

УДК 631.2.15

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАХОДІВ ПІДТРИМАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МАШИН ДЛЯ ЛІСОТЕХНІЧНИХ РОБІТ

Тітова Л.Л., Роговський І.Л., к.т.н.

(Національний університет біоресурсів і природокористування України)

В статті запропоновано методичні положення обґрунтування технічних заходів для підтримання працездатності машин для лісотехнічних робіт.

Постановка проблеми. Результати досліджень машин для лісотехнічних робіт (далі – МЛТР) в умовах реальної експлуатації показують, що витрати часу на усунення наслідків відмов і проведення технічного обслуговування займають близько 60% робочого часу механізатора [1], причому майже половину цих витрат складають простой МЛТР в очікуванні доставки запасних частин і ремонтних засобів або витрати на транспортування МЛТР до стаціонарного пункту. З метою скорочення непродуктивних витрат часу необхідно обґрунтувати потребу запасних частин на сезон виконання лісотехнічних робіт і раціонально розподілити їх за рівнями обслуговування. Але спочатку обґрунтуємо доцільність проведення профілактичних заміन деталей і складальних одиниць МЛТР.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Попереджувальні заміни полягають в заміні спрацьованого конструктивного елемента новим при умові, що спрацьований елемент або мав відмову, або вже має деякий наробіток T . Розглянемо умову доцільності проведення попереджувальних замін в порівнянні з експлуатацією без них, використавши показники, які початково введені в [2].

Згідно теорії відновлення [3] математичне очікування числа відмов, утворених потоками N_o деяких конструктивних елементів, дорівнює сумі математичних очікувань відмов кожного елемента [4], тобто:

$$m_{cp}(N_o) = \sum_i^{N_o} m_{cp_i} = N_o m_{cp}. \quad (1)$$

Тому, в подальшому міркування можна проводити для одного елемента, а результати використовувати для випадку, коли в лісгоспі експлуатується N_o елементів даного типу [5]. Спочатку визначимо затрати при експлуатації, коли заміни здійснюються лише після виникнення відмови [6].

Сумарна величина затрат на одиницю часу через відмови Y_o при експлуатації без профілактичних замін визначиться добутком середньої кількості відмов в одиницю часу ω_o на повну вартість усунення відмови C_o (враховуючи заміну) [7]:

$$Y_o = \omega_o C_o \quad (2)$$

При експлуатації з проведенням профілактичних заміन елементів через проміжок часу t_3 не виключається можливість появи за цей же період відмов в одиницю часу роботи:

$$\omega_{np} = m_{cp}(t_3)/t_3,$$

де: $m_{cp}(t_3)$ – математичне очікування кількості відмов за період між профілактичними замінами.

Мета досліджень – на основі аналізу існуючих методичних підходів обґрунтувати раціональні технічні заходи підтримання працездатності машин для лісотехнічних робіт.

Результати досліджень. При профілактичних замінах, вартість яких C_{np} , через проміжок часу t_3 примусово замінюється один елемент. Сумарна вартість обслуговування при експлуатації з профілактичною заміною елементів визначається з виразу:

$$Y_{np} = \frac{m_{cp}(t_3)}{t_3} C_o + \frac{C_{np}}{t_3}. \quad (3)$$

Відношення вартості обслуговування при експлуатації з профілактичною заміною елементів до вартості обслуговування при експлуатації без неї назвемо коефіцієнтом відносної вартості обслуговування, або коефіцієнтом сумарних затрат:

$$K_{c.з} = \frac{Y_{np}}{Y_o} = \frac{\omega_{np}}{\omega_o} + \frac{n_{np}}{\omega_o} \cdot \frac{C_{np}}{C_o}. \quad (4)$$

де $n_{np}=1/t_3$ – кількість профілактичних замін за одиницю часу.

