

УДК 629.113.004.4

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ ТРАКТОРОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ И В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Лебедев С.А., к.т.н., Пипченко А.Н., инж.

Харьковский филиал УкрНИИПИТ имени Леонида Погорелого

Шевченко И.А., к.т.н., доц.

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко*

Обоснована методология оценки функциональной точности трактора и его элементов.

Введение. Проблема функциональной точности тракторов решается путем оценки отклонений параметров (погрешностей) от их расчетных (номинальных) значений, возникающих под воздействием различных дестабилизирующих факторов. Решение данной проблемы актуально как при испытании трактора, когда оцениваются отклонения функциональных параметров от нормативных, так и при эксплуатации с оценкой их работоспособности.

Анализ основных публикаций. Функционирование трактора при агрегатировании с различными сельхозмашинами является основой производственной эксплуатации машинно-тракторного агрегата (МТА). Основные методические и научные положения рационального комплектования МТА, прогнозирования их параметров и т.д. достаточно подробно изложены в учебной и научной литературе [1, 2]. При оценке функциональной точности трактора анализируются по ГОСТ 4.40-84 [3] показатели, которые определяют тяговый класс трактора, энергетические возможности и агрегируемость. При этом в соответствии с ГОСТ 27.002-89 [4] трактор будет в работоспособном состоянии, при котором значение всех параметров, характеризующих его способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической документации (НТД). Решение вопросов повышения работоспособности тракторов по результатам оценки их функциональной точности направлено на реализацию ДСТУ ISO 9001: 2009 [5].

Цель исследования предусматривает обоснование методологии оценки функциональной точности трактора и его основных элементов при испытаниях и в эксплуатации.

Результаты исследования. Применяя основные положения теории точности сложных систем [6] при оценке функциональной точности трактора необходимо рассмотреть процесс выполнения трактором заданных функций, направленных на достижение поставленной цели, характеризуемый определенными значениями ее параметров (выходной, первичный, вторичный). При этом выходной параметр является результатом решения функциональной

задачи в соответствии с целевым назначением трактора в целом (тяговое усилие, скорость движения) или его составных элементов (двигателя, ВОМ и т.д.). Первичный параметр трактора определяется при непосредственном контроле, изменении составных элементов, вторичный – является некоторой функцией первичных параметров. Например, тяговое усилие трактора зависит от мощности двигателя, скорость его движения – от частоты вращения коленчатого вала двигателя, передаточного числа трансмиссии и т.д.

Выходной параметр трактора x обычно является вторичным. Любое значение выходного параметра является результатом преобразования некоторых первичных по отношению к нему величин. К таким первичным величинам относятся характеристики выходных сигналов S и параметров q элементов (двигателя, трансмиссии и т.д.) трактора. В соответствии с этим модель трактора обосновывается по функциональной зависимости $x = f(S, q)$. При номинальных значениях параметров S_n, q_n , соответствующих требованиям НТД, данная модель имеет вид $x_n = f(S_n, q_n)$. Степень отличия реальной x от номинальной x_n модели оценивается функциональной погрешностью трактора $\Delta x = x - x_n$, характеризующей его функциональную точность, т.е. способность трактора выполнять задание функции с определенной степенью близости к номинальной модели. При выходе значений погрешности Δx функционирования трактора за допустимые пределы он теряет работоспособность, т.е. способность функционировать с требуемой (заданной) степенью точности.

При q_1, q_2, \dots, q_n элементах трактора (двигатель, трансмиссия и т.д.) и входным сигналам состояния данных элементов модель функционирования трактора записывается в виде:

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

При S_k входном сигнале контроля каждого q_k элемента трактора зависимость (1) преобразовывается к виду

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

Подставляя (2) в (1), записываем выходной параметр на момент окончания контроля в виде следующей функции

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

При контроле трактора в эксплуатации значения параметров составных его элементов изменяются и становятся равными

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

где: $\Delta q_i = \Delta q_{iy}$ – отклонение параметра i -го элемента трактора при контроле, обусловленное неидентичностью условий контроля.

