

УДК 629.113.004.4

М. П. АРТЬОМОВ, канд. техн. наук, доц. ХНТУСГ ім.П.Василенка, Харків

МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ ЗА КРИТЕРІЄМ СТІЙКОСТІ РУХУ

Обґрунтовано методологію оцінки функціональної стабільності машинно-тракторних агрегатів на основі порівняння поточних і номінальних параметрів стійкості руху трактора у взаємозв'язку із роботоздатністю його елементів.

Ключові слова: функціональна стабільність, методологія, рульове керування, параметри, стійкість руху.

Вступ. Проблема функціональної стабільності машинно-тракторних агрегатів(МТА) невід'ємно пов'язана із їхньою роботоздатністю, яка характеризує спроможність цих агрегатів виконувати необхідні функції, що відповідають вимогам нормативно-технічної документації(НТД). Вирішення цієї проблеми особливо актуально для України, енергозабезпеченість якої тракторними потужностями(потужність тракторних двигунів на 100га орної землі) у 3...5 разів менше ніж у європейських розвинених держав.

Аналіз публікацій і досліджень. Основою ефективної експлуатації МТА є забезпечення функціональної стабільності в основному тракторів [1], до функціональних показників, які у відповідності до ГОСТ 4.40-84 [2] віднесено показники, що визначають їх тягово-енергетичні можливості, стійкість руху, тиск рушіїв на ґрунт, агрегатованість та ін. Взаємозв'язок функціональної стабільності і роботоздатності тракторів відображено у роботі [3], в якій прогнозується надійність тракторів і пов'язана вона із роботоздатністю його елементів. Одночасно в деяких роботах [4,5] звертається увага на необхідність розширення досліджень в напрямку підвищення достовірності вимірювання роботоздатності об'єктів, що контролюються.

Мета дослідження передбачає обґрунтування методології оцінки функціональної стабільності трактора та його основних елементів в процесі експлуатації МТА.

Результати досліджень. При використанні основних положень теорії точності складних систем [4] з оцінки функціональної стабільності трактора у складі МТА необхідно розглядати процес виконання трактором функцій спрямованих на досягнення поставленої мети, що характеризується певними значеннями параметрів(вихідний, первинний, вторинний). У цьому випадку вихідний параметр є результатом вирішення функціональної задачі з відповідністю до цільового призначення трактора в цілому(тягове зусилля, швидкість і стійкість руху), або його складових елементів(двигун, рульове керування та ін.). первинний параметр трактора визначається при безпосередньому контролі, вторинний є деякою функцією первинних параметрів. Наприклад, тягове зусилля трактора залежить від потужності двигуна, стійкість його руху – від швидкості, опору руху та ін..

Вихідний параметр трактора x зазвичай є вторинним, любе значення якого є результатом перетворення деяких первинних по відношенню до нього величин. До таких первинних величин відносяться характеристики вихідних сигналів S і параметрів q елементів(двигуна, трансмісії, системи керування та ін.) трактора. У відповідності до цього модель трактора обґрунтовується за функціональною

© М. П. Артёмов, 2013

залежністю $x = f(S, q)$. При номінальних значеннях параметрів S_n, q_n , що відповідають вимогам НТД, запропонована модель буде мати вигляд $x_n = f(S_n, q_n)$. Ступінь відмінності реальних x від номінальних x_n моделі оцінюється функціональною похибкою трактора $\Delta x = x - x_n$, що характеризує його функціональну стабільність, тобто здатність трактора виконувати задані функції з певним ступенем близькості до номінальної моделі.

У випадку виходу значень похибки Δx функціонування трактора за дозволені межі він втрачає роботоздатність, тобто здатність функціонувати з необхідним(заданим) ступенем точності.

При q_1, q_2, \dots, q_n елементах трактора(двигун, трансмісія, система керування та ін.) вхідним сигналом стану цих елементів модель функціонування трактора записується у вигляді

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

Якщо S_k вхідному сигналі контролю кожного q_k елементі трактора залежність (1) перетворюється до вигляду

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

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

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

Під час контролю трактора в експлуатації значення параметрів складових елементів змінюється і стає рівним

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

де $\Delta q_i = \Delta q_{iy}$ - відключення параметра i -го елементу трактора під час контролю, обумовлене неідентичністю умов контролю.

