

Аналітичне визначення факторів впливу на коефіцієнт готовності сільськогосподарських машин в системі їх технічного обслуговування

В статті наведено аналітичні викладки впливу показників експлуатаційної надійності на коефіцієнт готовності сільськогосподарських машин в розрізі профілактичних регламентованих заходів їх технічного обслуговування.

безвідмовність, відмова, наробіток, коефіцієнт готовності, потік відмов, машина сільськогосподарська, технічне обслуговування

Наукові задачі із забезпечення надійності систем, що обслуговуються, розкриваються дослідниками в значній кількості працях [1-7]. Найбільшого успіху досягнуто для систем з експоненціальним законом розподілу тривалості [5-7]. В цьому випадку процес функціонування розглядається через призму лінійних диференційних рівнянь, які складаються за схемою процесу при застосуванні елементарних формальних правил. Однак існують процеси, в яких тривалість не підпорядковується експоненціальному розподілу, тоді виникають складнощі як в описовій ланці, так і в вирішенні рівнянь, якими бувають і диференціальні рівняння в частиних похідних або інтегродиференціальні рівняння [8, 9]. При необхідності вирішення практичних задач майже завжди застосовується статистичне моделювання [10]. Праці з пошуку оптимальних або раціональних систем обслуговування, і технічного обслуговування зокрема, наскільки відомо авторіві, поки що не отримали належного оприлюднення.

Показники, які визначають сукупну надійність робочого процесу сільськогосподарських машин: середній наробіток на відмову $\bar{T}_{cp}$, ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$, щільність ймовірності відмов $\phi(t)$ та інші є випадковими величинами [11]. Вони можуть бути вираженими [12] через власні позациклові втрати $\sum t_c$, які складають частину загальних позациклових втрат $\sum t_{зар}$ технологічного процесу сільськогосподарської машини, а саме:

$$\sum t_{зар} = \sum t_c + \sum t_{ун}, \quad (1)$$

де $\sum t_{ун}$ - втрати часу з причини організаційних вад і на усунення несправностей.

На показники надійності сільськогосподарських машин, за дотримання умови, що процес експлуатації є стабільним, $\sum t_{ун}$ не впливає [13]. Безвідмовність системи визначається функцією показника надійності $P(t)$, тобто ймовірність безвідмовної роботи на протязі часу t . В системі, де елементи з'єднані послідовно і їх надійність взаємонезалежна, функція надійності системи визначається за відомою формулою [14]:

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \dots P_n(t), \quad (2)$$

де $P_1(t)$, $P_2(t)$, ..., $P_n(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи окремих елементів (деталей, складальних одиниць, вузлів, агрегатів) сільськогосподарських машин.

Для визначення виду функції (2) сільськогосподарських машин використовується наступний прийом. Кожний елемент сільськогосподарської машини розглядається як складова з двох умовних елементів, вважаючи при цьому, що випадкові відмови одного умовного елемента відбувається з причини технологічних несправностей в системі, а випадкові відмови другого умовного елемента пов'язані проявом технічних несправностей [15]. Обидва умовні елемента з'єднані, в розрізі системи надійності, послідовно [16] і тому відмова будь-якого з них призводить до відмови спочатку елемента і всієї сільськогосподарської машини [17].

Розподіл часу безвідмовної роботи умовних елементів при випадковому характері відмов в складних нерезервованих системах багаторазового застосування, якими і є сільськогосподарські машини, можуть бути прийнятим як експоненціальний закон з постійними параметрами ($w = const$) [18, 19].

Мета дослідження – аналітично сформулювати шляхи збільшення коефіцієнту готовності сільськогосподарських машин при застосуванні профілактичних регламентованих заходів їх технічного обслуговування.

Зроблене припущення про експоненціальний закон розподілу достатньо адекватне при забезпеченні виконання таких умов:

- процес експлуатації сільськогосподарської машини стабільний;
- робочі механізми, вузли і агрегати машини пройшли попереднє припрацювання і відрегульовані;
- профілактичне технічне обслуговування забезпечує заміну вузлів і механізмів машини не допускаючи їх до аварійного зносу і відмов;
- час експериментального дослідження надійності машини складає незначну частину від часу стабільної її експлуатації.