С учетом зависимостей (2) и (4) записывается уравнение

контролируемого функционального параметра в виде функции величин

$$x = x(S, S_{1к}, \dots, S_{nк}, x_{1к}, \dots, x_{nк}, \Delta q_1, \dots, \Delta q_n) \quad (5)$$

Оценка точности функционирования трактора определяется путем сравнения его параметров, полученными по (5), с номинальными значениями, определяемыми НДТ.

Пример 1. Оценить точность функционирования гусеничного трактора с гидрообъемным механизмом поворота (ГОП).

При движении гусеничного трактора с ГОП на гоне выходной сигнал x , определяющий устойчивость движения, формируется элементами q_1 и q_2 , передающими энергию двигателя соответственно по механической и гидравлической цепям ГОП при входных управляющих воздействиях S^+ , S^- (Рис. 1).

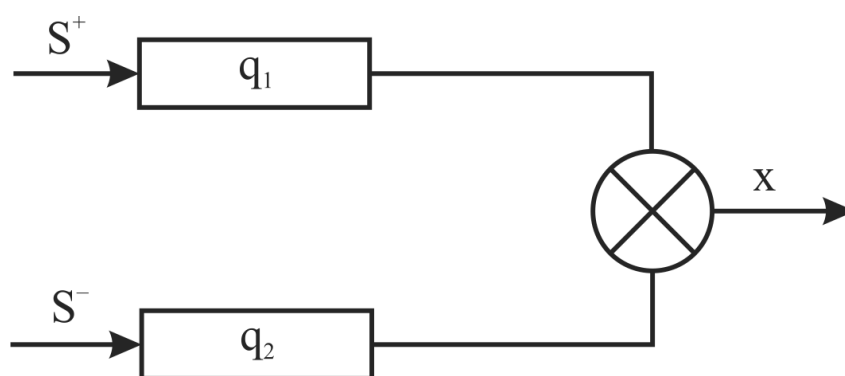


Рис. 1 – Схема сравнения управляющих сигналов ГОП

Сигнал на выходе ГОП определяется по зависимости

$$x = q_1 S^+ - q_2 S^- \quad (6)$$

Данная зависимость содержит два неизвестных параметра q_1 и q_2 , в связи с чем при оценке устойчивости движения трактора решаются две контрольные задачи:

- при устойчивом прямолинейном движении подаются контрольные сигналы $|S_{1к}^-| \approx |S_{1к}^+|$;
- для проверки чувствительности ГОП к управляющему воздействию формируется сигналы $S_{2к}^- = 0$ и $S_{2к}^+ > 0$.

В данном случае по зависимостям (3) и (6) получим

$$x_{1к} = q_{1к} S_{1к}^+ - q_{2к} S_{1к}^-; \quad x_{2к} = q_{1к} S_{2к}^+,$$

откуда находим

$$q_{1к} = \frac{x_{2к}}{S_{2к}^+}; \quad q_{2к} = \frac{1}{S_{1к}^-} \left(\frac{x_{2к}}{S_{2к}^+} S_{1к}^+ - x_{1к} \right)$$

Подставляя данные зависимости в (6) с учетом (4), получим значение

выходного параметра

$$x = \left(\frac{x_{2\kappa}}{S_{2\kappa}^+} + \Delta q_1 \right) S^+ - \left[\frac{1}{\bar{S}_{1\kappa}} \left(x_{2\kappa} \frac{S_{1\kappa}^+}{S_{2\kappa}^+} - x_{1\kappa} \right) + \Delta q_2 \right] \bar{S}. \quad (7)$$

В качестве x обычно принимается параметр y , характеризующий отклонение, например плуга от борозды предыдущего прохода, который распределен по нормальному закону с математическим ожиданием $m_y \approx \frac{c+d}{2}$, где c, d – границы поля допуска на агротехнологический коридор пахотного агрегата. В данном случае систематическая составляющая погрешности функционирования ГОП будет равна $m_{\Delta x_o} = 0$, где Δx_o – отклонение измеренного значения параметра, например, коэффициента объемной подачи η_o , ГОП от его номинального значения. Для данного случая среднеквадратическое отклонение погрешности движения пахотного агрегата, т.е. его функциональная точность, записывается в виде $\delta_{\Delta x_o} \approx \delta/3$, где $\delta = \sigma - c/2$.

