

ОЦІНКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТОЧНОСТІ ТРАКТОРІВ НА ТРАНСПОРТНИХ РОБОТАХ

Лебедєв А.Т., д.т.н., проф., Шуляк М.Л., к.т.н., доц.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка*

В аграрному секторі України зайнятість колісних тракторів на транспортних роботах знаходиться в межах 40-45% від річного їх використання. Рішення для даних тракторів проблеми забезпечення їх функціональної точності актуально.

Обґрунтовано методологія оцінки функціональної точності тракторів у взаємозв'язку з їх працездатністю шляхом оцінки реального технічного стану контрольованого елемента (двигуна, трансмісії, рульового управління і т.д.). На прикладі дизеля ЯМЗ-236Д-3 трактора ХТЗ-17221 при використанні на транспортних роботах доведено, що для забезпечення їх функціональної точності похибки вимірювання тиску масла і ефективної потужності не повинні проявлятися відповідно з імовірністю більше $P - 0,005$ і $P - 0,045$.

Ключові слова: трактор, функціонування, точність, технічний стан.

Вступ. Проблема функціональної точності тракторів вирішується шляхом оцінки відхилень (похибок) параметрів від їх розрахункових (номінальних) значень, виникаючих під впливом різних дестабілізуючих факторів. Рішення даної проблеми актуально при виконанні колісними тракторами транспортних робіт у складі тракторних поїздів, транспортно-технологічних агрегатів змінної маси і т.д.

Аналіз основних публікацій. Функціонування трактора на транспортних роботах є складовою частиною їх виробничої експлуатації. Основні методичні і наукові положення раціонального комплектування транспортних агрегатів на основі тракторів, прогнозування їх функціональних параметрів і т.д. достатньо докладно викладено в учбовій та науковій літературі [1, 2, 3]. При оцінці функціональної точності аналізується за ДСТУ 7463:2013 [4] показники, які визначають тяговий клас трактора, енергетичні можливості і агрегатованість. При цьому у відповідності з ДСТУ 2860-94 [5] трактор буде у працездатному стані, тобто функціонально стійким, при якому значення усіх параметрів, що характеризують його спроможність виконувати задані функції, відповідно вимогам нормативної і технічної документації (НТД). Рішення питань забезпечення функціональної точності тракторів направлене на реалізацію ДСТУ ISO 9001:2009 [6].

Мета дослідження передбачає обґрунтування методології функціональної точності трактора та його основних елементів в експлуатації.

Результати дослідження. Застосовуючи основні положення теорії точності складних систем [7] при оцінці функціональної точності трактора

необхідно розглянути процес виконання трактором заданих функцій, спрямованих на досягнення поставленої мети, що характеризується певними значеннями її параметрів (вихідний, первинний, вторинний). При цьому вихідний параметр є результатом рішення функціональної завдання відповідно до цільового призначення трактора в цілому (тягове зусилля, швидкість руху) або його складових елементів (двигун, ВВП і т.д.).

Первинний параметр трактора визначається при безпосередньому контролі, зміні складових елементів, а вторинний – є деякою функцією первинних параметрів. Наприклад, тягове зусилля трактора залежить від потужності двигуна; швидкість його руху – від частоти обертання колінчастого вал, передавального числа трансмісії і т.д.

Вихідний параметр трактора x зазвичай є вторинний. Будь-яке значення вихідного параметра є результатом перетворення деяких первинних по відношенню до нього величин. До таких первинних величин відносяться характеристики вхідних сигналів S і параметрів q елементів (двигуна, трансмісії і т.д.) трактора. Відповідно до цього модель трактора обґрунтовується за функціональною залежністю $x = \varphi(S, q)$. При номінальних значеннях параметрів S_n, q_n , які відповідають вимогам НТД, дана модель має вигляд $x_n = \varphi(S_n, q_n)$. Ступінь відмінності реальної моделі x від номінальної x_n оцінюється функціональною похибкою трактора $\Delta x = x - x_n$, що характеризує його функціональною точністю, тобто здатність трактора виконувати задані функції з певним ступенем близькості до номінальної моделі.