З урахуванням залежностей (2) і (4) запишемо рівняння, що характеризує функціональний параметр у вигляді функції величин

$$x = x(S, S_{ik}, \dots, S_{nk}, x_{ik}, \dots, x_{nk}, \Delta q_i, \dots, \Delta q_n) \quad (5)$$

Оцінка функціональної стабільності трактора визначається шляхом порівняння його параметрів, отриманих за допомогою (5) з номінальними значеннями, що регламентуються НТД.

Запропонована методологія оцінки функціональної стабільності пройшла апробацію під час оцінки стійкості руху колісного трактора з шарнірно-з'єднаною рамою. При русі цього трактора вихідний сигнал x на шарнірі трактора, який

характеризує злам рами трактора та визначає стійкість його руху, формується сигналами q_1 і q_2 від гідроциліндрів керування при вхідних керуючих впливах S^+, S^- , пропорційних витокам рідини в гідроциліндрах див. рис.1.

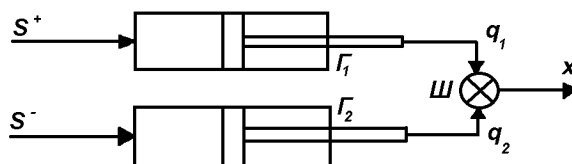


Рисунок 1 – Схема порівняння керуючих сигналів рульового керування колісного трактора: Γ_1, Γ_2 - гідроциліндри керування, Ш - шарнір рами трактора

Сигнал порівняння на шарнірі рульового керування визначається за залежністю

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

Наведена залежність має два невідомі параметри q_1 і q_2 , через це при оцінці стійкості руху трактора необхідно вирішити дві контрольні задачі:

- при стійкому русі трактора подаються контрольні сигнали $|S_{ik}^-| \approx |S_{ik}^+|$;
- для перевірки чутливості рульового керування до керуючого впливу формуються сигнали $S_{2k}^- = 0$ і $S_{2k}^+ > 0$.

У цьому випадку за залежностями (3) і (6) отримаємо $x_{ik} = q S_{ik}^+ - q_{2k} S_{ik}^-$;

$$x_{2k} = q_{ik} S_{2k}^+ \text{ за якими визначимо } q_{ik} = \frac{x_{2k}}{S_{2k}^+} ; \quad q_{2k} = \frac{1}{S_{ik}^-} \left(\frac{x_{2k}}{S_{2k}^+} S_{ik}^+ - x_{ik} \right) .$$

Підставимо отримані залежності у (6) з урахуванням (4) і отримаємо значення вихідного параметру

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

В якості x приймається параметр y , що характеризує відхилення наприклад, плугу від борозни попереднього проходу для оцінки стійкості руху орного агрегату. Розподіл зазначеного параметру відбувається за нормальним законом з математичним очікуванням $m_y \approx (c + d)/2$, де c і d - межі поля допуску на агротехнологічний коридор орного агрегату. У випадку, що розглядається, систематична складова похибки функціонування рульового керування трактора буде $m_{\Delta x_e} = 0$, де Δx_e - відхилення параметру, що контролюється. У цьому випадку середньоквадратичне відхилення похибки руху орного агрегату вздовж гону, тобто

його функціональна стабільність може бути записана у вигляді $\delta_{\Delta x_e} \approx \delta/3$, де $\delta = b - c/2$.

Для оцінки $\delta_{\Delta x_e}$ колісного трактора при агрегуванні з плугом вирішується задача відхилення найбільш значущого параметру від номінального значення, який призводить до втрати функціональної стабільності МТА по стійкості руху на гоні. Таким параметром для рульового керування колісного трактора є об'ємний ККД ($\eta_{об}$) гідроциліндрів керування, який визначається витоками робочої рідини через запірні клапани та ущільнення гідроциліндрів [6].

В процесі довгострокової експлуатації трактора параметр $\eta_{об}$ зменшується, внаслідок чого виникає похибка його функціонування

$$\Delta x_y = x_n - x_k = x(\eta_{он}) - x(\eta_{ок}), \quad (8)$$

де $x_n = x(\eta_{он})$, $x_k = x(\eta_{ок})$ - початкове значення при номінальному $\eta_{он}$, і при експлуатації, визначеному поточним значенням $\eta_{ок}$, відповідно.