При оценке $\delta_{\Delta x_o}$ трактора с ГОП решается задача отклонения наиболее значимого параметра от номинального значения, приводящего к потере функциональной точности МТА. Для гусеничного трактора с ГОП таким параметром является η_o [7], значения которого при эксплуатации трактора снижается относительно номинального значения.

Вследствие этого возникает погрешность функционирования трактора

$$\Delta x_y = x_n - x_\kappa = x(\eta_{on}) - x(\eta_{ок}), \quad (8)$$

где: $x_\kappa = x(\eta_{ок})$, $x_n = x(\eta_{on})$ – соответственно начальное значение при номинальном η_{on} и при эксплуатации, определяемом текущим значением $\eta_{ок}$.

Если характеристики условий контроля выбраны так, что $\eta_{ок} = \eta_{on}$, то $\Delta x_y = 0$. В этом случае легко выполняется необходимое условие контроля $m_{ск} = m_{sn}$, при котором минимизируется составляющая погрешность (8).

Если условия контроля ГОП выбраны так, что $\eta_{ок} = m\eta_{on}$, то минимальными становятся как систематическая, так и случайная составляющие погрешности. При контроле ГОП в любых других условиях, определяемых условиями эксплуатации тракторного агрегата, вводится поправка Δ_y , учитывающая неидентичность условия контроля ГОП и нормальных условий работы тракторного агрегата. Поправка Δ_y может вводиться для заранее известных неслучайных условий контроля, например, при определенной наработке трактора, обнаружении неисправности ГОП и т.д. При этом введение поправки $\Delta_y = -\Delta x_y = x(\eta_{on}) - x(\eta_{ок})$ установкой значения параметра

$x_k = x(\eta_{on}) + \Delta_y$ позволяет получить значение параметра в условиях эксплуатации, равного требуемому значению $x(\eta_{on})$.

Для пахотного агрегата на базе трактора ХТЗ-200 с ГОП сохраняется функциональная точность по устойчивости движения на гоне при $\eta_o \leq 0,6$.

Функциональная точность трактора может быть оценена по показателям его работоспособности. В данном случае заранее определяется вероятность P_i нахождения функционального параметра трактора в заданных пределах (a_i, ϑ_i) некоторых уровней $(i = \overline{1, n})$, при которых трактор работоспособен. Например, для дизелей Д-240 и ЯМЗ-236Д тракторов серии МТЗ-80 и ХТЗ-170 по результатам экспериментальных исследований установлено, что уменьшение мощности на 10...12 % по отношению к номинальному значению, а также ее увеличение выше номинального значения на 3...5 % с учетом заводских допусков на настройку приводит к потере их работоспособности.

Вероятности P_i связаны с плотностью вероятности значений функционального параметра $w(z)$ зависимостью

$$P_i = P(a_i < z < \vartheta_i) = \int_{a_i}^{\vartheta_i} w(z) dz \quad (9)$$

Взаимосвязь между характеристиками функциональной точности и его работоспособности может быть записана в виде

$$P_{a_i} = P(z < a_i) = \int_{-\infty}^{a_i} w(z) dz; \quad P(\vartheta_i) = P(z < \vartheta_i) = \int_{\vartheta_i}^{\infty} w(z) dz \quad (10)$$

Распределение значений параметра $w(z)$ как функция его моментов записывается в виде

$$w(z) = w(z / \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) \quad (11)$$

Определение распределения (11) по показателям работоспособности осуществляется следующим образом:

- определяется закон распределения функционального параметра;
- выбранное распределение подставляется в уравнение (9) и (10) для определения неизвестных параметров $\mu_i (i = \overline{1, n})$.

