

УДК 62-192:681.587.72:631.3

ОДИНИЧНІ ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ВУЗЛІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Лисогор Василь Микитович д.т.н., професор

Єленіч Микола Павлович ст. викладач

Шулле Юлія Андріївна к.т.н., ст. викладач

Мельник Віталій Володимирович магістр

Вінницький національний аграрний університет

Lisogor V.

Elenych N.

Shulle Y.

Melnik V.

Vinnitsia National Agrarian University

Анотація: в даній статті запропонували та розробили одиничні показники ефективного і надійного технічного обслуговування сільськогосподарської техніки, розглянуті основні властивості, що визначають показники якісного надійного обслуговування електромеханічних вузлів і пристроїв сільськогосподарської техніки, а також основні характеристики довговічності: середній строк служби і середній ресурс. Були досліджені властивості довговічності, властивості ремонтно-придатності вузлів техніки, де виділенні два принципово різних типи ремонтів: профілактичний (плановий) і аварійно відновлювальний (неплановий).

Ключові слова: електромеханічні вузли, сільськогосподарська техніка, надійність.

Вступ

Послідовно розглянемо основні властивості, що визначають показники якісного надійного обслуговування електромеханічних вузлів і пристроїв сільськогосподарської техніки. Оскільки дослідження таких показників не знайшли відображення на сторінках періодичних видань, ми частково компенсуємо нехватку цієї інформації, бо показники живучості, стійкості і безпечності мають принципове значення у роботі машин сільськогосподарського призначення. Вказані одиничні показники надійності обслуговування електромеханічних вузлів мають достатню актуальність, що запропоновані авторами у своїй публікації.

Огляд існуючих літературних джерел

Відома книга [1], де з використанням теорії ймовірності і методів математичної статистики описана фізика відмов сільськогосподарських машин у процесі їх експлуатації. Тут висвітленні основи теорії тертя і зношування деталей, рекомендовані прогресивні способи відновлення роботи деталей для підвищення їх надійності. У ГОСТ [2] розглянуті терміни і визначення напрямків функціонування техніки і властивості виробів виконувати задані функції при збереженні своїх експлуатаційних показників.

У заданих межах протягом необхідного наробітку у навчальному посібнику [3] викладенні основні вимоги, принципи, особливості і види технічного обслуговування і

ремонт машин сільськогосподарського призначення та виробничого процесу на підприємствах технічного сервісу. У методичних матеріалах для самостійної роботи [4] розглянуті: теоретичні основи технічного обслуговування машин, системи і види технічного обслуговування тракторів, сільськогосподарських машин, автомобілів, технічне обслуговування машин у початковий період використання, технологія технічного обслуговування машин, матеріально-технічна база технічного обслуговування машин, забезпечення машин нафтопродуктами, організація і технологія зберігання машин.

Мета публікації

Запропонувати і розробити одиничні показники ефективного і надійного обслуговування сільськогосподарської техніки по виконанню умов ймовірності, безвідмовної роботи, оцінки інтенсивності відмов, оцінки показників параметрів функціонування об'єкта.

Матеріали основного результату

Властивість безвідмовності характерна як для відновлювальних, так і не відновлювальних об'єктів. Хоча об'єкт сільськогосподарських систем і машин переважно відновлювальні, тим не менш методично доцільно спочатку розглянути показники не відновлювального об'єкта, як більш простого, і показники обновлювального об'єкта у значній степені формується з аналогічних показників не відновлювальних. Крім того, окремі елементи сільськогосподарських систем на визначених інтервалах часу можуть розглядатись як не відновлювані.

