

УДК 631.3.05

А.Т. Лебедєв<sup>1</sup>, І.А. Лебедєва<sup>2</sup>, І.В. Колеснік<sup>1</sup><sup>1</sup> Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Харків<sup>2</sup> Харківська філія УкрНДІПВТ імені Л. Погорілого, Харків

## ВИРОГІДНІСТЬ КОНТРОЛЮ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТОЧНОСТІ І ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ ТРАКТОРА

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

**Ключові слова:** трактор, рульове керування, функціональна точність, працездатність.

### Вступ

Підтримка технічного стану тракторів у працездатному стані в значній мірі встановлює успіх виробничої діяльності сільськогосподарського підприємства будь-якої форми власності. Вирішення даної проблеми актуально для України, енергозабезпеченість господарств якої тракторними потужностями (потужність тракторних двигунів на 100 Га орних земель) в 3...5 разів нижче передових країн.

**Аналіз джерел інформації.** Проблема функціональної точності рульового керування трактора розв'язується шляхом оцінки відхилень (похибок) функціональних параметрів від їх розрахункових (номінальних) значень, що виникають під впливом різних дестабілізуючих факторів. До функціональних параметрів рульового керування з сервоприводом тракторів у відповідності з ДСТУ ISO 10998:2008 [1] віднесені керованість і стійкість руху. При контролі керованості оцінюється властивість трактора реагувати на дію оператора, спрямовану на збереження або зміну напрямку руху; стійкості руху – збереження заданого напрямку руху.

Взаємозв'язок функціональної точності і працездатності, коли значення ваги функціональних тракторів відповідає вимогам нормативної документації, висвітлено в роботах по ефективному використанню машино-тракторних агрегатів [2, 3]. Одночасно в ряді інших робіт [4, 5] звертається увага на необхідність спрямувати дослідження в напрямку підвищення достовірності контролю технічного стану піддослідних об'єктів. Рішення даних питань спрямовано на реалізацію ДСТУ ISO 9001:2009 [6].

**Мета та постановка задачі.** Постановка проблеми. Відомі методи оцінки керованості та стійкості руху трактора [7, 8] не дозволяють з необхідною точністю прогнозувати працездатність елементів трактора, зокрема рульових систем керування. Це призводить до функціональній жорсткості тракторів при виконанні технологічного процесу і зниженню безпеки руху на транспортних роботах.

Назріла необхідність вирішення проблеми по обґрунтуванню методології контролю функціональної точності та працездатності рульових систем управління трактора.

### Основна частина

Приймаючи за функціональну точність рульового керування як складної системи здатність виконувати задані функції з певним ступенем наближення до ідеальної моделі, функціональна похибка рульового керування при  $x$  і  $x_H$  поточних та номінальних значеннях функціональних параметрів оцінюється по залежності:

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

Вірогідність контролю функціональної точності і працездатності рульового керування можна оцінити за залежністю:

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

де  $P_1$  і  $P_2$  – імовірності помилок першого (пропуск відмови) і другого (помилкова відмова) роду.

Імовірності помилок  $P_1$  і  $P_2$  залежать від законів розподілу значень контрольованих функціональних параметрів і похибок вимірів, часу вимірювального процесу і характеристики поля допуску на величину вимірюваного параметра.

Рульове керування як об'єкт контролю буде працездатним, тобто годним ( $\Gamma$ ) до подальшої експлуатації, коли результат вимірювання задовольняє умові:

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

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 виміру.

При невиконанні умови (3) робиться висновок про непридатність ( $\bar{\Gamma}$ ) рульового керування до подальшої експлуатації.

Для ймовірностей подій  $\Gamma$  і  $\bar{\Gamma}$  виконується рівність  $P_\Gamma + P_{\bar{\Gamma}} = 1$ .

При контролі функціональних параметрів рульового керування їх значення дорівнює:

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

де  $\Delta x_n$  – відхилення параметра від його значення, обумовлене похибками вимірів.

Рульове керування при контролі буде справне, коли кожний з його функціональних параметрів находитися в області працездатності (а, в):

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

Про стан рульового керування до проведення контролю можуть бути висловлені дві взаємовиключні гіпотези: рульове керування справне (С), коли виконується умова (5); рульове керування несправне ( $\bar{C}$ ) при невиконанні умови (5). Сума ймовірностей даних подій  $P_C + P_{\bar{C}} = 1$ .

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

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

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

Вірні висновки робляться у наступних ситуаціях:

$y \in (c, d), x \in (a, b)$  – вірний висновок «рульове керування годне» (С /  $\Gamma$ );

$y \in (c, d), x \notin (a, b)$  – вірний висновок «рульове керування негодне» ( $\bar{C} / \bar{\Gamma}$ ).