Тоді ймовірність безвідмовної роботи умовного елемента системи, випадкові відмови якого характеризують технічну надійність машини, визначаємо за таким виразом:

$$P_1(t) = e^{-w_1 \cdot t} \quad (3)$$

і, відповідно, функцією щільності ймовірності безвідмовної роботи:

$$\varphi_1(t) = w_1 \cdot e^{-w_1 \cdot t}. \quad (4)$$

Ймовірність безвідмовної роботи умовного елемента, випадкові відмови якого характеризують технологічну надійність, визначаються за наступним виразом:

$$P_2(t) = e^{-w_2 \cdot t} \quad (5)$$

і, відповідно, функцією щільності ймовірності безвідмовної роботи:

$$\varphi_2(t) = w_2 \cdot e^{-w_2 \cdot t}. \quad (6)$$

В складній системі завжди наявні групи елементів з однаковою функцією показника надійності. Тому, враховуючі вирази (2), (3) і (5), функція ймовірності безвідмовної роботи сільськогосподарської машини може бути представлена наступним виразом:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n \left\{ \left[e^{-w_1 \cdot t} \right]^{n_1} \cdot \left[e^{-w_2 \cdot t} \right]^{n_2} \right\} = \prod_{i=1}^n \left\{ e^{-(n_1 w_1 + n_2 w_2) \cdot t} \right\}, \quad (7)$$

де n_1 - число елементів, які мали випадкові відмови з технічних причин;

n_2 - число елементів, які мали випадкові відмови з технологічних причин;

n - загальне число елементів в машині.

Наробіток на відмову (математичне очікування часу безвідмовної роботи) можна визначити, якщо відома функція ймовірності безвідмовної роботи (7), а саме:

$$\bar{T}_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt = \prod_{i=1}^n \int_{i=1}^n e^{-(n_1 w_1 + n_2 w_2) t} dt = \prod_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{n_1 w_1 + n_2 w_2} \right\}. \quad (8)$$

За комплексний показник надійності мобільних машини, і сільськогосподарської машини зокрема, згідно діючого національного стандарту [20] нормовано коефіцієнт готовності K_g . Він чисельно визначає ймовірність того, що в проміжках між профілактичними регламентованими заходами технічного обслуговування сільськогосподарська машина буде роботоздатна в довільно обраний момент часу.

Коефіцієнт готовності при встановленому режимі експлуатації може бути вираженим через позациклові втрати технологічного процесу експлуатації [21] і набути наступного виду:

$$K_g = \frac{T_u}{T_u + T_v} = \frac{\bar{T}_{cp}}{\bar{T}_{cp} + \bar{t}_{np}}, \quad (9)$$

де T_u - цикловий час роботи;

T_v - час випадкових відмов;

$\bar{t}_{np}$ - середній час усунення відмови (відновлення роботоздатності).

Середній час усунення несправності можна визначити [10] за наступним виразом:

$$\bar{t}_{np} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N t_i, \quad (10)$$

де N - кількість відмов;

t_i - тривалість i -ї усунення відмови.

Звівши до виразу (9), значення показників надійності за виразами (8) і (10) та виконавши скорочення отримаємо, що коефіцієнт готовності набуває наступного виду:

$$K_g = \frac{N}{N + \sum_{i=1}^N t_i \cdot \prod_{i=1}^n \{n_1 w_1 + n_2 w_2\}}. \quad (11)$$

В часі стабільність процесу (надійності сільськогосподарської машини) зменшується. Це спричинено як порушення першопочаткових технологічних регулювань, так і зношенням елементів, що формують систему. Тому в визначений момент часу t' надійність машини характеризується середньою ймовірністю відмов $w'(t')$, тоді в момент часу t'' надійність машини характеризується середньою ймовірністю відмов $w''(t'')$ і для системи, що розглядається, буде справедлива нерівність $w''(t'') > w'(t')$. Отже, функція ймовірності безвідмовної роботи $P'(t)$ сільськогосподарської машини з врахуванням зміни параметра потоку відмов в часі набуває наступного виду:

$$P^a(t) = e^{-w' \cdot t'} \cdot e^{-w'' \cdot t''} = e^{-(w' \cdot t' + w'' \cdot t'')}. \quad (12)$$