Анализ результатов экспериментальных исследований тракторов в условиях эксплуатации показал, что основные их функциональные показатели (распределения мощности двигателя и тяговой мощности трактора, нагрузочные режимы ВОМ) описываются нормальным законом распределения

$$w(z) = \frac{1}{\sigma_z \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(z - m_z)^2}{2\sigma_z^2} \right], \quad (12)$$

определяем однозначно математическим ожиданием m_z и среднеквадратическим отклонением σ_z .

Подстановка распределения (12) в (10) приводит к системе уравнений

$$\phi\left(\frac{a-m_z}{\sigma_z}\right) = 2P_a - 1; \quad \phi\left(\frac{b-m_z}{\sigma_z}\right) = 1 - P_b \quad (13)$$

при $\phi(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\alpha} e^{-t^2/2} dt$ – табуированном интеграле вероятностей [8],

где: $\alpha = \frac{a-m_z}{\sigma_z}$; a, b – границы области работоспособности.

При известных вероятностях P_a и P_b по (13) и [8] находим

$$\alpha_a = \frac{a-m_z}{\sigma_z}; \quad \alpha_b = \frac{b-m_z}{\sigma_z}$$

Преобразовывая α_a и α_b , получим

$$m_z = \frac{b\alpha_a - a\alpha_b}{\alpha_a - \alpha_b}; \quad \sigma_z = \frac{b-a}{\alpha_b - \alpha_a} \quad (14)$$

Пример 2. Оценить изменение функциональных параметров трактора в зависимости от наработки T (на примере угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя w_g).

Теоретически и экспериментально установлено, что функциональные параметры трактора в зависимости от его наработки изменяются по нормальному закону [9]. Например, тяговая мощность трактора зависит от мощности двигателя, определяемой w_g нормального распределения (Рис. 2).

