

## ДОСТОВІРНІСТЬ КОНТРОЛЮ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТОЧНОСТІ ТРАКТОРА ПІД ЧАС ВИПРОБУВАНЬ ТА В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

*А. Лебедєв, д-р техн. наук, проф.,  
Харківський національний технічний університет сільського  
господарства ім. П.Василенка,*

*І. Лебедєва,  
Харківська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, Харків*

*На основі достовірності контролю функціональної точності і  
роботоздатності трактора обґрунтовані ймовірності його придатності до  
подальшої експлуатації.*

**Ключові слова:** *контроль функціональної точності, трактор,  
випробування, експлуатація.*

**Вступ.** Підтримання технічного стану тракторів у роботоздатному стані значною мірою визначає успіх виробничої діяльності сільськогосподарського підприємства будь-якої форми власності. Вирішення цієї проблеми є особливо актуальним для України, енергозабезпеченість господарств якої тракторними потужностями (у розрахунку на 100 га орної землі) в 3–5 разів нижча, ніж у передових державах світу.

**Аналіз основних публікацій.** Проблема функціональної точності тракторів вирішується оцінюванням відхилень (похибок) функціональних параметрів від їх розрахункових (номінальних) значень, що виникають під впливом різних дестабілізуючих факторів. До функціональних параметрів трактора відповідно до діючої нормативної документації [1] віднесені: номінальне тягове зусилля, найбільша тягова потужність, потужність двигуна (номінальна, експлуатаційна), швидкість руху при номінальному тяговому зусиллі, максимальна потужність на ВВП, питома витрата палива при експлуатаційній потужності, тиск рушіїв на ґрунт і т.ін. Взаємозв'язок функціональної точності і роботоздатності трактора, коли значення всіх функціональних параметрів відповідають вимогам нормативної документації, відображені в роботах з ефективного використання машинно-тракторних агрегатів [2, 3]. Одночасно в ряді робіт [4, 5] звертається увага на необхідність розширення досліджень в напрямку підвищення достовірності контролю технічного стану контрольованих об'єктів. Вирішення цих питань спрямоване на реалізацію ДСТУ ISO 9001: 2009 [6].

**Мета дослідження** передбачає обґрунтування методології оцінювання достовірності контролю технічного стану трактора і його основних елементів під час випробувань і в експлуатації.

**Результати дослідження.** Беручи за функціональну точність трактора як складної системи [5] 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 із залежності

$$\Delta x = x - x_n . \quad (1)$$

Достовірність контролю функціональної точності і роботоздатності трактора можна оцінити із залежності [4]:

$$D = 1 - (P_1 + P_2) , \quad (2)$$

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 роботоздатним, тобто придатним ( $\Gamma$ ) до подальшої експлуатації, якщо результат вимірювання задовольняє умову

$$c \leq y \leq d , \quad (3)$$

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.

У разі невиконання умови (3) робиться висновок про непридатність ( $\bar{\Gamma}$ ) трактора до подальшої експлуатації. Для ймовірностей подій  $\Gamma$  і  $\bar{\Gamma}$  виконується рівність  $P_\Gamma + P_{\bar{\Gamma}} = 1$ .

Під час контролю функціональних параметрів трактора їх значення дорівнюють

$$x = x_k + \Delta x_{\Pi} , \quad (4)$$

де  $\Delta x_{\Pi}$  – відхилення параметра від його значення, обумовлене похибками вимірювань.

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

$$a < x < b . \quad (5)$$

Про стан трактора до проведення контролю можуть бути висловлені дві взаємовиключні гіпотези: трактор справний ( $I$ ), якщо виконується умова (5); трактор несправний ( $\bar{I}$ ) при невиконанні умови (5). Сума ймовірностей даних подій  $P_u + P_{\bar{u}} = 1$ .

Заміна умови (5) правилом (3) призводить до помилкових рішень:

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

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

Правильні висновки робляться в таких ситуаціях:

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

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

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

$$P_{\text{но}} + P_{\text{лю}} + P_{\text{вз}}^{\Gamma} + P_{\text{ез}}^{\bar{\Gamma}} = 1, \quad (6)$$