При виході значень похибки Δx функціонування трактора за допустимі межі він втрачає працездатність, тобто здатність функціонувати з необхідним (заданим) ступенем точності.

При q_1, q_2, \dots, q_n елементах трактора (двигун, трансмісія і т.д.) і вхідним сигналом стану даних елементів модель функціонування трактора записується у вигляді

$$x = \varphi(S, q_1, q_2, \dots, q_n). \quad (1)$$

При S_k вхідному сигналі контроль кожного q_k елемента трактора залежність (1) перетворюється до вигляду

$$q_{ik} = q_{ik}(S_{1k}, \dots, S_{nk}, x_{1k}, \dots, x_{nk}). \quad (2)$$

Підставляючи (2) у (1), записуємо вихідний параметр на момент закінчення контролю у вигляді наступної функції

$$x_k = x_k(S, S_{1k}, \dots, S_{nk}, x_{1k}, \dots, x_{nk}). \quad (3)$$

При контролі трактора в експлуатації значення параметрів складних його елементів змінюються і становляться рівними

$$q_i = q_{ik} + \Delta q_i. \quad (4)$$

де $\Delta q_i = \Delta q_{iy}$ - відхилення параметру i -го елемента трактора при контролі, обумовлене неідентичністю умов контролю.

З урахуванням залежностей (2) і (4) записується рівняння контрольованого функціонального параметру у вигляді функції величин

$$x = x(S, S_{1k}, \dots, S_{nk}, x_{1k}, \dots, x_{nk}, \Delta q_1, \dots, \Delta q_n). \quad (5)$$

Оцінка функціональної точності трактора визначається шляхом порівняння його параметрів, отриманих за (5), з номінальними значеннями, які визначені НТД.

Беручи за функціональну точність трактора як складної системи [7] здатність виконувати задані функції з певним ступенем близькості до ідеальної моделі, функціональна похибка трактора при x і x_n поточних і номінальних значеннях функціональних параметрів оцінюється по залежності

$$\Delta x = x - x_n. \quad (6)$$

Достовірність контролю функціональної точності і працездатності трактора можна оцінити по залежності [8]:

$$D = 1 - (P_1 + P_2), \quad (7)$$

де P_1 і P_2 – ймовірності помилок першого (пропуск відмови) і другого (помилковий відмова) роду.

Ймовірності помилок де P_1 і P_2 залежать від законів розподілу значень контрольованих функціональних параметрів і похибок вимірювань, часу вимірювального процесу та характеристики поля допуску на величину вимірюваного параметра. Трактор як об'єкт контролю буде працездатним, тобто придатним (Γ) до подальшої експлуатації, якщо результат вимірювання задовольняє умові

$$c \leq y \leq d, \quad (8)$$

де c, d – межі поля допуску контрольованого параметра y , $2\delta = d - c$; $y = x_k + \Delta x_k$; $x_k, \Delta x_k$ – дійсне значення контрольованого параметра і похибка його вимірювання.

При невиконанні умови (8) робиться висновок про непридатність ($\bar{\Gamma}$) трактора до подальшої експлуатації. Для ймовірностей подій Γ і $\bar{\Gamma}$ виконується рівність $P_\Gamma + P_{\bar{\Gamma}} = 1$.

Під час контролю функціональних параметрів трактора їх значення дорівнюють

$$x = x_k + \Delta x_n, \quad (9)$$

де Δx_n – відхилення параметра від його значення, обумовлене похибками вимірювань.

Трактор під час контролю буде справний, якщо кожен з його функціональних параметрів знаходиться в області працездатності (a, b) :

$$a < x < b. \quad (10)$$

Про стан трактора до проведення контролю можуть бути висловлені дві взаємовиключні гіпотези: трактор справний (I) , якщо виконується умова (10); трактор несправний (\bar{I}) при невиконанні умови (10). Сума ймовірностей даних подій $P_u + P_{\bar{u}} = 1$.

