

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТРАКТОРА

Лебедев А.Т., д.т.н., проф.¹⁾; Лебедева И.А., с.н.с.²⁾

¹⁾Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства имени Петра Василенко

²⁾Харьковский филиал УкрНИИПИТ имени Леонида Погорелого

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

Введение. Поддержание технического состояния тракторов в работоспособном состоянии в значительной мере определяет успех производственной деятельности сельскохозяйственного предприятия любой формы собственности. Решение данной проблемы особенно актуально для Украины, энергообеспеченность хозяйств которой тракторными мощностями (мощность тракторных двигателей на 100 га пахотной земли) в 3...5 раз ниже передовых государств.

Анализ основных публикаций. Проблема функциональной точности тракторов решается путем оценки отклонений (погрешностей) функциональных параметров от их расчетных (номинальных значений), возникающих под воздействием различных дестабилизирующих факторов. К функциональным параметрам трактора в соответствии с действующей нормативной документацией [1] отнесены: номинальное тяговое усилие, наибольшая тяговая мощность, мощность двигателя (номинальная, эксплуатационная), скорость движения при номинальном тяговом усилии, максимальная мощность на ВОМ, удельный расход топлива при эксплуатационной мощности, давление двигателей на почву и т.д. Взаимосвязь функциональной точности и работоспособности, когда значения всех функциональных параметров соответствуют требованиям нормативной документации, отражены в работах по эффективному использованию машинно-тракторных агрегатов [2, 3]. Одновременно в ряде работ [4, 5] обращается внимание на необходимость расширения исследований в направлении повышения достоверности контроля технического состояния контролируемых объектов. Решение данных вопросов направленно на реализацию ДСТУ ISO 9001: 2009 [6].

Цель исследования предусматривает обоснование методологии оценки достоверности контроля технического состояния трактора и его основных элементов при испытаниях и в эксплуатации.

Результаты исследования. Принимая за функциональную точность трактора как сложной системы [5] способность выполнять заданные функции с определенной степенью близости к идеальной модели, функциональная по-

грешность трактора при x и x_n текущих и номинальных значениях функциональных параметрах оценивается по зависимости

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

Достоверность контроля функциональной точности и работоспособности трактора можно оценить по зависимости [4]:

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

где P_1 и P_2 – вероятности ошибок первого (пропуск отказа) и второго (ложный отказ) рода.

Вероятности ошибок P_1 и P_2 зависят от законов распределения значений контролируемых функциональных параметров и погрешностей измерений, времени измерительного процесса и характеристики поля допуска на величину измеряемого параметра. Трактор как объект контроля будет работоспособным, т.е. годным (Γ) к дальнейшей эксплуатации, если результат измерения удовлетворяет условию

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

где c, d – границы поля допуска контролируемого параметра y , $2\delta = d - c$;

$y = x_k + \Delta x_k$; $x_k, \Delta x_k$ – действительное значение контролируемого параметра и погрешность его измерения.

При невыполнении условия (3) делается заключение о негодности ($\bar{\Gamma}$) трактора к дальнейшей эксплуатации. Для вероятностей событий Γ и $\bar{\Gamma}$ выполняется равенство $P_\Gamma + P_{\bar{\Gamma}} = 1$.

При контроле функциональных параметров трактора их значение равно

$$x = x_n + \Delta x_n, \quad (4)$$

где Δx_n – отклонение параметра от его значения, обусловленное погрешностями измерений.

Трактор при контроле будет исправен, если каждый из его функциональных параметров находится в области работоспособности (a, b):

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

О состоянии трактора до приведения контроля могут быть высказаны две взаимоисключающие гипотезы: трактор исправен (I), если выполняется условие (5); трактор неисправен (\bar{I}) при невыполнении условия (5). Сумма вероятностей данных событий $P_u + P_{\bar{u}} = 1$.

Замена условия (5) правилом (3) приводит к ошибочным решениям:

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

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

Верные заключения делаются в следующих ситуациях:

$y \in (c, d), x \in (a, b)$ – верное заключение «трактор годен» (I / Γ);

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

Для вероятностей данных событий выполняется равенство (Рис. 1):

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

где $P_{\text{но}}, P_{\text{ло}}, P_{\text{вз}}^{\Gamma}, P_{\text{вз}}^{\bar{\Gamma}}$ – вероятности соответственно неисправных тракторов, наличие среди исправных тракторов неверно забракованных; верно признанных годными и негодными к дальнейшей эксплуатации.