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

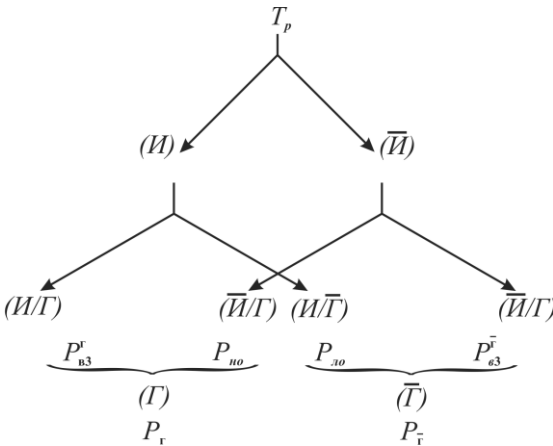


Рисунок 1- Схема формування та оцінки достовірності результатів контролю трактора ( $T_p$ )

З цієї схеми випливає, що

$$P_{\text{но}} = P_{\Gamma} - P_{\text{вз}}^{\Gamma} = P_{\bar{I}} - P_{\text{ез}}^{\bar{\Gamma}} = 1; P_{\text{лю}} = P_{\bar{I}} - P_{\text{ез}}^{\bar{\Gamma}} = P_{\bar{\Gamma}} - P_{\text{вз}}^{\bar{\Gamma}}. \quad (7)$$

Подія, яка полягає в тому, що деякі з визнаних придатними тракторів мають несправні елементи, оцінюються умовною ймовірністю невиявленої відмови

$$P_{\text{но}} = \frac{P_{\text{но}}}{P_{\Gamma}} = 1 - \frac{P_{\text{вз}}^{\Gamma}}{P_{\Gamma}}. \quad (8)$$

Наприклад, під час оцінювання придатності трактора до подальшої експлуатації за тяговим показником можлива невиявлена відмова, яка полягає в граничному спрацюванні муфти зчеплення, шин трактора і т.ін.

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

$$P_{\text{ЛО}} = \frac{P_{\text{ЛО}}}{P_u} = 1 - \frac{P_{\text{ЕЗ}}^{\Gamma}}{P_u}. \quad (9)$$

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

Використовуючи основні положення теорії ймовірностей [7], запишемо:

$$P_{\text{НО}} = 1 - P_{\text{ВЗ}}^{\Gamma} \left[ \int_{-\infty}^{\infty} \int_{c-x_k}^{d-x_k} w_k(x_k) q(\Delta x_u) d\Delta x_u dx_k \right]^{-1}; \quad (10)$$

$$P_{\text{ЛО}} = 1 - P_{\text{ВЗ}}^{\Gamma} \left[ \int_{-\infty}^{\infty} \int_a^b w_k(x_k) q_n(x-x_n) dx dx_k \right]^{-1}, \quad (11)$$

$$\text{де } P_{\text{ВЗ}}^{\Gamma} \int_{-\infty}^{\infty} \int_a^b \int_{c-x_k}^{d-x_k} w_k(x_k) q(\Delta x_u) q_n(x-x_k) d\Delta x_u dx dx_k,$$

$w_k(x) = \int_{-\infty}^{\infty} w_k(x_k) q_n(x-x_k) dx_k$  – апіорна щільність вірогідності значень параметра (4) перед початком контролю трактора;  $w_k(x_k)$  – щільність ймовірності значень параметра трактора перед контролем;  $q_n(x-x_k)$  – щільність ймовірності похибки, обумовлена методами розрахунку точності [5].

Основним елементом достовірності контролю відновлюваних під час техобслуговування чи ремонту тракторів є ймовірність невиявлених відмов (помилка першого роду)

$$P_{\text{НО}\Sigma} = 1 - \int_b^a w_{\Sigma}(x) dx, \quad (12)$$

де  $w_{\Sigma}(x)$  – щільність ймовірності значень функціонального параметра трактора, визнаних придатними в результаті контролю і відновлення.

Зокрема, при відновленні трактора замінами елементів маємо:

$$P_{\text{НО}\Sigma} = P_{\Gamma} P_{\text{НО}} + P_{\Gamma} P_{\text{НО}}^{(3)},$$

де  $P_{\text{НО}}$ ,  $P_{\text{НО}}^{(3)}$  – ймовірності відповідно невиявленої відмови, обумовлені за (10) і (11).