Щільність ймовірності $\varphi^a(t)$ безвідмовної роботи сільськогосподарської машини з врахуванням частоти виникнення відмов визначається як композиція законів розподілу ймовірностей $\varphi'(t')$ і $\varphi''(t'')$. Визначення можна провести за формулою для звертання [22] функцій $\varphi'(t')$ і $\varphi''(t'')$, тобто отримаємо:

$$\varphi^a(t) = \varphi'(t') + \varphi''(t'') = \int_0^{\infty} \varphi'(t') \varphi''(t - t') dt'. \quad (13)$$

Закони розподілу щільності ймовірності для елементів системи, якою є сільськогосподарська машина, будуть мати обмеження:

$$\varphi'(t') = \begin{cases} w' \cdot e^{-w' \cdot t'} & \text{при } t' > 0 \\ 0 & \text{при } t' < 0 \end{cases}; \text{ і } \varphi''(t'') = \begin{cases} w'' \cdot e^{-w'' \cdot t''} & \text{при } t'' > 0 \\ 0 & \text{при } t'' < 0 \end{cases}. \quad (14)$$

Обидві функції (14) не набувають нульового значення тільки при додатних значеннях аргументу. Тобто, $\varphi'(t') = 0$ при $t' < 0$ і $\varphi''(t'') = 0$ при $t'' < 0$. За формулою (13) з врахуванням умов (14) отримаємо наступне:

$$\varphi^\alpha(t) = \int_0^t (w' \cdot e^{-w' \cdot t'}) \cdot (w'' \cdot e^{-w'' \cdot (t-t')}) dt' = \frac{w' \cdot w'' \cdot (e^{-w' \cdot t} - e^{-w'' \cdot t})}{w'' - w'}. \quad (15)$$

Наробіток сільськогосподарської машини на відмову визначиться з врахуванням зміни частоти відмов за наступним видом:

$$\bar{T}_{cp}^\alpha = \int_0^t t \cdot \frac{w' \cdot w'' \cdot (e^{-w' \cdot t} - e^{-w'' \cdot t})}{w'' - w'} dt = \frac{w' + w''}{w' \cdot w''}. \quad (16)$$

Коефіцієнт готовності сільськогосподарської машини в такому випадку набуває наступного виду:

$$K_r = \frac{w' + w''}{w' + w'' + w' \cdot w'' \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M t_{ij}}, \quad (17)$$

де t_{ij} - час на усунення i -ї відмови в j -ом інтервалі.

Таким чином, коефіцієнт готовності сільськогосподарських машин залежить: від кількості відмов; частоти відмов з технічних і технологічних причин; від часу усунення відмови (відновлення роботоздатності). Якщо при експлуатації сільськогосподарської машини надійність її елементів в довільні періоди роботи різна, то і коефіцієнт готовності машини необхідно визначати з врахуванням зміни середнього рівня частоти відмов і зміни часу на відновлення роботоздатності.

В перспективі подальших досліджень передбачається провести експериментальну перевірку отриманих аналітичних викладок.