Найбільш повна характеристика не відновлювального об'єкту – ймовірність того, що на час роботи до відмови t_0 буде менше задана часу t , або ймовірності безвідмовної роботи за час t дорівнює

$$P_0(t) = P(t_0 \geq t). \quad (1)$$

Статистично цей параметр оцінимо слідуочим способом. Хай під спостереженням знаходиться N_0 однакових працюючих об'єктів. На деякий момент часу t по причині відмови частини в роботі залишається $N(t) \leq N_0$. Тоді статистична оцінка ймовірності $P_0(t)$ визначимо так :

$$P_0(t) = N(t)/N_0 \quad (2)$$

Величину $Q(t)$, що доповнює $P_0(t)$ до одиниці представимо як ймовірність того, що за час t об'єкт відмови:

$$Q(t) = 1 - P_0(t) \quad (3)$$

У практичних наших розрахунках використаємо ще один показник властивості безвідмовності який по своїй інформативності еквівалентний $P_0(t)$ вказаний показник це – інтенсивність відмов $\lambda(t)$, що представляє собою, умовну щільність ймовірності виникнення відмови, що визначимо для розглянутого моменту часу при умові, що до цього моменту відмова не виникла, таким чином:

$$\lambda(t) = \frac{1}{P_0(t)} \cdot \frac{dQ(t)}{dt} \quad (4)$$

статистичну оцінку знайдемо з виразу:

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t)\Delta t}, \quad (5)$$

де - $N(t), N(t + \Delta t)$ – кількість об'єктів, що остались в роботі у відповідні моменти часу;
 Δt - малий проміжок часу.

Залежність інтенсивності відмов від часу покажемо на рис.1, де функція $\lambda(t)$ має три характерних проміжки.

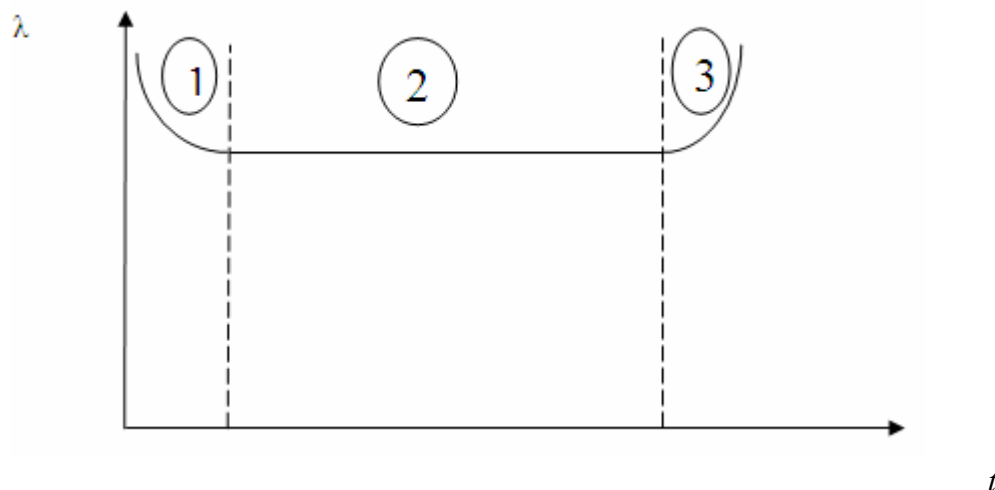


Рис. 1. Типова залежність інтенсивності λ від часу t

Проміжок приробки (1) обумовлений великою кількістю відмов на початку експлуатації системи з причини грубих дефектів елементів, помилок обслуговуючого персоналу та ін. Проміжок приробки різний для різних систем. Його можливо скоротити і навіть усунути зовсім, використовуючи методи тренувань і продовжних заводських випробувань.

Проміжок випадкових відмов (2) характеризує нормальну роботу системи. Відмови в цей період мають в основному несподіваний характер, середня чистота їх остається постійною або не має тенденцію до зниження.

Проміжок (3) визивається зносом системи, коли в наслідок старіння елементів і вузлів поступово зростає частота відмов.