Якщо характеристики умов контролю вибрані таким чином, що $\eta_{ок} = \eta_{он}$, тоді $\Delta x_y = 0$. У такому разі легко виконуються необхідні умови контролю $m_{гк} = m_{гн}$, при яких мінімізується складова, що впливає на похибку (8). Для випадку $\eta_{ок} = m\eta_{он}$ стає мінімальною як систематична, так і випадкова складові похибки. Здійснення контролю функціональної стабільності рульового керування в інших випадках, що визначаються умовами експлуатації тракторного агрегату, вводиться поправка Δ_y , яка враховує неідентичність умов контролю і нормальних умов роботи тракторного агрегату. Поправка Δ_y може вводиться для заздалегідь відомих невідповідних умов контролю, наприклад, при певному напрацюванні трактора, виявленні несправності рульового керування та ін. У цьому випадку введенням поправки $\Delta_y = -\Delta x_y = x(\eta_{он}) - x(\eta_{ок})$ встановленням значення параметру $x_k = x(\eta_{он}) + \Delta_y$ забезпечується отримання значень параметру в реальних умовах експлуатації, що дорівнює необхідному значенню $x(\eta_{он})$.

Для орного агрегату на базі колісного трактора серії ХТЗ-170 зберігається функціональна стабільність по стійкості руху на гоні при $\eta_{ок} \geq 0,8$. Цей висновок підтверджено результатами теоретичних і експериментальних досліджень під час оцінки стійкості руху шарнірно-з'єднаного трактора у складі МТА [7,8].

Функціональна стабільність трактора може бути оцінена за показниками його роботоздатності. В такому випадку заздалегідь визначається імовірність P_i знаходження функціонального параметру трактора в заданих межах (a_i, b_i) деяких рівнів ($i = 1, n$), при яких трактор роботоздатний. Наприклад, для тракторів серії ХТЗ-170, приймаючи при оцінці стійкості його руху у складі МТА за функціональний параметр стабільність руху у заданому напрямку, за результатами експериментальних досліджень встановлено, що F при збільшенні витоків робочої рідини в гідроприводі

рульового керування, яке характеризується імовірністю стану $P(k_j) < 0,30$, трактор втрачає роботоздатність [6].

Імовірності P_i зв'язані з щільністю імовірності значень функціонального параметру $w(z)$ залежністю

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

Взаємозв'язок між характеристиками функціональної стабільності та роботоздатністю трактора може бути записана у вигляді

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

Розподіл значень параметру $w(z)$, як функції його моментів записується у вигляді

$$w(z) = w\left(\frac{z}{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n}\right) \quad (11)$$

Визначення розподілу(11) за показниками роботоздатності здійснюється наступним чином:

- визначається закон розподілу функціонального параметру;
- обраний розподіл підставляється в рівняння (9) і (10) для визначення невідомих параметрів $\mu_i (i = 1, n)$.

Аналіз результатів експериментальних досліджень тракторів серії ХТЗ-170 показали, що стабільність його руху у складі МТА може бути описана нормальним законом розподілу

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

що однозначно визначається математичним очікуванням m_z та середньоквадратичним відображенням σ_z . Підстановка розподілу (12) в (10) приводить до системи рівнянь

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

де $\Phi(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\alpha} e^{-t^2/2} dt$ - табульований інтеграл ймовірностей [8];

$\alpha = \frac{a - m_z}{\sigma_z}$; a, b - межі області роботоздатності.

У випадку якщо відомі ймовірності P_a і P_b згідно (13) і [8] знаходимо

$\alpha_a = \frac{a - m_z}{\sigma_z}$; $\alpha_b = \frac{b - m_z}{\sigma_z}$ та після перетворень α_a і α_b отримаємо

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

За залежністю (14) є можливість надати оцінку зміні функціонального параметру трактора в процесі оцінки стійкості його руху на гоні. Основою для цього є експериментальні залежності зміни витоків робочої рідини в гідроагрегатах рульового керування в залежності від напрацювання трактора. Перевірка відповідності емпіричних m_i і теоретичних m'_i частин проводиться за критерієм Пірсона λ . При цьому в якості теоретичного розподілу частот m'_i використовувався нормальний закон. Числові параметри визначені за формулою(14) при різному виборі меж області роботоздатності a і b наведено в таблиці.