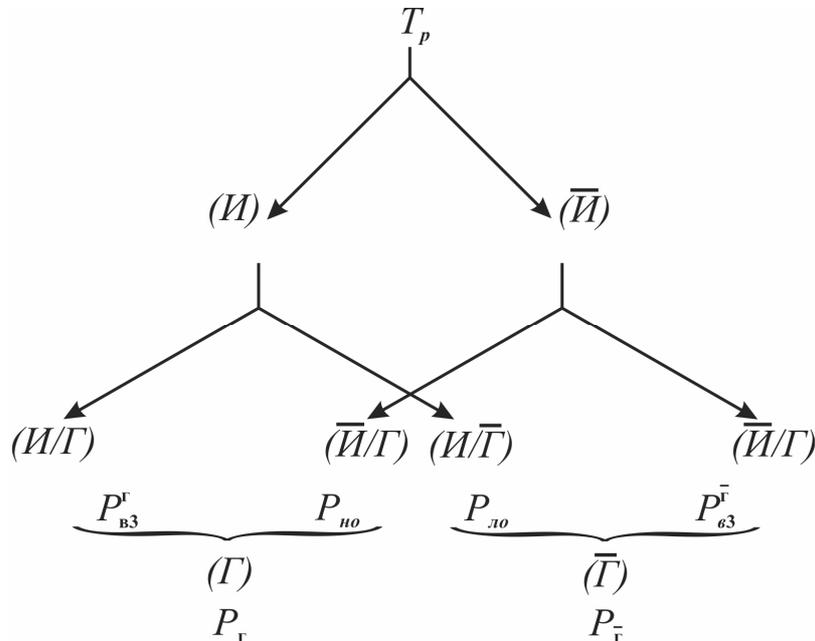


Рис. 1. Схема формирования и оценки достоверности результатов контроля трактора (T_p).

Из данной схемы следует, что

$$P_{\text{но}} = P_{\Gamma} - P_{\text{вз}}^{\Gamma} = P_{\bar{И}} - P_{\text{вз}}^{\bar{\Gamma}} = 1; P_{\text{ло}} = P_{И} - P_{\text{вз}}^{\Gamma} = P_{\bar{\Gamma}} - P_{\text{вз}}^{\bar{\Gamma}} \quad (7)$$

Событие, состоящее в том, что среди признанных годными тракторами имеются неисправные элементы, оцениваются условной вероятностью необнаруженного отказа

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

Например, при оценке пригодности трактора к дальнейшей эксплуатации по тяговым показателем возможен необнаруженный отказ по предельному износу муфты сцепления, шин трактора и т.д.

Ложный отказ оценивается условной вероятностью того, что среди исправных тракторов имеются неверно забракованные элементы

$$P_{\text{ло}} = \frac{P_{\text{ло}}}{P_{И}} = 1 - \frac{P_{\text{вз}}^{\Gamma}}{P_{И}} \quad (9)$$

Например, при повышении удельного расхода топлива на единицу выполненной трактором работы ошибочно были заменены элементы топливной

системы трактора, хотя причина данного отказа возможна из-за повышенного буксования изношенных шин.

Используя основные положения теории вероятностей [7], запишем:

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

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

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

$w_k(x) = \int_{-\infty}^{\infty} w_k(x_k) q_n(x - x_k) dx_k$ – априорная плотность вероятностей значе-
ний параметра (4) перед началом контроля трактора;

$w_k(x_k)$ – плотность вероятности значений параметра трактора перед кон-
тролем;

$q_n(x - x_k)$ – плотность вероятности погрешности Δx_u , определяемая мето-
дами расчета точности [5].

Основным элементом достоверности контроля восстанавливаемых при техобслуживании, ремонте тракторов является вероятность необнаруженных отказов (ошибка первого рода)

$$P_{\text{ноу}} = 1 - \int_0^b w_{\Sigma}(x) dx, \quad (12)$$

где $w_{\Sigma}(x)$ – плотность вероятности значений функционального параметра трактора, признанных годными в результате контроля и восстановле-
ния.

В частности при восстановлении трактора заменами элементов имеем

$$P_{\text{ноу}} = P_{\Gamma} P_{\text{но}} + P_{\Gamma} P_{\text{но}}^{(3)},$$

где $P_{\text{но}}, P_{\text{но}}^{(3)}$ – вероятности соответственно необнаруженного отказа, опреде-
ляемые по (10) и (11).

При техническом обслуживании трактора, когда устраняются отказы, например, путем регулировок элементов, имеем

