

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАНЬ ГІДРООБ'ЄМНОГО РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ ТРАКТОРІВ

Коробко А., канд. техн. наук, доц., провідний науковий співробітник,
e-mail: ak82andrey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>,
Харківська філія УкрНДІПВТ імені Леоніда Погорілого,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація

Мета дослідження. Метою дослідження є підвищення рівня технічної готовності тракторів за показниками технічного стану рульового керування за рахунок удосконалення процесу його діагностування. Для досягнення поставленої мети необхідно обґрунтувати оціночні показники та розробити метод випробувань гідрооб'ємного рульового керування тракторів із застосуванням методу парціальних прискорень.

Методи дослідження. Методологічною основою роботи є використання методу парціальних прискорень. Цей метод засновано на переході від векторної суми сил у просторі до векторної суми прискорень у просторі. Це дає змогу зберегти фізичну суть отриманого векторного рівняння, що описує рух динамічної системи. Метод парціальних прискорень, на відміну від класичних методів, передбачає приведення рівнянь динаміки до рівнянь кінематики (принцип кінемодинаміки). Саме на цьому принципі й базуються подальші дослідження.

Результати дослідження. Розроблено метод випробувань гідрооб'ємного рульового керування тракторів із застосуванням методу парціальних прискорень. В якості діагностичного показника запропоновано час повороту коліс трактора з крайнього в крайнє положення. Встановлено, що тривалість повороту коліс трактора з крайнього в крайнє положення буде корелюватися певним чином із прискореннями, що виникають при цьому, передньої і задньої напіврам такого трактора. Прискорення повороту задньої напіврами є більш вираженими порівняно з прискореннями передньої напіврами. Це пояснюється різними значеннями показника їхніх мас. Вимірювання показника є можливим з використанням методу парціальних прискорень із використанням вимірювальних комплексів на основі акселерометрів.

Висновок. Реалізація розроблених за запропонованою методикою методів оцінки якості агрегатів і вузлів рульового керування трактора дозволить під час випробувань і в експлуатації прискорено оцінити їхню відповідність технічним умовам та умовам безпеки руху. Застосування методу парціальних прискорень дає змогу (без наявності спеціального майданчика для ходових випробувань) зробити висновок про технічний стан елементів і вузлів гідрооб'ємного рульового керування трактора. Діагностичними показниками запропоновано подовжню складову прискорення, що виникає при повороті направляючих коліс. Трудомісткість випробувань за цим методом у порівнянні з відомими знижується у 3,28 рази, також знижується витрата робочої рідини на 2,7 кг, оскільки усувається операція демонтажу агрегатів.

Ключові слова: трактор, гідрооб'ємне рульове керування, випробування, час повороту, показник стану, метод.

Вступ. Рульове керування — одна з найважливіших складових частин трактора. Технічний стан рульового керування суттєво впливає на безпеку дорожнього руху, а також на безпеку та якість виконання польових механізованих робіт. Окрім того, рульове керування є основним споживачем м'язової енергії оператора, тому значною мірою впливає на його стомлюваність, здоров'я і здатність правильно виконувати задані функції протягом усього робочого часу [ДСТУ, 2013; Szczypinski-Sala & Dobaj, 2016; Zardin et al., 2018].

Зараз до показників технічного стану механізмів керування тракторами відносяться такі [Водяник, 1994; Лебедев, 2004]:

- вільний хід рульового колеса і зусилля на ньому;
- збіжність напрямних коліс.
- тиск відкриття запобіжного клапана в системі гідропідсилювача;
- продуктивність насоса;
- герметичність пневмо- і гідросистеми.

Вільний хід рульового колеса і зусилля на ньому є такими показниками, за якими ухвалюються рішення про допуск техніки до експлуатації у ході контрольних або інспекційних перевірок.

Відповідно до існуючих вимог із безпеки праці, вільний хід рульового колеса за умови працюючого двигуна не повинен перевищувати 25 град [ДСТУ, 2013]. Однак, згідно зі статистичними даними, у сільськогосподарських підприємствах 50-60 % тракторів експлуатуються з вільним ходом рульового колеса, що перевищує допустиме значення цього параметра. Однією з причин такої ситуації є відсутність доступних за вартістю і зручних в експлуатації приладів для діагностування рульового керування, що зумовлює необхідність їхнього вдосконалення.