Вид рівняння (4) для N_o елементів залишиться попереднім, але під ω_{np} і ω_o слід розуміти кількість відмов за одиницю часу при експлуатації N_o елементів, а $n_{np}=N_o/t_3$. Ввівши позначення $\omega_{np}/\omega_o=K_{з.в}$ – коефіцієнт зменшення відмов, $n_{np}/\omega_o=K_{н.з}$ – коефіцієнт профілактичних замін, $C_{np}/C_o=K_в$ – коефіцієнт вартості, вираз (4) прийме вигляд:

$$K_{c.з}=K_{з.в}+K_{н.з}K_в \quad (5)$$

Профілактичні заміни елементів машини доцільні лише при умові виконання нерівності $Y_{np}/Y_o < 1$. Звідси випливає, що при раптових відмовах (при яких $K_{з.в}=1$) або при $K_в=1$ профілактика не може забезпечити економічного ефекту. Для забезпечення працездатного стану парку МЛТР необхідно розрахувати потребу в запасних елементах, яка виникає як під час проведення технічного обслуговування, якщо даний елемент відмовив, так і при виникненні раптових відмов. Кількість запасних елементів i -го типу при раптових відмовах, які відбуваються з інтенсивністю ω можна визначити, якщо знайти ймовірність того, що запас резервних елементів вичерпається не раніше часу t . Якщо позначити тривалість безвідмовної роботи основного і запасного елементів через $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{x+1}$, то до моменту виходу з ладу запасного елемента пройде час $\tau_\Sigma = \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_{x+1}$. При цьому можна вважати $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{x+1}$ безперервними випадковими величинами, що мають щільність ймовірності $f(t) = \omega_i^{-\omega t}$, як частковий випадок гама-розподілу часу τ_i :

$$f(\tau_i) = \frac{\tau_i \exp(-\tau_i/\beta)}{\Gamma(\alpha+1)\beta^{\alpha+1}} \quad \text{при } \alpha=0, \beta=1/\omega. \quad (5)$$

Для вирішення даної задачі необхідно визначити функцію розподілу $F(t)$ сумарного часу τ_Σ . Для цього, підставивши в (5) $\alpha=x$ і визначивши щільність розподілу часу τ_Σ з урахуванням $F(t) = \int_0^t f(\tau_\Sigma) d\tau_\Sigma$ отримаємо:

$$P(\tau_\Sigma \geq t) = 1 - F(t) = \exp(-\omega t) \left[1 + \frac{\omega t}{1!} + \dots + \frac{(\omega t)^x}{x!} \right]. \quad (6)$$

Для того, щоб запас не вичерпався раніше часу t , тобто для справедливості нерівності $\tau_\Sigma \geq t$, необхідно, щоб за час t відмовило не більше $m=x$ елементів. Тоді:

$$P(\tau_\Sigma \geq t) = P(m=0) + P(m=1) + \dots + P(m=x), \quad P(m=x) = \frac{(\omega t)^x}{x!} \exp(-\omega t) \quad (7)$$

Отже, кожний член ряду (6) і вираз (7) виражають собою закон Пуассона.

Розглянемо період експлуатації t (сезон) парку МЛТР кількістю n , в яких встановлено r однотипних елементів. Тоді кількість незалежних подій $n_r = nr$. Нехай потягом даного періоду t появляється одна із подій: A_0 – елементи не відмовляють; $A_1, A_2, A_3, \dots, A_k$ – наступають разові, двох-, трьох-, k -кратні відмови елементів, які складають скінчену кількість подій. Ймовірність появи події A_j рівна $P(A_j) = P_j$, а кількість m_0, m_1, \dots, m_k появи подій A_0, A_1, \dots, A_k підпорядкована поліноміальному закону розподілу. Тоді, так як кількість подій скінчена і кожен раз виникає одна з подій A_0, A_1, \dots, A_k , маємо

$$\sum_{j=1}^k P_j = 1, \quad \sum_{j=1}^k m_j = n_r.$$

Ймовірність того, що за проміжок часу t подія A_0 виникне рівно m_0 разів, ..., подія A_k виникне рівно m_k разів дорівнює

$$P_m(t) = C_{n_r}^{m_0, m_1, \dots, m_k} P_0^{m_0} P_1^{m_1} \dots P_k^{m_k}. \quad (8)$$

Визначимо ймовірність події того, що за даний проміжок часу виникне рівно m відмов, тобто $P_m(t) = P\{f(t) = m\}$ при умові, що можна знехтувати ймовірністю виникнення двохкратних і більше відмов, тобто при $j=0, 1$. При таких умовах вираз (8) переходить в біноміальний розподіл, тобто

$$P_m(t) = C_{n_r}^{m_1} P_0^{m_0} P_1^{m_1} = C_{n_r}^{m_1} P_1^{m_1} (1 - P_1)^{n_r - m_1}. \quad (9)$$