Заміна умови (10) правилом (8) призводить до помилкових рішень:

$y \in (c, d), x \notin (a, b)$ – невиявлена відмова (\bar{I} / Γ) ;

$y \notin (c, d), x \in (a, b)$ – помилкова відмова $(I / \bar{\Gamma})$.

Вірні висновки робляться в наступних ситуаціях:

$y \in (c, d), x \in (a, b)$ – вірний висновок «трактор придатний» (I / Γ) ;

$y \in (c, d), x \notin (a, b)$ – вірний висновок «трактор непридатний» $(\bar{I} / \bar{\Gamma})$.

Для ймовірностей даних подій виконується рівність (рис. 1):

$$P_{\text{но}} + P_{\text{ло}} + P_{\text{вз}}^{\Gamma} + P_{\text{вз}}^{\bar{\Gamma}} = 1, \quad (11)$$

де $P_{\text{но}}, P_{\text{ло}}, P_{\text{вз}}^{\Gamma}, P_{\text{вз}}^{\bar{\Gamma}}$ – імовірності відповідно несправних тракторів, наявність серед справних тракторів невірно забракованих; вірно визнаних придатними і непридатними до подальшої експлуатації.

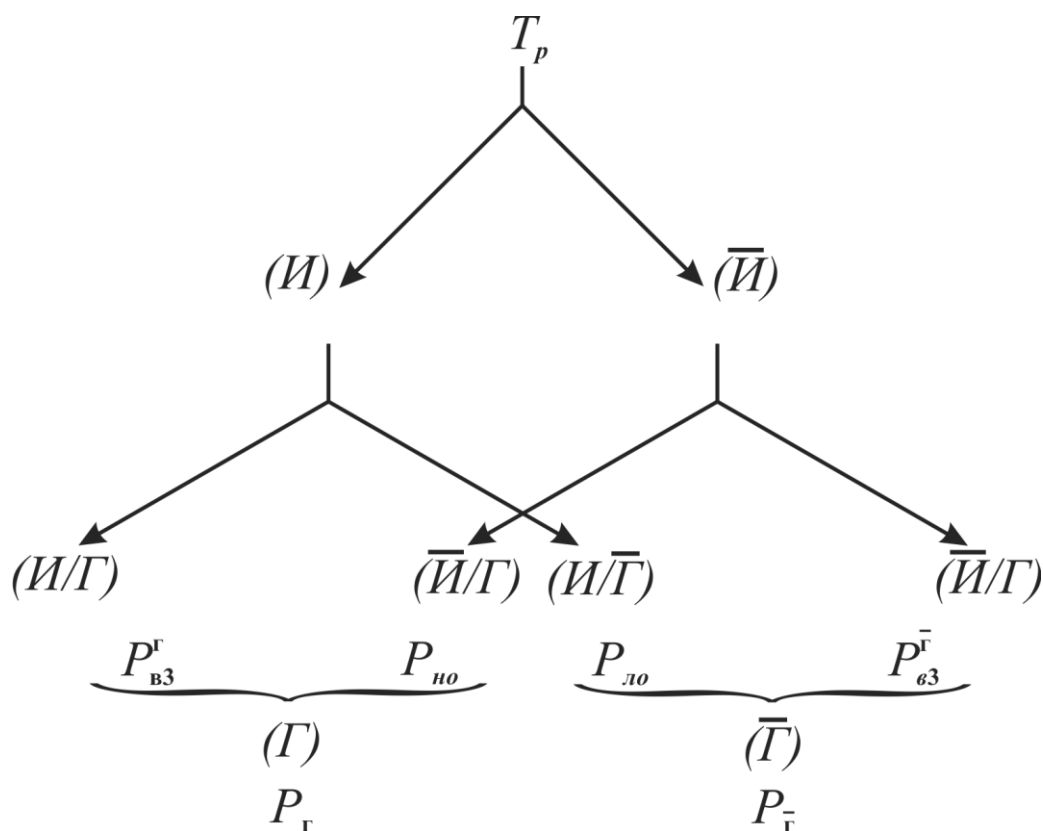


Рис. 1 – Схема формування та оцінки достовірності результатів контролю функціональної точності трактора (T_p)