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

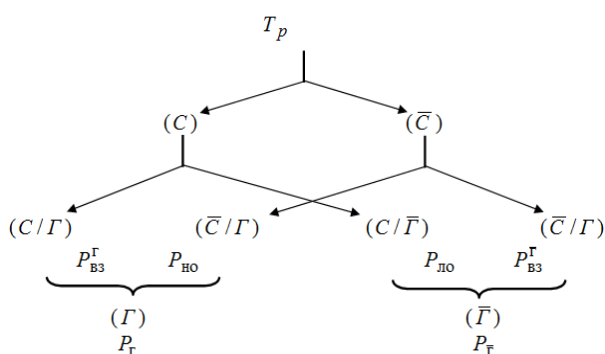


Рис. 1. Схема формування і оцінки вірогідності результатів контролю рульового керування ( $T_p$ )

$$P_{No} + P_{Lo} + P_{V3}^\Gamma + P_{V3}^{\bar{\Gamma}} = 1, \quad (6)$$

де  $P_{No}, P_{Lo}, P_{V3}^\Gamma, P_{V3}^{\bar{\Gamma}}$  – ймовірності відповідно несправних рульових керувань, наявність серед справних рульових керувань невірно забракованих; вірно

визнаних годними і негодними до подальшої експлуатації.

З цієї схеми виявляється, що:

$$P_{No} = P_\Gamma - P_{V3}^\Gamma = P_{\bar{C}} - P_{V3}^{\bar{\Gamma}} = 1;$$

$$P_{Lo} = P_C - P_{V3}^\Gamma = P_{\bar{\Gamma}} - P_{V3}^{\bar{\Gamma}}. \quad (7)$$

Подія, що полягає в тому, що серед визнаних годними рульовими керуваннями є несправні елементи, оцінюється умовною ймовірністю невиявленої відмови:

$$P_{No} = \frac{P_{No}}{P_\Gamma} = 1 - \frac{P_{V3}^\Gamma}{P_\Gamma}. \quad (8)$$

Наприклад, при оцінці придатності рульового керування до подальшої експлуатації по керованості можлива невиявлена відмова по граничному зносу запобіжного клапана об'ємного насоса, засміченні підсилювача потоку і т.д.

Помилкова відмова оцінюється умовною ймовірністю того, що серед справних рульових керувань є невірно забраковані елементи

$$P_{Lo} = \frac{P_{Lo}}{P_C} = 1 - \frac{P_{V3}^\Gamma}{P_C}. \quad (9)$$

Наприклад, при зниженні об'ємного ККД гідроприводу рульового керування помилково був замінений об'ємний насос, хоча причина даної відмови можлива через підвищений знос золотника насоса-дозатора.

Використовуючи основні положення теорії ймовірностей [9], запишемо:

$$P_{No} = 1 - P_{V3}^\Gamma \times \left[ \int_{-\infty}^{\infty} \int_{c-x_k}^{d-x_k} w_k(x_k) q(\Delta x_n) d\Delta x_n dx_k \right]^{-1}; \quad (10)$$

$$P_{Lo} = 1 - P_{V3}^{\bar{\Gamma}} \times \left[ \int_{-\infty}^{\infty} \int_a^b w_k(x_k) q_n(x - x_n) dx dx_k \right]^{-1}, \quad (11)$$

де  $w_k(x_k)$  – щільність ймовірності значень параметра рульового керування перед контролем;

$q_n(x - x_k)$  – щільність ймовірності похибки  $\Delta x_n$ , обумовлена методами розрахунку точності;

$$P_{V3}^\Gamma = \int_{-\infty}^{\infty} \int_a^b \int_{c-x_k}^{d-x_k} w_k(x_k) q(\Delta x_n) q_n(x - x_k) d\Delta x_n dx dx_k;$$

$w_k(x) = \int_{-\infty}^{\infty} w_k(x_k) q_n(x - x_k) dx_k$  – апіорна щільність ймовірностей значень параметра (4) перед початком контролю рульового керування.

Основним елементом вірогідності контролю відновлюваних при техобслуговуванні, ремонті рульових керувань є ймовірність невиявлених відмов (помилка першого роду)

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

де  $w_{\Sigma}(x)$  – щільність ймовірності значень функціонального параметра рульового керування, визнаного годним в результаті контролю і відновлення.

Зокрема при відновленні рульового керування 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, визначені по (10) і (11).

При технічному обслуговуванні рульового керування, коли усуваються відмови, наприклад, шля-

хом регулювань елементів, маємо:

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

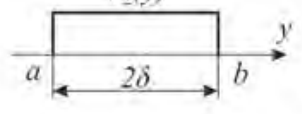
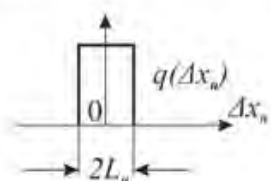
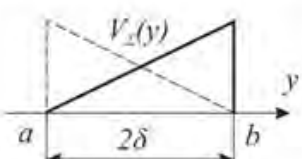
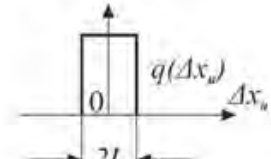
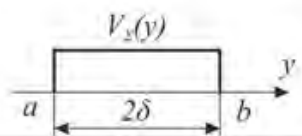
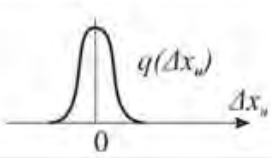
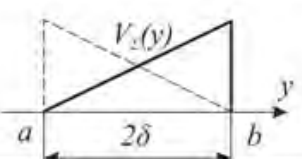
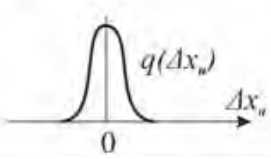
де  $V_{\Sigma}(a), V_{\Sigma}(b)$  – щільності ймовірності оцінок контрольованого параметра  $y$  в області працездатності  $(a - b)$ ;

$q(\Delta x_{\text{и}})$  – щільність симетрії.