Ймовірність виявити рівно m_i відмов елементів i -го типу визначиться згідно (9), а кількість заміन даних елементів можна оцінити коефіцієнтом змінності $K_{zm\ i}$:

$$K_{zm\ i} = \frac{m_i}{n_r} = \frac{m_i}{nr_i}. \quad (10)$$

Тоді, так як величина фактичної витрати запасних частин m_i є величиною випадковою, то випадки нестачі запасних частин будуть виключені при умові:

$$F_m(t) = \text{Вер}\{m_i \leq M_\alpha\} = \sum_{m_i}^{M_\alpha} C_{nr_i}^{m_i} K_{3M_i}^{m_i} (1 - K_{3M_i})^{nr_i - m_i}, \quad (11)$$

де $F_m(t)$ – ймовірність достатності елементів i -го типу; M_α – гарантований запас елементів i -го типу.

Парк МЛТР складається з N різнотипних елементів, то ймовірність того, що простоїв машин через відсутність необхідних запасних частин не буде (умова достатності запасних частин) прийме вигляд:

$$\text{Вер}\left[\prod_{i=1}^N (m_i \leq M_\alpha)\right] = \prod_{i=1}^N \sum_{m_i=0}^{M_\alpha} C_{nr_i}^{m_i} K_{3M_i}^{m_i} (1 - K_{3M_i})^{nr_i - m_i} \geq R_\alpha, \quad (12)$$

де R_α – деякий рівень ймовірності, який гарантує надійність забезпечення парку МЛТР запасними елементами.

Рівень забезпечення ремонтно-профілактичних робіт запасними частинами можна оцінити коефіцієнтом K :

$$K = \frac{T_O}{T_O + T_D}, \quad (13)$$

де T_O – середній основний час роботи машини при виконанні робочих функцій; T_D – час пошуку і доставки необхідних запасних елементів, який представимо у вигляді: $T_D = T_{D_1} + T_{D_2} [1 - F_m(t)]$, тут T_{D_1} – середній час доставки запасного елемента із комплекту пункту технічного обслуговування до машини; T_{D_2} – середній час пошуку і доставки запасних частин при їх відсутності в комплекті пункту технічного обслуговування.

Тоді задачу визначення оптимальної кількості запасних частин запишемо:

$$Q(M_\alpha) = 1/K \rightarrow \min. \quad (14)$$

Підставимо (10), (11) в вираз (14), отримаємо:

$$Q(M_\alpha) = 1 + \frac{T_{D_1}}{T_O} + \frac{T_{D_2}}{T_O} \left[1 - \sum_{j=0}^{M_\alpha} C_{nr}^j K_{3M}^j (1 - K_{3M})^{nr-j} \right] \rightarrow \min. \quad (15)$$

Середні значення величин T_{D_1} , T_{D_2} , T_O можна отримати в результаті статистичного обробітку даних про відмови елементів. Тоді мінімум функції $Q(M_\alpha)$ відповідатиме оптимальному значенню запасу елементів M_α^{onm} . З метою скорочення часу простоїв МЛТР, пов'язаного з пошуком і доставкою запасних частин на кожній машині, в ремонтній ланці і на складі господарства створюються запаси деталей, які швидко спрацьовуються чи ламаються внаслідок раптових перевантажень. Таким чином, виникає задача оптимізації кількості і місця зберігання певних запасних частин, які необхідні для усунення відмов протягом сезону лісотехнічних робіт. Дану задачу можна виразити так:

$$C = B_{рез} + B_{np} \rightarrow \min, \quad (16)$$

де $B_{рез}$ – загальна вартість резерву запасних частин на одну машину; B_{np} – втрати від простоїв машини через відсутність необхідних запасних частин.

Керування запасами полягає в обґрунтовані оптимальної кількості запасних частин, які зберігаються на кожному рівні, встановлення моментів і об'ємів поповнення вичерпаних запасів. Тоді умова оптимізації комплектів запасних частин прийме такий вид:

$$C = B_{рез} + B_{np} = \sum_{i=1}^m \left(c_i d_{1i} + \frac{c_i d_{2i}}{N_{Г}} \right) + B_{зод} T_{np} \rightarrow \min, \quad (17)$$

де c_i – вартість резервної деталі i -го найменування; d_{1i} , d_{2i} – кількість деталей i -го найменування в одиничному і груповому комплектах відповідно; $N_{Г}$ – кількість МЛТР, яка обслуговується груповим комплектом; $B_{зод}$ – втрати від простою протягом однієї години; T_{np} – середній час простою МЛТР через відсутність запчастин за сезон.