Між показниками $P_0(t)$ і $\lambda(t)$, як слідує з (4) є однозначним зв'язок. Рішаючи рівняння (4) відносно $P_0(t)$ отримаємо:

$$P_0(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right) \quad (6)$$

Функція $P_0(t)$ визначає ймовірність безвідмовної роботи в інтервалі $[0, t]$. Проте якщо відомо, що об'єкт уже пробив справно до t_1 , то можемо обчислити ймовірність його безвідмовної роботи на послідуячому проміжку часу $[t_1, t_2]$. Дійсно, об'єкт не відмовить у проміжку $[0, t_2]$ тільки у тому випадку, якщо він не відмовить на проміжку $[0, t_1]$, а потім перша подія є добуток двох інших. Тоді на основі теореми множення ймовірностей маєм:

$$P_0(t_2) = P_0(t_1) P_0\left(\frac{t_2}{t_1}\right),$$

де - $P_0\left(\frac{t_2}{t_1}\right)$ - умовна ймовірність безвідмовної роботи об'єкта на проміжку час $[t_1, t_2]$, обчислена при умові, що даний об'єкт робив безвідмовно проміжку $[0, t_1]$, звідкіля :

$$P_0\left(\frac{t_2}{t_1}\right) = P_0(t_2)/P_0(t_1) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right) \quad (7)$$

Часто для освоєного і відрегульованого обладнання технічного сервісу інтенсивність відмов у межах проміжку (1) його роботи (див.рис1) можна приймати постійною. Якщо ж обмежитись розглядом роботи об'єкта до припустимого стану, то зможемо прийняти λ взагалі постійною величиною. У цьому випадку усі показники суттєво спростимо, які приймуть вид:

$$P_0(t) = \exp(-\lambda t); Q(t) = 1 - \exp(-\lambda t). \quad (8)$$

Таким чином, ми добились, що для технічного сервісу функція розподілення часу безвідмовної роботи стає експоненціальною функцією, подібною до класичного результату. Відповідно диференціальна характеристика, тобто, щільність розподілення функції матиме вид :

$$dQ(t)/dt = \lambda = \exp(-\lambda t). \quad (9)$$

Суттєвою особливістю експоненціального закону є наступні: ймовірність безвідмовної роботи на даному проміжку $[t_1, t_2]$ не залежить від часу попередньої роботи, а залежить тільки від довжини інтервалу $\Delta t = t_2 - t_1$.

Іншими словами, якщо відомо, що в даний момент об'єкт справний, то майбутня його поведінка не залежить минулого. Дійсно, з (7) слідує, що

$$P_0\left(\frac{t_2}{t_1}\right) = \exp\left(-\int_{t_1}^{t_2} \lambda dt\right) = \exp(-\lambda(t_2 - t_1)) = \exp(-\lambda \Delta t) = P_0(\Delta t). \quad (7a)$$

Як відзначалось, показник P_0 (або λ) несе найбільш повну інформацію про таку властивість, як безвідмовність. Однак не завжди в практичних умовах така існує. Іншою, менш інформативною, але простішою і найбільш доступною для отримання характеристикою є середній наробіток до відмови, що представляє собою математичне сподівання наробітку об'єкта до відмови:

$$\bar{t}_{o.n.} = \int_0^{\infty} t \frac{dQ(t)}{dt} dt = \int_0^{\infty} t dQ(t) \quad (10)$$

За рахунок невеликих перетворень (інтегрування по частинам) вираз (10) переходить в

$$\bar{t}_{o.n.} = \int_0^{\infty} P_0(t) dt \quad (10a)$$

Таким чином, середній наробіток на відмову графічно представляє собою площу, що лежить під графіком функції $P_0(t)$. Статистична оцінка середнього наробітку на відмову при $N(t) \neq 0$ представимо так:

$$\hat{t}_{o.n.} = \frac{\sum_{i=1}^N t_{oi} + t[N_0 - N(t)]}{N(t)} \quad (11)$$

де t_{oi} – час до відмови i -го об'єкта;

t – час спостереження за N_0 об'єктами.

Об'єкти, що працювали справно термін t_1 , характеризуються не тільки середнім наробітком до першої відмови $\bar{t}_{o.n.}$, але і середньою довжиною передбачуваної безвідмовної роботи:

$$\bar{t}_o(t_1) = M[t_0 - t_1] = \int_{t_1}^{\infty} (t - t_1) \frac{dQ\left(\frac{t}{t_1}\right)}{dt} dt,$$

де з урахуванням (7) і (4)

$$\frac{dQ\left(\frac{t}{t_1}\right)}{dt} = \frac{d}{dt} [1 - P_0\left(\frac{t}{t_1}\right)] = \lambda(t) \frac{P_0(t)}{P_0(t_1)} \quad (12)$$

