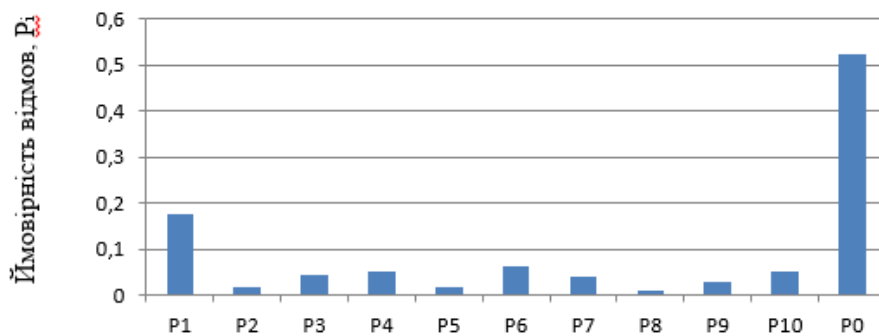
P_1 згідно формули (21) дорівнює $P_1 = 1 - 0,825 = 0,175$.

Звідси коефіцієнт готовності для паливної системи, на біопальному, із заміною конструкційних матеріалів, обчислюємо згідно з формулою (22): $T_r = 0,53 + 0,175 = 0,71$.



P_0 – ймовірність відмов паливної системи в цілому; P_1 – ймовірність непрацездатного стану в зв'язку з простоями; P_2 – ймовірність непрацездатного стану в зв'язку з діагностуванням причин відмов; P_3 – ймовірність відмови паливного бака; P_4 – ймовірність відмови насоса підкачки; P_5 – ймовірність відмови фільтра; P_6 – ймовірність відмови паливного насоса високого тиску; P_7 – ймовірність відмови форсунок; P_8 – ймовірність відмови трубопроводів; P_9 – ймовірність відмови клапана; P_{10} – ймовірність відмови ущільнюючих елементів.

Рисунок 2. Діаграма ймовірностей переходів з одного стану в інший обладнання паливної системи без заміни конструкційних матеріалів



P_0 – ймовірність відмов паливної системи в цілому; P_1 – ймовірність непрацездатного стану в зв'язку з простоями; P_2 – ймовірність непрацездатного стану в зв'язку з діагностуванням причин відмов; P_3 – ймовірність відмови паливного бака; P_4 – ймовірність відмови насоса підкачки; P_5 – ймовірність відмови фільтра; P_6 – ймовірність відмови паливного насоса високого тиску; P_7 – ймовірність відмови форсунок; P_8 – ймовірність відмови трубопроводів; P_9 – ймовірність відмови клапана; P_{10} – ймовірність відмови ущільнюючих елементів.

Рисунок 3. Діаграма ймовірностей переходів з одного стану в інший обладнання паливної системи з заміною конструкційних матеріалів



Висновок: Таким чином, використовуючи отримані залежності можна достовірно оцінити ступінь впливу біодизельного пального на надійність паливної системи дизельного двигуна та коефіцієнт готовності і технічного використання МТА. Очевидним є те, що одним із шляхів підвищення коефіцієнта готовності і технічного використання МТА може бути заміна деяких конструкційних матеріалів паливної системи дизельного двигуна на інертні до агресивного середовища біодизельного пального, основу якого складають карбонові кислоти, і як правило підвищення ресурсу прецизійних з'єднань. В результаті цього коефіцієнт готовності для паливної системи, на біопальному, без заміни конструкційних матеріалів склав 0,66 а з заміною – 0,71, при цьому час на виконання технологічних операцій з технічного обслуговування і ремонту паливної апаратури зменшився на 15 ... 35%.

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 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. 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 Таврійського державного агротехнологічного університету: 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 Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ*. 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 Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання*. ТДАТУ. 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 Таврійського державного агротехнологічного університету*: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 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 Таврійського державного агротехнологічного університету*: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Мелітополь: ТДАТУ, 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

Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

PREDICTION OF THE RELIABILITY OF THE FUEL SYSTEM OF MOBILE EQUIPMENT WHEN USING BIODIESEL FUEL

Summary

The paper substantiates the impact of biodiesel fuels on the availability of machine-tractor units in order to adapt the diesel engine fuel system to biodiesel. Developed and researched mathematical models of the reliability of the diesel engine fuel system. The probabilities of states are obtained, which form the basis for determining the complex indicators of reliability of the diesel engine fuel system. The averaged values of time to perform technological operations for the maintenance and repair of fuel equipment during operation on biodiesel have been established. In general, the reliability of the entire fuel system depends on the reliability of all subsystems, as well as the type of fuel. It has been established that one of the ways to increase the availability of machine-tractor units and, consequently, reliability in general, can be the replacement of structural materials of the



diesel engine fuel system with inert to aggressive biodiesel fuel, which is based on carboxylic acids and, as a rule, increase the life of precision compounds. As a result, the availability factor for the fuel system on biofuels, without replacing structural materials, was 0.66 and the replacement was 0.71, while the time required to perform technological operations for the maintenance and repair of fuel equipment decreased by 15...35%. It has been proved that biodiesel is more aggressive in comparison with diesel construction compared to diesel fuel. This is due to the occurrence of free hydrogen on the surface of the materials, which promotes the formation of oxide films and the penetration of hydrogen into the surface layers of metal, which promotes hydrogen wear. The negation of these negative phenomena is possible due to the reduction of methanol in biodiesel. To increase the resource of agricultural machinery when working on biological fuel, possibly by washing the mineral fuel of the entire fuel system. This eliminates the harmful effects of methanol on metals during the downtime of units and assemblies. To ensure the reliability of agricultural machinery, we have developed a methodology for improving the reliability of agricultural machinery when using PPM.

Key words: biodiesel, reliability modeling, fuel system, machine-tractor unit, state graph, intensity and probability of events, availability, failure.

**ЗМІСТ****ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

- Богомолов О. В., Михайлов В. М., Завгородній О. І., Ірклієнко В. І., Богомолов 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., Завадских 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'юник 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.