З даної схеми випливає, що

$$P_{\text{но}} = P_{\Gamma} - P_{\text{вз}}^{\Gamma} = P_{\bar{u}} - P_{\text{вз}}^{\bar{\Gamma}} = 1; P_{\text{ло}} = P_u - P_{\text{вз}}^{\Gamma} = P_{\bar{\Gamma}} - P_{\text{вз}}^{\bar{\Gamma}}. \quad (12)$$

Подія, що полягає в тому, що серед визнаних придатними тракторами є несправні елементи, оцінюються умовною ймовірністю невиявленої відмови

$$P_{\text{но}} = \frac{P_{\text{но}}}{P_{\Gamma}} = 1 - \frac{P_{\text{вз}}^{\Gamma}}{P_{\Gamma}}. \quad (13)$$

Наприклад, під час оцінки придатності трактора до подальшої експлуатації за тяговим показником можлива невиявлена відмова по граничному зносу муфти зчеплення, шин трактора і т.д.

Помилкова відмова оцінюється умовною ймовірністю того, що серед справних тракторів є невірно забраковані елементи

$$P_{\text{ло}} = \frac{P_{\text{ло}}}{P_u} = 1 - \frac{P_{\text{вз}}^{\Gamma}}{P_u}. \quad (14)$$

Наприклад, при підвищенні питомої витрати палива на одиницю виконаної трактором роботи помилково можуть бути замінені елементи паливної системи трактора, хоча причина даної відмови можлива через підвищене буксування зношених шин.

Таблиця 1 – Достовірність контролю дизеля ЯМЗ-236Д-3 трактора ХТЗ-17221

Контрольований параметр, <i>D</i>	Ймовірність помилок	
	<i>P_I</i>	<i>P_{II}</i>
Тиск масла	0,003	0,002
Витрата масла	0,004	0,002
Питома витрата палива	0,014	0,007
Кут випередження упорскування палива	0,006	0,003
Димність відпрацьованих газів	0,006	0,003
Прорив газів в картер	0,007	0,003
Температура відпрацьованих газів	0,012	0,006
Ефективна потужність	0,030	0,015
Індикаторний тиск	0,016	0,008
Тиск паливоподачі	0,006	0,003
Віброакустичні характеристики упорскування	0,009	0,005

Достовірність контролю функціональної точності і працездатності тракторів справляє істотне значення на ефективність їх використання. Низька достовірність контролю, що характеризує ступінь об'єктивності оцінки реального стану контрольованого елемента (двигуна, трансмісії, рульового керування і т.д.), може призвести до помилок I роду (пропуск відмови) та II роду (помилкова відмова) [8]. Помилки I роду призводять до невиправданих демонтажних робіт для усунення відмови, II роду – до матеріальних втрат на заміну придатних до експлуатації елементів трактора. Як приклад в таблиці 1

наведені ймовірності помилок I (P_I) та II (P_{II}) роду двигуна ЯМЗ-236Д-3 трьох тракторів ХТЗ-17221 на транспортних роботах при наробітку кожного 1000 мотогодин для різних контрольованих параметрів (\mathcal{D}), отриманих з достовірністю не нижче 85%.

Підсумовування P_I і P_{II} показує, що для гарантування заданою достовірністю контролю (85 %) дизеля ЯМЗ-236Д-3 трактора ХТЗ-17221 на транспортних роботах похибки вимірювання окремих контрольованих параметрів не повинні проявлятися з імовірністю більш ніж $P = 0,005$ (тиск масла) і $P = 0,045$ (ефективна потужність).