Час простою T_{np} з урахуванням ймовірності відмови МЛТР дорівнює:

$$T_{np} = \sum_{i=1}^m t_{ni} q_i, \quad (18)$$

де t_{ni} – середня тривалість простою МЛТР в очікуванні доставки i -тої деталі; q_i – умовна ймовірність відмови МЛТР при умові відмови i -тої деталі: $q_i = \lambda_i / \sum_{i=1}^m \lambda_i$, тут λ_i – потік відмов деталей i -го найменування протягом сезону, відмов/год.

Знехтувавши ймовірністю відмови деталі в непрацюючій машині, потік відмов всіх деталей i -го найменування, що встановлені на МЛТР буде рівний: $\lambda_i = d_{oi} \tau W_2 \omega_i$, де d_{oi} – кількість деталей i -го найменування в даній машині; τ – коефіцієнт інтенсивності експлуатації; W_2 – продуктивність МЛТР за годину; ω_i – параметр потоку відмов i -тої деталі на одиницю виконаної роботи.

Підставляючи отримані рівняння у формулу (18) можна визначити середню тривалість простою МЛТР T_{np} через відсутність запасних частин за сезон польових робіт з урахуванням ймовірності відмови будь-якої деталі. Поступово збільшуючи кількість деталей в одиничному (d_1) і груповому (d_2) комплектах, знаходимо мінімум функції (16), який показує на досягнення оптимального складу запасних частин в кожному комплекті. Отримана кількість запасних частин кожного найменування повинна забезпечувати досягнення оптимального коефіцієнта простою:

$$K_{II} = \frac{T_o + T_е}{T_o + T_е + T_{np}} \geq K_{II}^{onm}, \quad (19)$$

де T_o – середній наробіток на відмову; $T_е$ – середній час усунення відмови.

Висновок. Вираз (19) слугує критерієм достатності забезпечення МЛТР запасними частинами на запланований сезон лісотехнічних робіт.

Список літератури

1. Собко Н.М. Дослідження основних показників роботи лісозаготівельної техніки / Н.М. Собко // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету. – 2012. – Вип. 22.8. – С. 121–126.
2. Овсянников С.И. Обоснование структуры измерительного комплекса для проведения тяговых испытаний мотоагрегатов / С.И. Овсянников // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології». Електронне наукове фахове видання Вип. №3. 2012. [Електронний ресурс] // Режим доступу http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE12_1c/index.html
3. Тітова Л.Л. Методи технічного обслуговування лісових машин / Л.Л. Тітова, І.Л. Роговський // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х., 2014. – Вип. 155. – С. 132–137.
4. Войцеховська Ю.В. Інноваційні аспекти оновлення технологічного обладнання виробничих систем / Ю.В. Войцеховська, А.О. Мавріна, Г.Р. Коpecь // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету. – 2014. – Вип. 24.5. – С. 340–345.
5. Ізонін І.В. Проблематика задач стохастичного моделювання в управлінні виробничими запасами / І.В. Ізонін, Т.Я. Лагоцький // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету. – 2012. – Вип. 22.5. – С. 351–356.
6. Ящук В.І. Моделювання обсягів замовлень та рівня товарних запасів у торговельних мережах / В.І. Ящук, П.К. Грик // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету. – 2013. – Вип. 23.4. – С. 366–372.
7. Тітова Л.Л. Методичні положення потреби в мобільних засобах техобслуговування лісових МЕЗ / Л.Л. Тітова, І.Л. Роговський // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – К., 2014. – Вип. 196, ч. 3. – С. 146–152.

Аннотація

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПОДДЕРЖАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАШИН ДЛЯ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ

Тітова Л.Л., Роговський І.Л.

В статті пропонується методичні положення обґрунтування технічних заходів підтримки працездатності машин для лісотехнічних робіт.

Abstract

**FOUNDATION OF TECHNICAL MEASURES TO MAINTAIN
SERVICEABILITY OF FORESTRY MACHINES**

Titova L.L., Rogovskiy I.L.

This paper proposes a methodological position foundation and technical measures to maintain serviceability of forestry machines.

Рецензент: д.т.н., професор Ребезнюк І.Т.