Останнім часом вітчизняною промисловістю створено понад 10 моделей приладів для вимірювання вільного ходу рульового колеса. У процесі їхнього вдосконалення абсолютна похибка вимірювання залишилася на одному й тому ж рівні ± 1 град., габаритні розміри збіль-

шилися у 10 разів, маса — в 5 разів, вартість — у 4,3 рази, а трудомісткість вимірювання параметра — у 2,3 рази [Хабардин, 2012]. Електронні прилади не знаходять свого застосування в господарствах. Найпоширенішими приладами для вимірювання сумарного люфту рульового колеса є люфтомір-динамометр «ЛД-101» і вимірювач сумарного люфту рульового керування автотранспортних засобів «ИСЛ-М», які також можна застосовувати у випробуваннях тракторів. Однак, не дивлячись на переваги цих приладів, вони мають один суттєвий недолік: вільний хід рульового колеса є інтегральним показником, а за результатами його вимірювання неможливо зробити висновок про технічний стан окремих вузлів рульового керування. Тому питання розробки показників технічного стану рульового керування з можливістю оцінювання технічного стану його окремих вузлів, критеріїв і засобів проведення випробувань є актуальним.

Постановка завдань. Практика ставить перед наукою необхідність вирішення проблеми розробки методів випробувань систем тракторів, у тому числі рульового керування, що дасть змогу (з мінімальними затратами праці) визначити їхній технічний стан і дати рекомендації щодо їхнього подальшого дослідження.

Метою дослідження є підвищення рівня технічної готовності тракторів за показниками технічного стану рульового керування за рахунок удосконалення процесу його діагностування. Для досягнення поставленої мети необхідно обґрунтувати оціночні показники та розробити метод випробувань гідрооб'ємного рульового керування тракторів із застосуванням методу парціальних прискорень.

Методи і матеріали. Методологічною основою роботи є метод парціальних прискорень [Артемов, 2012]. Цей метод засновано на переході від векторної суми сил у просторі до векторної суми прискорень у просторі. Це дає змогу зберегти фізичну суть отриманого векторного рівняння, що описує рух динамічної системи. Метод парціальних прискорень, на

відміну від класичних методів, передбачає приведення рівнянь динаміки до рівнянь кінематики (принцип кінемодинаміки). Саме на цьому принципі й базуються подальші дослідження.

Натурні випробування проводилися на тракторі тягового класу 3 з шарнірно-зчленованою рамою. Вимірювальним устаткуванням був реєстраційно-вимірювальний комплекс, що складався з лінійних акселерометрів і спеціального програмного забезпечення [Подригало та ін., 2012]. Згідно з програмою досліджень установлено, що достатньо використання одного акселерометра, закріпленого на задній напіврамі з лівого боку. Вибрана задня напіврама, оскільки вібрація від двигуна і, як наслідок, підвищена складова методичної похибки, необхідність використання додаткових фільтрів на передній напіврамі істотно впливає на результат вимірювання, а прискорення, що виникає під час повороту задньої напіврамы, більш виражене, порівняно з прискореннями передньої напіврамы. Також експериментально встановлено, що характер процесу зміни лінійних прискорень при русі трактора і на нерухомому тракторі аналогічний. Тому експериментальні дослідження проводилися на нерухомому тракторі, заздалегідь регламентуючи дорожнє покриття – сухий чистий асфальтобетон. Грунтове покриття не підходить через його здатність до деформування.

Нормування показників якості технічного стану гідрооб'ємного рульового керування розглянуто на прикладі залежності часу повороту коліс трактора з крайнього в крайнє положення від об'ємного коефіцієнту корисної дії рульового керування. Нормування здійснено експериментально-аналітичним методом за таким алгоритмом [Коробко, 2017]:

- визначення характеру протікання процесу (попередня серія вимірювань);
- встановлення обсягу основної серії вимірювань;
- основна серія вимірювань за номінального тиску в гідравлічній системі рульового керування;

- основні серії вимірювань за зниженого тиску в гідравлічній системі рульового керування (досягається шляхом регулювань елементів рульового приводу);

- встановлення допуску на контрольований параметр.

Статистична обробка даних здійснювалась за методами класичної теорії статистики.