Висновки.

1. Проблема функціональної точності тракторів при їх експлуатації вирішується шляхом оцінки відхилень (похибок) функціональних параметрів від їх розрахункових (номінальних) значень, які виникають під впливом різних дестабілізуючих факторів.

2. Методологія оцінки функціональної точності тракторів базується на порівнянні ймовірностей помилок першого (пропущення відмови) і другого (помилкова відмова) ряду контрольованих функціональних параметрів і похибок вимірювань. На підставі даного порівняння робиться висновок про придатність трактора до подальшої експлуатації.

3. Експериментально підтверджено, що для забезпечення функціональної точності тракторів ХТЗ-17221 на транспортних роботах з достовірністю контролю 85 % дизеля ЯМЗ-236Д-3 похибки вимірювання тиску масла і ефективної потужності не повинна проявлятися відповідно з вірогідністю більш ніж $P = 0,005$ і $P = 0,045$.

Список використаних джерел

1. Иофинов С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка [Текст]/ С.А. Иофинов, Г.П. Лышко. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 1984. - 351 с.
2. Тракторные поезда [Текст]/ П.П. Артемьев, Ю.Е. Атаманов, Н.В. Богдан и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 286 с.
3. Шалягин В.Н. Транспортные и транспортно-технологические средства повышенной проходимости [Текст]/ В.Н. Шалягин. – М. : Агропромиздат, 1986. – 254 с.
4. ДСТУ 7463:2013. Сільськогосподарська техніка. Трактори сільськогосподарські. Класифікація показників [Текст]. – Київ: Держстандарт України, 2013. – 11 с.
5. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення [Текст]. – Київ: Держстандарт України, 1994. – 36 с.
6. ДСТУ ISO 9001:2009. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001: 2008, IDT) [Текст]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2009. – 18 с.
7. Бородачев Н.А. Основные вопросы теории точности производства [Текст]/ Н.А. Бородачев. – М.: АН СССР, 1969. – 412 с.
8. Сергеев А.Г. Точность и достоверность диагностики автомобиля [Текст]/

А.Г. Сергеев. – М.: Транспорт, 1980. – 188 с.

Аннотация

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ ТРАКТОРОВ НА ТРАНСПОРТНЫХ РАБОТАХ

Лебедев А.Т., Шуляк М.Л.

В аграрном секторе Украины занятость колесных тракторов на транспортных работах находится в пределах 40-45 % от годового их использования. Решение для данных тракторов проблемы обеспечения их функциональной точности актуально.

Обоснована методология оценки функциональной точности тракторов во взаимосвязи с их работоспособностью путем оценки реального технического состояния контролируемого элемента (двигателя, трансмиссии, рулевого управления и т.д.). На примере дизеля ЯМЗ-236Д-3 трактора ХТЗ-17221 при использовании на транспортных работах доказано, что для обеспечения их функциональной точности погрешности изменения давления масла и эффективной мощности не должны проявляться соответственно с вероятностью более $P - 0,005$ и $P - 0,045$.

Ключевые слова: трактор, функционирование, точность, техническое состояние.

Abstract

EVALUATION OF FUNCTIONAL ACCURACY TRACTORS ON THE TRANSPORT WORKS

A. Lebedev, M. Shulyak

In the agrarian sector of Ukraine employment wheeled tractors on transport operations in the range of 40-45% of annual use. Tractor data solution provide their functional accuracy overdue.

Substantiates the methodology for assessing the functional accuracy of tractors in relation to their performance by assessing the real technical condition of the controlled element (engine, transmission, steering, etc.). For example, diesel YaMZ-236D-3 tractor HTZ-17221 demonstrated when used in transport operations, in order to ensure their functional accuracy errors oil and an effective power change of pressure should not occur with probabilities $P - 0,005$ and $P - 0,045$.

Keywords: tractor, function, accuracy of work, technical condition.