Таблиця – Параметри нормального розподілу стабільності напрямку руху на гоні трактора ХТЗ-17221 при агрегуванні з плугом ПЛН-5-35

a	b	P_a	P_b	m_z	σ_z
2	10	0,04	0,028	5,74	2,18
3	9	0,08	0,072	5,36	2,12
4	8	0,16	0,180	5,80	2,10
5	7	0,32	0,360	6,15	2,28

На основі аналізу даних таблиці представляється можливість коригування верхньої межі встановленого допуску витоків для забезпечення роботоздатності гідроприводу рульового керування. В залежності від напрацювання T трактора цей допуск визначається за залежністю

$$\Delta\eta_{ok}^T = \eta_{on} - M(\eta_{ok})_T, \quad (15)$$

де η_{on} , η_{ok} - номінальне значення об'ємного ККД гідроприводу при $T=0$ та поточне значення при $T>0$ – відповідно.

Розрахунки по (15) з урахуванням даних табл.1 показали, що коригування встановленого допуску η_{ok} необхідно проводити через $T = 1054$ мото/години тобто під час проведення ГО-3. У такому випадку верхня межа встановленого допуску повинна бути зменшена на $\Delta\eta_{ok}^T$.

Висновок. Методологія оцінки функціональної стабільності машинно-тракторного агрегату базується на обґрунтованих принципах порівняння поточних і номінальних параметрів стійкості руху трактора у взаємозв'язку із роботоздатністю його елементів.

Список літератури: 1. *Агеев Л.Е.* Основы расчета оптимальных и допускаемых режимов работы машинно-тракторных агрегатов [Текст] / *Л.Е. Агеев.* – Л.: Колос, 1978. – 290с. 2. ГОСТ 4.40. – 84 Тракторы сельскохозяйственные. Номенклатура показателей [Текст] Введ.01.06.2003. – 9с. 3. Прогнозирование надежности тракторов [Текст] / *В.Я. Анилович, А.С. Гринченко, В.Л. Литвиненко, И.Ш. Чернявский* : под общ.ред. В.Я. Аниловича. – М.: Машиностроение, 1986. – 224с. 4. *Бородачев Н.А.* Основные вопросы теории точности производства [Текст] / *Н.А. Бородачев.* – М.: АН СССР, 1969. – 412с. 5. *Сергеев А.Г.* Точность и достоверность диагностики автомобиля [Текст] / *А.Г. Сергеев.* – М.: Транспорт, 1990. – 188с. 6. *Лебедев А.Т.* Гидропневматические приводы тракторных агрегатов [Текст] / *А.Т. Лебедев.* – М.: Машиностроение, 1982. – 184с. 7. Артемов Н.П. О повышении устойчивости прямолинейного движения шарнирно-сочлененного трактора в составе МТА [Текст] / *Н.П. Артемов* // Тракторная энергетика в растениеводстве: Сб. научн. тр. – Х.: ХГТУСХ, 2002. Вып.5 – С.101 – 107. 8. *Щербак О.В.* Розрахунок змін тиску в гідроприводі рульового керування шарнірно-з'єднаного трактора під час роботи у складі МТА [Текст] / *О.В. Щербак, М.П. Артьомов* // Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХДТУСГ. – Х.: ХДТУСГ, 2004. – Випуск 59. – С.57 – 62.

Надійшла в редколегію 12.05.2013

УДК 629.113.004.4

Методологія оцінки функціональної стабільності машинно-тракторного агрегату за критерієм стійкості руху / М. П. Артьомов // Вісник НТУ «ХП». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – № 29 (1002). – С. 58–64. – Бібліогр.: 8 назв.

Обоснована методологія оцінки функціональної стабільності машинно-тракторних агрегатів на основі порівняння поточних і номінальних параметрів стійкості руху трактора у взаємозв'язку з його елементів.

Ключевые слова: функціональна стабільність, методологія, рульове управління, параметри, стійкість руху.

The assessing methodology of machine-tractor units functional stability by comparing the current and nominal parameters stability of the tractor in connection to the efficiency of its elements is substantiated of the article.

Keywords: functional stability, methodology, steering, parameters, stability movement.