В умовах експлуатації рульового керування розподіл  $V_{\Sigma}(a) \leq V_{\Sigma}(y) \leq V_{\Sigma}(b)$  є практично рівномірно мінливим або рівномірним, ймовірності які наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Ймовірності вірогідності контролю рульового керування  $P_{\text{но}}$  при різних законах розподілу контрольованого параметра  $V_{\Sigma}(p)$  і похибки виміру  $q(\Delta x_{\text{и}})$

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

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

Вірогідність контролю функціональної точності і працездатності рульового керування надає істотне значення на ефективність їх використання. Низька вірогідність контролю, що характеризує ступінь об'єктивності оцінки реального стану рульового керування може привести до помилок I роду (пропуск відмови) і II роду (помилкова відмова) [5]. Помилки I роду приводять до невиправданих робіт для усунення відмови, II роду – до матеріальних втрат на

заміну придатних до експлуатації елементів рульового керування.

Наприклад, для усунення вібрації і пульсації гідрооб'ємного рульового керування виконані роботи по підтяжці всіх з'єднань трубопроводів, замінена робоча рідина, але несправність не усунена. Справжня причина відмови: резонансні явища запобіжного клапана об'ємного насоса, для усунення якої необхідна його регулювання.

Це типова помилка I роду. До помилки II роду можна віднести заміну насоса-дозатора при втраті руху, мимовільному складанні напівтрактора думуючи, що дані несправності є наслідком зносу гідророз-

подільника, протиударного або противакуумного клапанів. Це помилкова відмова (помилка II роду), так як дана відмова є наслідком втрати герметичності гідропідциліндрів рульового керування (табл. 2)/

Таблиця 2

Вірогідність контролю  
гідрооб'ємного рульового керування за функціональними параметрами

Контрольований параметр, Д	Ймовірність помилки	
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>
Керованість:		
– тиск робочої рідини	0,030	0,015
– ковзання рульового колеса	0,006	0,004
– упор рульового колеса у крайніх положеннях	0,012	0,006
– герметичність гідроклапанів насоса-дозатора	0,016	0,008
Стійкість руху:		
– стабільність некерованого руху	0,014	0,007
– частота впливів на рульове колесо	0,003	0,002

Підсумовування P<sub>1</sub> і P<sub>2</sub> показує, що для гарантування заданої вірогідності контролю (85%) гідрооб'ємного рульового керування трактора похибки контролю технічного стану його агрегатів і вузлів за функціональними параметрами не повинні проявлятися з імовірністю більш ніж P – 0,005 (частота впливу на рульове колесо) і P – 0,045 (тиск робочої рідини).

### ВИСНОВОК

Запропонована методологія контролю функціональної точності і працездатності гідрооб'ємного рульового керування трактора дозволяє із заданою вірогідністю обґрунтувати технологію пошуку несправностей і відмов.

### Список літератури

1. ДСТУ ISO 10998:2008. Трактори сільськогосподарські колісні. Вимоги до рульового керування (ISO 10998:1995, IDT) – Київ: Держспоживстандарт України, 2008. – 20 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 [Текст] / 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. Тракторы – Теория / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др.; Под общ. ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.
8. Коновалов В.Ф. Устойчивость и управляемость машинно-тракторных агрегатов / В.Ф. Коновалов. – Пермь: Пермское книжное издательство, 1969. – 440 с.
9. Венцель Е.С. Теория вероятностей [Текст] / Е.С. Венцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

Надійшла до редколегії 6.05.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М.А. Подригало, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків.

### ВЕРОЯТНОСТЬ КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАКТОРА

А.Т. Лебедев, И.А. Лебедева, И.В. Колесник

На основе достоверности контроля функциональной точности и работоспособности рулевого управления трактора обоснованные вероятности пригодности его к эксплуатации.

**Ключевые слова:** трактор, рулевое управление, функциональная точность, работоспособность.

### FIDELITY OF THE CONTROL OF FUNCTIONAL PRECISION OF THE TRACTOR STEERING SYSTEM

A.T. Lebedev, I.A. Lebedeva, I.V. Kolesnyk

Based on the functional reliability of control accuracy and efficiency of steering of tractor well-founded likelihood of its suitability for further use.

**Keywords:** tractor, steering, functional accuracy and efficiency.