Під час технічного обслуговування трактора, коли усуваються відмови, наприклад, шляхом регулювань елементів, маємо:

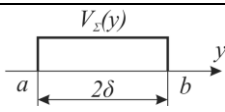
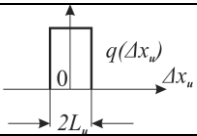
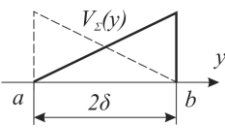
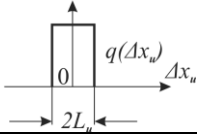
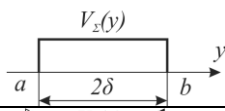
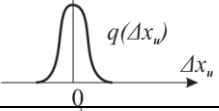
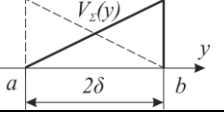
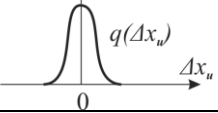
$$P_{\text{НО}\Sigma} \approx \mathbf{I}_{\Sigma}(a) + V_{\Sigma}(b) \int_a^b \Delta x_u q(\Delta x_u) d\Delta x_u, \quad (13)$$

де  $V_{\Sigma}(a)$ ,  $V_{\Sigma}(b)$  – щільності ймовірності оцінок контрольованого параметра в області роботоздатності  $(a-b)$ ;  $q(\Delta x_n)$  – щільність симетрії.

В умовах експлуатації трактора розподіл  $V_{\Sigma}(a) \leq V_{\Sigma}(y) \leq V_{\Sigma}(b)$  є практично рівномірним. Ймовірності достовірності контролю трактора наведено в табл. 1.

Таблиця 1 - Ймовірності достовірності контролю трактора  $P_{\text{но}}$   
при різних законах розподілу контрольованого параметра  $V_{\Sigma}(p)$

і похибки вимірювання  $q(\Delta x_u)$

$P_{\Sigma}(p)$	$q(\Delta x_u)$	$P_{\text{но}}$
① 	⑤ 	$\frac{L_u}{4\delta}$
② 	⑥ 	$\frac{L_u}{4\delta}$
③ 	⑦ 	$\frac{\delta(\Delta x_u)}{\sqrt{2\pi}\delta}$
④ 	⑧ 	$\frac{\delta(\Delta x_u)}{\sqrt{2\pi}\delta}$

Позначення: рівна ймовірність – 1, 3, 5, 6; рівномірно зростаюча (спадна) – 2, 4; нормальний розподіл – 7, 8.

Таблиця 2 - Достовірність контролю дизеля ЯМЗ-236

Контрольований параметр, $D$	Ймовірність помилок	
	$P_I$	$P_{II}$
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 паливopодачі	0,006	0,003
Віброакустичні характеристики упорскування	0,009	0,005

Достовірність контролю функціональної точності і роботоздатності тракторів справляє істотне значення на ефективність їх використання. Низька достовірність контролю, що характеризує ступінь об'єктивності оцінки реального стану контролюваного елемента (двигуна, трансмісії, рульового керування і т.д.), може призвести до помилок I роду (пропуск відмови) та II роду (помилкова відмова) [4]. 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 табл. 2 наведені ймовірності помилок I ( $P_I$ ) та II ( $P_{II}$ ) роду двигуна ЯМЗ-236 для різних контрольованих параметрів ( $D$ ), отриманих з достовірністю не нижче 85%.

Підсумовування  $P_I$  і  $P_{II}$  показує, що для гарантування заданої достовірності контролю (85%) дизеля ЯМЗ-236 похибки вимірювання окремих контрольованих параметрів не повинні проявлятися з імовірністю більше ніж  $P = 0,005$  (тиск масла) і  $P = 0,045$  (ефективна потужність).

**Висновки.** Запропонована методологія контролю функціональної точності і роботоздатності трактора базується на аналізі ймовірності придатності трактора до подальшої експлуатації, обґрунтовані ймовірності достовірності контролю трактора.

### Література

1. ГОСТ 4.40-84. Тракторы сельскохозяйственные. Номенклатура показателей. – Введ. 01.06.2003. – 9 с.
2. Агеев, Л.Е. Основы расчета оптимальных и допускаемых режимов работы машинно-тракторных агрегатов / Л.Е. Агеев. – Л.: Колос, 1978. – 290 с.
3. Михлин, В.М. Прогнозирование технического состояния машин / В.М. Михлин. – М.: Колос, 1976. – 288 с.
4. Сергеев, А.Г. Точность и достоверность диагностики автомобиля / А.Г. Сергеев. – М.: Транспорт, 1980. – 188 с.
5. Бородачев, Н.А. Основные вопросы теории точности производства / Н.А. Бородачев. – М.: АН СССР, 1969. – 412 с.
6. ДСТУ ISO 9001: Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001: 2008, IDT). – Київ: Держспоживстандарт України, 2009. – 18 с.
7. Венцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Венцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

### Аннотация

*На основе достоверности контроля функциональной точности и работоспособности трактора обоснованы вероятности пригодности его к дальнейшей эксплуатации.*

### Summary

*On the basis of the functional reliability of the control accuracy and performance of the tractor the probability of its suitability for further use is proved.*