Після підстановки і невеликих перетворень отримаємо:

$$\bar{t}_o(t_1) = \int_{t_1}^{\infty} P_0(t) dt / P_0(t_1) \quad (13)$$

Для експоненціального розподілення часу безвідмовної роботи, коли $\lambda = \text{const}$:

$$\bar{t}_o = \bar{t}_o(t_1) = 1/\lambda. \quad (13a)$$

Час між профілактичними ремонтами охарактеризує як віднолюваний об'єкт, який розіб'ємо на окремі цикли (періоди): робота і відновлення (ремонт). Кожний цикл складається із двох проміжків: t_o -час до відмови і t_v -час відновлення. Кількісним показником властивості безвідмовності на кожному k -му циклі від початку роботи до відмови буде служити показник $P_{ok}(t_k)$ -ймовірність безвідмовної роботи за час t_k від початку циклу. Цей показник аналогічний відповідному показнику не віднолювального об'єкта. У загальному випадку після кожного ремонту об'єкт має різні залежності $P_o(t)$. Практично, після деякого початкового проміжку приробки, прийемо, що вид залежності $P_{ok}(t_k)$ від k не залежить і постійний для кожного циклу. Кожному циклу відповідатиме інтенсивність відмов $\lambda_k(t_k)$.

Якщо виключимо з розгляду час відновлення об'єкта на кожному циклі, тобто припустимо, що він $= 0$, то момент відмов зформірують потік, який назовемо потоком відмов.

Кількість відмов $V(t)$, яке може відбуватись за час t - величина випадкова. Для характеристики її введемо показник $Q_k(t)$ - ймовірність того, що за час t відбудеться відмов $V(t)$ більше або рівне заданому циклу:

$$Q_k(t) = P\{V(t) \geq k\}. \quad (14)$$

При відомій і однаковій функції ймовірності відмови на кожному циклі $Q(t_k)$ показник $Q_k(t)$ буде визначати як k -кратну згортку функції $Q(t_k)$:

$$Q_k(t) = \int_0^t Q_k - 1(t - t_k) dQ(t_k) \text{ при } Q_1(t) = Q(t_1).$$

Ймовірність того, що за час t відбудеться рівно k відмов визначимо так:

$$P_k(t) = Q_k(t) - Q_{k+1}(t) \quad (15)$$

В якості характеристики потоку відмов використаємо ведучу функцію $\Omega(t)$ потоку, яка інколи називається функцією відмов-математичне сподівання числа відмов за час t :

$$\Omega(t) = MV(t) = \sum_{k=1}^{\infty} k P_k(t). \quad (16)$$

З урахуванням (15) останній вираз представимо у вигляді:

$$\Omega(t) = \sum_{k=1}^{\infty} Q_k(t) \quad (16a)$$

Похідна ведучої функції в часі є одною з характеристик потоку відмов, який носить назву інтенсивності потоку відмов в момент t

$$\Lambda(t) = \frac{d\Omega}{dt} = \sum_{k=1}^{\infty} k \frac{dP_k(t)}{dt}. \quad (17)$$

Іншою важливою характеристикою є параметр потоку відмов, що представляє собою щільність ймовірності відмови віднолювального об'єкта, що визначає для розглянутого моменту часу:

$$\tilde{\omega}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1 - P_o(t_1; t + \Delta t)}{\Delta t}, \quad (18)$$

де - $P_o(t_1; t + \Delta t)$ -ймовірність безвідмовної роботи на проміжку часу Δt після моменту t .

Практично для характеристики потоку відмов як правило використовують середній параметр потоку відмов, або частоту відмов, яку визначають як відношення математичного сподівання кількості відмов за визначений інтервал часу до довжини цього інтервалу:

$$\Omega(t_1, t_2) = [\Omega(t_2) - \Omega(t_1)] / (t_2 - t_1), \quad (19)$$

де - $\Omega(t)$ -середня кількість відмов за час t (ведуча функція).