Список літератури

1. Бойко А.І. Тенденції розвитку вітчизняного сільгоспмашинобудування і проблем забезпечення надійності машин // Науковий вісник Національного аграрного університету: 36. наук. пр. – К.: НАУ, 2004. – Випуск 73. Частина 2. – С. 181–183.
2. Молодик М.В., Молодик Л.П. Напрями і методичні принципи оцінки різних організаційних форм технічного сервісу сільськогосподарської техніки // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства: 36. наук. пр. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – Випуск 17. “Підвищення надійності відновлюємих деталей машин”. – С. 6–9.
3. Халфин М.А., Хисметов Н.З. О сроках службы машин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – № 12. – С. 5-8.
4. Сідашенко О.І. Стан та напрямки розвитку технічного сервісу регіону // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства: 36. наук. пр. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – Випуск 14. “Підвищення надійності відновлюємих деталей машин”. – С. 6–10.
5. Сидорчук О. Розвиток теорії функціональних структур матеріального виробництва // 36. наук. пр. Львівського державного аграрного університету: Серія Агроінженерні дослідження. – Львів: ЛДАУ, 2003. – Випуск 7. – С. 3-8.
6. Сماشнюк О.В. Оцінка показників безвідмовності зернозбиральних комбайнів, що відпрацювали нормативний термін експлуатації // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства: 36. наук. пр. – Харків: ХДТУСГ, 2004. – Випуск 24. “Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні”. – С. 150-154.
7. Войтюк В., Демко А., Демко С. Вплив строків експлуатації на модель зміни працездатності зернозбиральних комбайнів // Техніка АПК. – 2005. – № 8. – С. 14-18.
8. Арсеньев Г.М. Каледин Г.В. Модель построения системы поддержания технического ресурса сельскохозяйственных машин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2000. – № 6. – С. 21-23.

9. Савченко В.Б. Забезпечення надійності сільськогосподарських машин і технологічних комплексів: Дис. ... канд. техн. наук –Харків, 2001. – 156 с.
10. Анилович В.Я., Гринченко А.С., Литвиненко В.Л. Надёжность машин в задачах и примерах. – Харків: ОКО, 2001. – 319 с.
11. Бойко А.І. Сучасні проблеми забезпечення надійності сільськогосподарської техніки // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства: Зб. наук. пр. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – Випуск 15 “Підвищення надійності відновлюємих деталей машин”. – С. 10-13.
12. Войтюк В., Демко А., Демко С. Технічний сервіс – як засіб розв’язання проблем надійності сільськогосподарської техніки // Техніка АПК. - 2004. - № 6-7. – С.37, 38.
13. Добролюбов И.П. Оперативный контроль и управление показателями машинно-тракторных агрегатов, определяющими их эффективное использование: Дис. ... д-ра техн. наук. - Новосибирск, 1992. – 312 с.
14. Гринченко О. Методичні особливості аналізу результатів випробувань на надійність дослідних зразків техніки // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Зб. наук. пр. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого, 2004. – Випуск 7. – С. 396-401.
15. Елизветин М.А. Повышение надёжности машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 185 с.
16. Брауде Л.К. Вероятностные методы расчета грузоподъёмных машин. – Л.: Машиностроение, 1978. – 236 с.
17. Смашнюк О.В., Роговський І.Л. Відмови зернозбиральних комбайнів ”Дон-1500” в умовах рядової експлуатації та їх класифікація // Науковий вісник Національного аграрного університету: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2005. – Випуск 80. – С. 200-205.
18. Рибак Т. Прогнозування ресурсу роботи мобільних сільськогосподарських машин // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Зб. наук. пр. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого, 2004. – Випуск 7. – С. 149-161.
19. Роговський І.Л. Оцінка безвідмовності сільськогосподарських машин через характеристику потоку відмов // Вісник Степу: Науковий збірник. – Кіровоград: КДСГС УААН, 2005. – С. 108-110.
20. ДСТУ 2862-94 Надійність техніки. Терміни та визначення.
21. Смашнюк О.В. Оцінка коефіцієнта готовності зернозбиральних комбайнів, що відпрацювали амортизаційний термін // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Зб. наук. пр. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ, 2003. – Випуск 6. Книга 1. – С. 158-163.
22. Лейфер Л.А. Методы объединения неоднородной информации и их применение в задачах оценивания показателей надежности машин по результатам их испытания. – М.: Знание, 1982. – 112 с.

В статье изложены аналитические выкладки влияния показателей эксплуатационной надёжности на коэффициент готовности сельскохозяйственных машин в разрезе профилактических регламентированных действий их технического обслуживания.

In paper the analytical statements of influence of the parameters of operational reliability on factor of readiness of the agricultural machines in section of preventive regulated actions of their maintenance service are stated.

Одержано 10.09.05