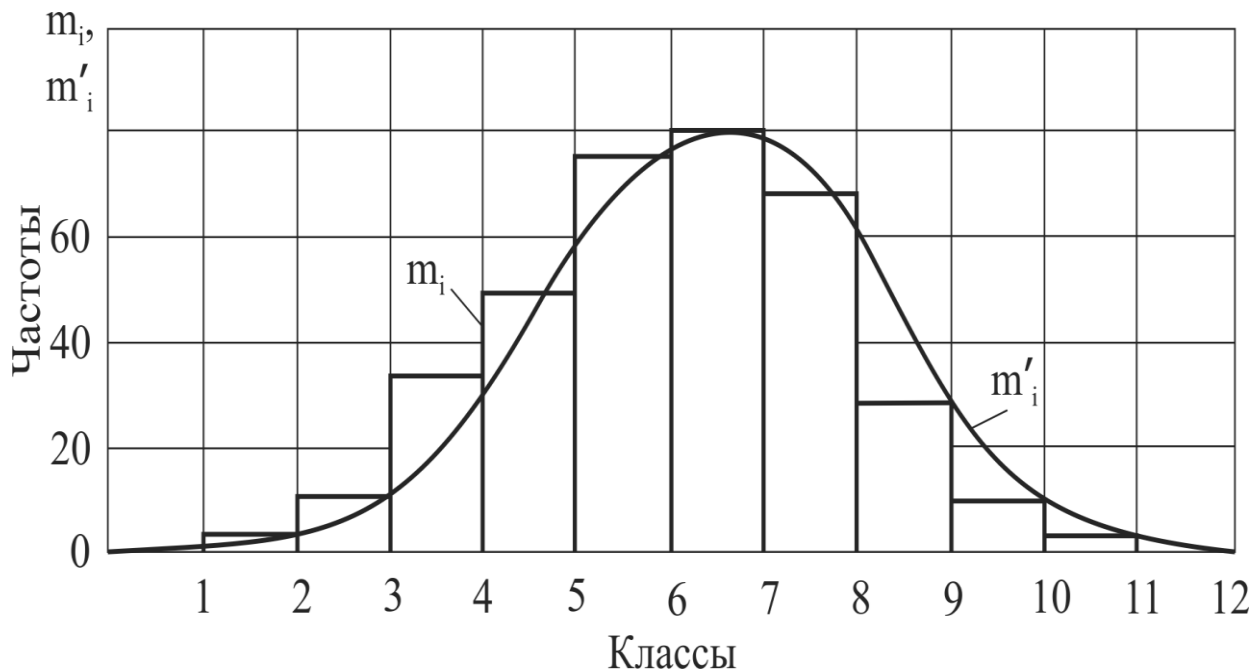


Рис. 2 – Эмпирические m_i и теоретические m'_i частоты угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя ЯМЗ-236Д в зависимости от наработки трактора ХТЗ-150К-09

Исходным материалом при построении гистограммы распределения являлись материалы эксплуатационных испытаний тракторов серии ХТЗ-150К-09. Проверка соответствия распределения эмпирических m_i и теоретических m'_i частот проводилась по критерию согласия Пирсона χ^2 . При этом в качестве теоретического распределения частот m'_i использовался нормальный закон. Числовые параметры, определенные по (14) при различном выборе границ области работоспособности a и b приведены в таблице.

Таблица – Параметры нормального распределения по рис. 2 частоты вращения коленчатого вала двигателя ЯМЗ-236Д

a	b	P_a	P_b	m_z	σ_z
2	10	0,04	0,025	5,70	2,16
3	9	0,08	0,070	5,84	2,10
4	8	0,16	0,180	5,80	2,05
5	7	0,34	0,350	6,10	2,28

На основе анализа данной таблицы предоставляется возможным скорректировать верхнюю границу установочного допуска w_g в зависимости от T по зависимости

$$\Delta w_g^T = w_{gn} - M(w_g)_T, \quad (15)$$

где: w_{gn} , w_g – соответственно номинальное значение угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя при $T = 0$ и текущее значение при $T > 0$.

Расчет по (15) с учетом материалов таблицы показал, что корректировку установочного допуска w_g необходимо проводить через $T - 1024$ ч, т.е. при ТО-3. При этом верхняя граница установочного допуска должна быть снижена на расчетную величину Δw_g^T .

Выводы. Методология оценки функциональной точности трактора предусматривает сравнения его параметров, полученным при контроле с учетом неидентичности условий контроля, с номинальными значениями, определенными нормативно-технической документацией.

Список использованных источников

1. Иофинов, С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка [Текст] / С.А. Иофином, Г.П. Лышко. – М.: Колос, 1984. – 351 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. ГОСТ 4.40-84. Тракторы сельскохозяйственные. Номенклатура

- показателей [Текст]. Введ. 01.06.2003. – 9 с.
4. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения [Текст]. Введ. 01.07.90. – 30 с.
 5. ДСТУ ISO 9001: 009. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001: 2008, IDT) [Текст]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2009. – 18 с.
 6. Бородачев, Н.А. Основные вопросы теории точности производства [Текст] / Н.А. Бородачев. – М.: АН СССР, 1969. – 412 с.
 7. Лебедев, С.А. Стабильность функционирования гидрообъемного механизма поворота гусеничного трактора [Текст] / С.А. Лебедев // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАА. – 2005. – Вип. 27. – С. 43-52.
 8. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
 9. Калачин, С.В. Прогнозирование эксплуатационных параметров МТА [Текст] / С.В. Калачин // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – №4. – С. 20-23.

Анотація

ОЦІНКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТОЧНОСТІ ТРАКТОРІВ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ І В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Лебедев С., Піпченко О., Шевченко І.

Обґрунтована методологія оцінки функціональної точності трактора і його елементів.

Abstract

EVALUATION OF TRACTORS ACCURACY FUNCTIONAL FOR TESTING AND OPERATION

S. Lebedev, A. Pipchenko, I. Shevchenko

Grounded methodology to assess the functional accuracy of the tractor and its elements.