Результати. Стійкість руху трактора під час виконання технологічного процесу є основним показником його якості. При цьому знос елементів рульового керування, їхні несправності призводять до зниження якості виконання технологічного процесу внаслідок зниження стійкості його руху [Лебедев, 2004; Лебедев та ін., 2015]. Значною мірою зниження стійкості руху трактора проявляється на орних роботах внаслідок асиметричності прикладання сили опору плуга, нерівномірності розподілу сили тяги між колесами [Лебедев, 2000; Лебедев, 2003; Лебедев, 2021], що призводить до самовільного відводу орного агрегата від прямолінійного руху (рис. 1). Функціональними параметрами стану рульового керування обрані такі: керованість трактора, стійкість прямолінійного руху і повороту, час повороту з одного крайнього положення в інше, зусилля на рульовому колесі при повороті.

Аналізуючи основні причини порушення технічного стану рульового керування трактора [Лебедев та ін., 2015], можна дійти таких висновків:

- найбільшу вагову ознаку діагностичну стану рульового керування має керованість трактора через порушення регулювань і зниження тиску рідини в гідроприводі нижче значень, передбачених технічними умовами;

- майже аналогічну вагову ознаку діагностичного стану має час повороту коліс трактора з крайнього в крайнє положення, що обумовлений найбільшою мірою порушенням регулювань, засміченням гідроприводу й іншими несправностями, до яких віднесені механічні пошкодження, підтікання робочої рідини, викид рідини та піни крізь сапун бака, тощо.



Рисунок 1 – Відведення трактора «ХТЗ-17221» на орних роботах від прямолінійного руху без впливу тракториста на рульове колесо

Із проведеного аналізу можна зробити висновок, що час повороту коліс трактора з крайнього в крайнє положення можна обрати діагностичним показником. Окрім того, осмисливши суть процесу повороту трактора з шарнірно-складеною рамою, можна дійти висновку, що тривалість повороту коліс трактора з крайнього в крайнє положення буде корелюватися певним чином із прискореннями, що виникають при цьому, передньої і задньої напіврам такого трактора. Прискорення повороту задньої напіврами є більш вираженими порівняно з прискореннями передньої напіврами. Це пояснюється різними значеннями показника їхніх мас.

Тому перехідний процес прискорення повороту трактора на місці можна віднести до монотонного перехідного процесу, за якістю якого оцінюється його технічний стан. Виміряти показники такого процесу можна методом парціальних прискорень із використанням вимірювальних комплексів на основі акселерометрів. До прикладу, може застосовуватися вимірювальний комплекс [Лебедев та ін., 2018; Коробко та ін., 2019] або аналогічні.

Окрім цього, в роботі [Лебедев та ін., 2015] на основі експериментальних досліджень показано, що найбільшу ймовірність виникнення має несправність

— зниження тиску рідини. Визначальним параметром стану гідрооб'ємного рульового керування трактора, що відображає найбільшою мірою його якість, є коефіцієнт об'ємної подачі. Метод парціальних прискорень дає змогу поєднати діагностичні показники (час повороту коліс із крайнього в крайнє положення та прискорення, що при цьому виникають) з визначальним параметром стану рульового керування (коефіцієнт об'ємної подачі).

Діагностичними (кваліметричними) показниками, що визначаються, вибрані такі параметри: час здійснення циклу повороту напрямних коліс, амплітуда прискорень, які виникають, площа під кривою прискорень. Математична модель (узагальнена) методу випробувань

$$\left\{ \begin{array}{l} f(\bar{t}; a_{\max \min}; S_a) \\ S_a = \int_t a dt \\ \Delta_t \\ \Delta_a \end{array} \right., \quad (1)$$

де $\bar{t}$ – середній час повороту напрямних коліс, с;

$a_{\max \min}$ – максимальне і мінімальне значення прискорення, м/с²;

S_a – площа під кривою прискорень, м²;

Δ_t , Δ_a - абсолютна похибка вимірювання відповідно часу і прискорення.

У загальному випадку метод випробувань передбачає таке:

- встановити направляючі колеса в крайнє ліве положення;

- ввімкнути вимірювальний комплекс;

- за допомогою рульового колеса зробити повні повороти напрямних коліс трактора послідовно з крайнього лівого положення у крайнє праве відповідно до прийнятої кількості циклів у попередній серії вимірювань;

- зафіксувати результат.

- за графіком визначити об'ємний коефіцієнт корисної дії гідрооб'ємного рульового керування.

Місце встановлення акселерометра показано на рис. 2.

Під час моделювання несправностей установлено, що у випадку пошкодження гідронасоса (зменшення тиску) збільшується час здійснення повороту коліс. Під час перетікання рідини в гідросистемі змінюється амплітуда прискорень і площа під ними.