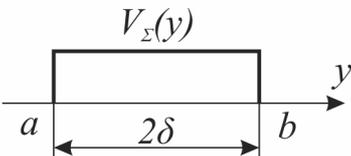
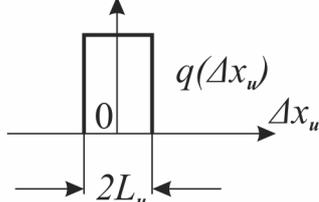
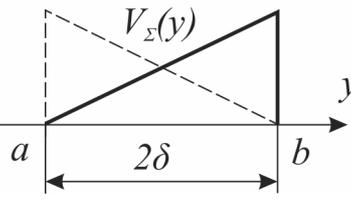
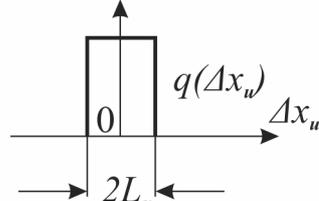
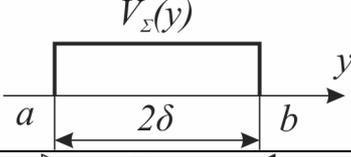
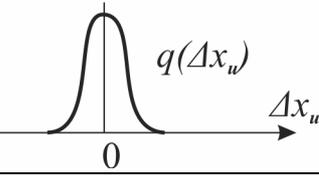
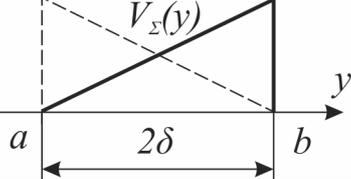
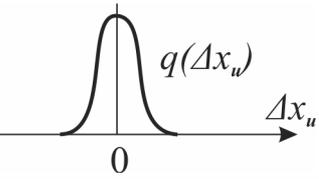
$$P_{\text{ноу}} \approx [V_{\Sigma}(a) + V_{\Sigma}(b)] \int_0^{\infty} \Delta x_u q(\Delta x_u) d\Delta x_u, \quad (13)$$

где $V_{\Sigma}(a), V_{\Sigma}(b)$ – плотности вероятности оценок контролируемого параметра
 y в области работоспособности $(a - b)$;

$q(\Delta x_u)$ – плотность симметрии.

В условиях эксплуатации трактора распределение $V_{\Sigma}(a) \leq V_{\Sigma}(y) \leq V_{\Sigma}(b)$
является практически равномерно изменяющимся или равномерным, вероят-
ности которых приведены в табл. 1.

Таблица 1. Вероятности достоверности контроля трактора $P_{но}$ при различных законах распределения контролируемого параметра $V_{\Sigma}(p)$ и погрешности измерения $q(\Delta x_u)$

$P_{\Sigma}(p)$	$q(\Delta x_u)$	$P_{но}$
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 	$\frac{\delta(\Delta x_u)}{\sqrt{2\pi}\delta}$

Обозначено: равная вероятность – 1, 3, 5, 6; равномерно возрастающая (убывающая) – 2, 4; нормальное распределение – 7, 8.

Достоверность контроля функциональной точности и работоспособности тракторов, оказывает существенное значение на эффективность их использования. Низкая достоверность контроля, характеризующая степень объективности оценки реального состояния контролируемого элемента (двигателя, трансмиссии, рулевого управления и т.д.) может привести к ошибкам I рода (пропуск отказа) и II рода (ложный отказ) [4]. Ошибки I рода приводят к неоправданным демонтажным работам для устранения отказа, II рода – к материальным потерям на замену пригодных к эксплуатации элементов трактора. В качестве примера в табл.2 приведены вероятности ошибок I (P_I) и II (P_{II}) рода двигателя ЯМЗ-236 для различных контролируемых параметров (D), полученных с достоверностью не ниже 85 % [4].

Суммирование P_I и P_{II} показывает, что для гарантирования заданной достоверностью контроля (85 %) дизеля ЯМЗ-236 погрешности измерения отдельных контролируемых параметров не должны проявляться с вероятностью более чем $P = 0,005$ (давление масла) и $P = 0,045$ (эффективная мощность).

Таблица 2. Достоверность контроля дизеля ЯМЗ-236

Контролируемый параметр, <i>D</i>	Вероятности ошибок	
	P_I	P_{II}
Давление масла	0,003	0,002
Расход масла	0,004	0,002
Удельных расход топлива	0,014	0,007
Угол опережения впрыска топлива	0,006	0,003
Дымность отработавших газов	0,006	0,003
Прорыв газов в картер	0,007	0,003
Температура отработавших газов	0,012	0,006
Эффективная мощность	0,030	0,015
Индикаторное давление	0,016	0,008
Давление топливоподачи	0,006	0,003
Виброакустические характеристики впрыска	0,009	0,005

Выводы. Предложенная методология контроля функциональной точности и работоспособности трактора базируется на анализе вероятности пригодности трактора к дальнейшей эксплуатации, обоснованы вероятности достоверности контроля трактора.

Список использованных источников

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

Анотація

**ОЦІНКА ВІРОГІДНОСТІ КОНТРОЛЮ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ
ТОЧНОСТІ І ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТРАКТОРА**

Лебедєв А.Т., Лебедєва І.А.

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

Abstract

**EVALUATION OF RELIABILITY OF FUNCTIONAL TESTING
THE ACCURACY AND EFFICIENCY TRACTOR**

A. Lebedev, I. Lebedeva

On the basis of the functional reliability of control accuracy and efficiency of the tractor probably justified its suitability for further use.