



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  $\Delta x$  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 змінюються 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

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

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.

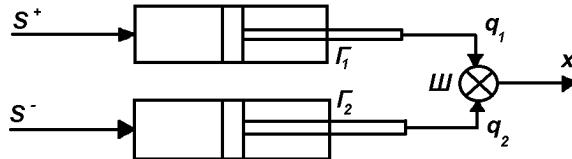


Рисунок 1 – Схема порівняння керуючих сигналів рульового керування колісного трактора:  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$  - гідроцилінди керування, Ш - шарнір рами трактора

Сигнал порівняння на шарнірі рульового керування визначається за залежністю

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

Наведена залежність має два невідомих 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  $\Delta x_e$  - 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 агрегатуванні 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 ( $\eta_{ob}$ ) гідроциліндрів керування, який визначається витоками робочої рідини через запірні клапани та ущільнення гідроциліндрів [6].

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

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

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

Якщо характеристики умов контролю вибрані таким чином, що  $\eta_{ok} = \eta_{on}$ , тоді  $\Delta x_y = 0$ . У такому разі легко виконуються необхідні умови контролю  $m_{gk} = m_{gn}$ , при яких мінімізується складова, що впливає на похибку (8). Для випадку  $\eta_{ok} = m \eta_{on}$  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  $\Delta_y$ , яка враховує неідентичність умов контролю і нормальних умов роботи тракторного агрегату. Поправка  $\Delta_y$  може вводитися для заздалегідь відомих невипадкових умов контролю, наприклад, при певному напрацюванні трактора, виявленні несправності рульового керування та ін. У цьому випадку введенням поправки  $\Delta_y = -\Delta x_y = x(\eta_{on}) - x(\eta_{ok})$  встановленням значення параметру  $x_k = x(\eta_{on}) + \Delta_y$  забезпечується отримання значень параметру в реальних умовах експлуатації, що дорівнює необхідному значенню  $x(\eta_{on})$ .

Для орного агрегату на базі колісного трактора серії ХТЗ-170 зберігається функціональна стабільність по стійкості руху на гоні при  $\eta_{ok} \geq 0,8$ . 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

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

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  $\sigma_z$ . Підстановка розподілу (12) в (10) приводить до системи рівнянь

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



**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. Анілович, А.С. Гринченко, В.Л. Литвиненко, И.Ш. Чернявский : под общ.ред. В.Я. Аніловича. – 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 «ХПІ». Серія: Автомобіль- та тракторобудування, 2013. – № 29 (1002). – С. 58–64. – Бібліогр.: 8 назв.

Обоснована методология оценки функциональной стабильности машинно-тракторных агрегатов на основе сравнения текущих и номинальных параметров устойчивости движения трактора во взаимосвязи с работоспособностью его элементов.

**Ключевые слова:** функциональная стабильность, методология, рулевое управление, параметры, устойчивость движения.

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.