Статистично останній показник визначимо так:

$$\hat{\omega}(t_1, t_2) = \frac{\sum_{i=1}^N Mi(t_2) - \sum_{i=1}^N Mi(t_1)}{N(t_2 - t_1)}, \quad (20)$$

де - $Mi(t_1)$ і $Mi(t_2)$ -число відмов i -го об'єкта до часу t_1 і t_2 ; N - число випробуваних об'єктів.

Потік відмов одного відновлюваного об'єкта, яким є технічне обслуговування, завжди є ординарним, відновленням. Крім того, як відмічали раніше, для об'єктів технічного обслуговування характерна стаціонарність потоку і відсутність наслідків. Для таких простих потоків вирази, що визначають усі показники, суттєво спрощуються і приймають вид:

$$\begin{aligned} \lambda_k(t_k) &= \lambda = \text{const}; & P_{ок}(t_k) &= P_o(t) = \exp(-\lambda t); \\ Q_k(t_k) &= Q(t) = 1 - \exp(-\lambda t); & P_k(t) &= \frac{(\lambda t)^k}{k!} \exp(-\lambda t); \end{aligned} \quad (21)$$

$$\Omega(t) = \lambda t; \quad \omega(t_1, t_2) = \omega(t) = \omega(t) = \lambda; \quad \bar{t}_{о.н} = \bar{t}_{о.}$$

Властивість довговічності. Основними характеристиками довговічності є середній строк служби і середній ресурс. Використовують також показник гама-процентний ресурс, що представляє собою наробіток, у продовж якої об'єкт не досягає припустимого стану з заданою ймовірністю.

Для відновлюваного нашого об'єкту технічного обслуговування середній строк служби представляє собою середню календарну продовжність експлуатації від її початку чи оновлення після профілактичного ремонту до наступу критичного стану.

Властивість ремонту придатності. При кількісному опису цієї властивості, яке характерне тільки для оновлюваного об'єкту, суттєво виділити два принципово різних видів ремонтів: аварійно-відновлюваних (непланових) і профілактичних (планових). У зв'язку з цим введемо два показники: - ймовірність відновлення $G(t)$ за даний час t , що представляє собою ймовірність того, що час аварійного відновлення працездатності об'єкта на k -му циклі не перевищить заданого:

$$G_{=ak}(t_k) = P(t_{BK} \leq t_k). \quad (22)$$

- Інтенсивність відновлення $\mu(t)$, представляючи собою відношення умовної ймовірності. Відновлення працездатності об'єкта на малому проміжку після даного моменту t при умові, щодо цього моменту відновлення не завершено, до продовжності цього проміжку

$$M_k(t_k) = \frac{1}{1 - G_{ak}(t_k)} \frac{dG_{ak}(t_k)}{dt_k} \quad (23)$$

Зворотній зв'язок $G_{\alpha}(t)$ від μ визначимо з виразу (23) слідуючи чином:

$$G_{\alpha k}(t_k) = 1 - \exp\left(-\int_0^{t_k} m k(t_k) dt_k\right) \quad (22a)$$

Статистична оцінка цих показників дорівнюватиме:

$$G_{\alpha k}(t_k) = M_k(t_k) / M_{ok} \quad (24)$$
$$\bar{M}k(t_k) = \frac{M_k(t_k + \Delta t) - M_k(t_k)}{M_k(t_k) \Delta t},$$

де – M_{ok} - кількість однакових об'єктів, що знаходяться у відновлюваному ремонті;
 $M_k(t_k), M_k(t_k + \Delta t)$ - кількість об'єктів із загальної кількості M_{ok} - ремонт яких закінчується через t_k і $t_k + \Delta t$ відповідно, Δt - деякий достатньо малий проміжок часу.

Похідним показником від розглянутих, що має велике самостійне значення, є середній час відновлення, тобто середня продовжність інтервалу від початку до кінця відновлення працездатності об'єкта:

$$\bar{t}_B = \int_0^{\infty} t \frac{dG_{\alpha}(t)}{dt} dt = \int_0^{\infty} t dG_{\alpha}(t) \quad (25)$$

У частковому випадку, коли інтенсивність відновлення постійна, тобто $M(t) = M = \text{const}$, закон $G_{\alpha}(t)$ експоненціальний:

$$G_{\alpha}(t) = 1 - \exp(-\mu t), \quad (26)$$

Середній час відновлення дорівнюватиме

$$\bar{t}_B = 1/\mu \quad (27)$$

Цей частковий випадок має найбільше практичне значення, оскільки реальний закон часу відновлення багатьох об'єктів технічного обслуговування близький до експоненціального, а у тих випадках, коли він не експоненціальний, заміна його експоненціальним з таким же середнім часом відновлення мало створює кінцеві результати. Таким чином, ми справились з загальною задачею розробки одиничних показників надійності технічного обслуговування електромеханічних вузлів сільськогосподарської техніки.

Висновки

Запропоновані і розроблені одиничні показники ефективного і надійного технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. Були досліджені властивості довговічності, властивості ремонту-пригодності вузлів техніки, де виділені два принципово різних видів ремонтів: аварійно-відновлюваних (непланових) і профілактичних (планових). Розробка підтверджена необхідними обчислювальними підходами.

Література

1. Ермолов Л.С. Повышение надежности сельскохозяйственной техники (Основы теории и практики) / Л.С. Ермолов. - М.: Колос, 1979. - 255 с.
2. ГОСТ 13377-75. Надежность в технике. Термины и определения. - М.: Издательство стандартов, 1975.
3. Музичук В.І. Організація робіт підприємств технічного обслуговування: Навчальний посібник / В.І. Музичук, В.Ф. Анісімов. - Вінниця: ФОП Рогальська І.О., 2012. - 240 с.
4. Романов О.М. Технологія технічного обслуговування машин: методичні матеріали для самостійної роботи. / О.М. Романов, О.В. Гуцаленко, М.П. Єленіч, А.П. Єленіч. - Вінниця: Редакційно-видавничий відділ ВНАУ, 2012. - 116 с.

References

1. Êrmolov L.S. *Povysheniye nadezhnosti sel'skokhozyaystvennoy tekhniki (Osnovy teorii i praktiki)* / L.S.Yermolov. -M: . Kolos , 1979. - 255s .
2. GOST 13377-75 . *Nadezhnost' v tekhnike . Terminy i opredeleniya*. -M: . Izdatel'stvo standartov , 1975
3. Muzichuk V.I *Orhanizatsiya robot predpriyatyy tekhnichnoho obsluhovuvannya : Navchalnyy posibnyk* / V.I.Muzichuk , V.F.Anisimov. - Vinnytsya : FOP Rohalsky I.O. , 2012. - 240s .
4. Romanov O.M. *Tekhnolohiya tekhnichnoho obsluhovuvannya mashyn: metodychni materialy dlya Samostiynoï roboty*. / O.M.Romanov , O.V.Hutsalenko , M.P.Yelenich , A.P.Yelenich. - Vinnytsya : Redaktsiy novydvnychyu viddil VNAU , 2012. - 116s .

ЕДИНИЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УЗЛОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация: в данной статье предложили и разработали единичные показатели эффективного и надежного технического обслуживания сельскохозяйственной техники, рассмотрены основные свойства, определяющие показатели качественного надежного обслуживания электромеханических узлов и устройств сельскохозяйственной техники, а также основные характеристики долговечности: средний срок службы и средний ресурс. Были исследованы свойства долговечности, свойства ремонтно-пригодности узлов техники, где выделены два принципиально разных типа ремонтов: профилактический (плановый) и аварийно-восстановительный (неплановый).

Ключевые слова: электромеханические узлы, сельскохозяйственная техника, надежность.

SINGLE INDICATORS OF RELIABILITY, MAINTENANCE OF ELECTROMECHANICAL NODES AGRICULTURAL MACHINERY

Summari: in this article have proposed and developed a single indicators of effective and reliable maintenance of agricultural machinery, the basic properties that determine the performance of reliable service quality electromechanical components and devices agricultural machinery , and also the basic characteristics of durability: the average term of service and average life. Have been investigated the properties of durability properties repair-fitness nodes technology, where the allocation of two fundamentally different types of maintenance: preventive (planned and emergency recovery (not planned).

Keywords: electromechanical components, agricultural machinery, nadiynst.