Значення коефіцієнту варіації ($v=4,22\%$) у ході проведення тестових впливів на рульове керування свідчить про високу узгодженість результатів вимірювань.

Для визначення об'ємного коефіцієнту корисної дії гідрооб'ємного рульового керування запропоновано експериментально-розрахунковий графік, загальний вид якого показано на рис. 3. Варто зазначити, що для різних класів тракторів вид цього графіка буде неоднаковим. Тому побудову таких графіків слід проводити на етапі дослідницьких ви-

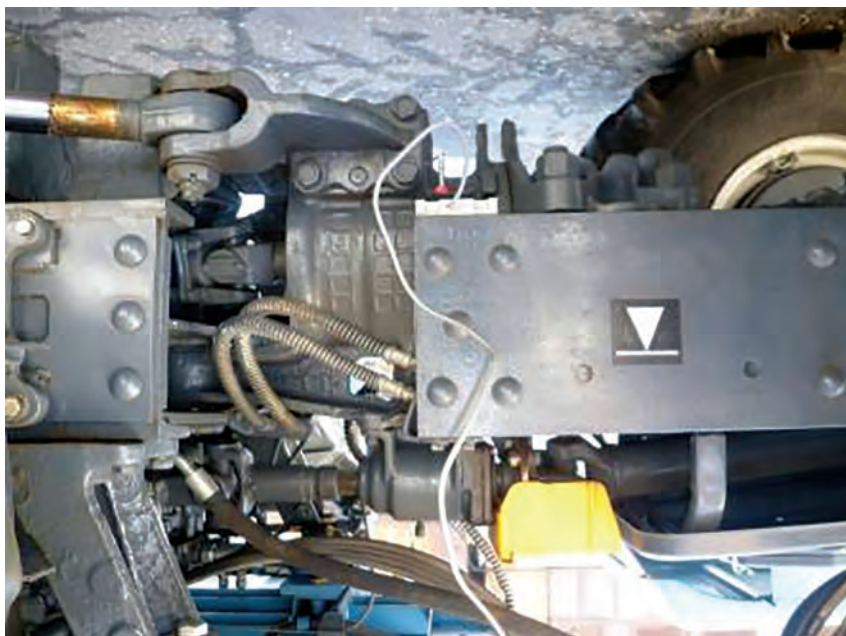


Рисунок 2 – Випробувальне устаткування

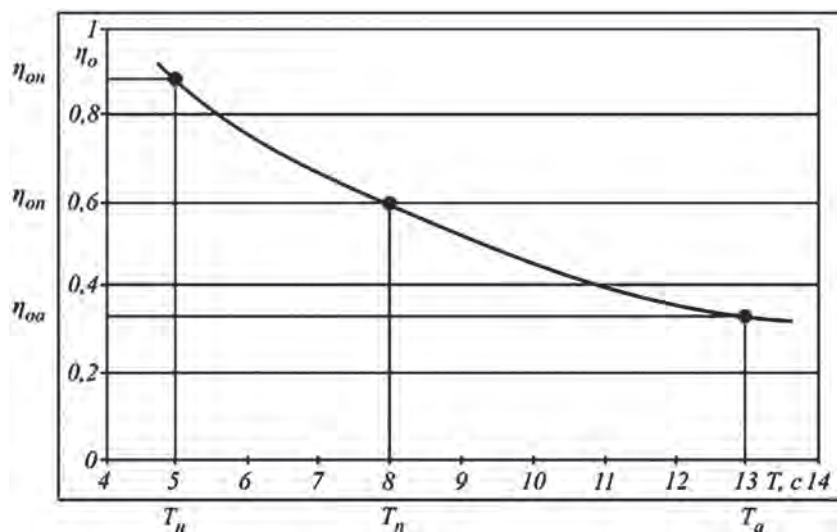


Рисунок 3 – Номограма визначення об'ємного ККД (η_o) гідрооб'ємного рульового керування тракторів серії «ХТЗ-170» від часу повороту на місці (T): T_n , T_n , T_a - час повороту відповідно за номінального η_{on} , гранично-допустимого η_{on} , аварійного η_{oa} (теча у з'єднаннях) стану

значальних випробувань, дані заносити в технічну документацію. Як альтернативу функцію залежності діагностичного показника від технічного стану можна представляти у вигляді таблиці та подавати у настанові з експлуатування трактора.

Статистичні характеристики вибірки попередньої серії вимірювань:

- середньоарифметичне значення часу повороту напрямних коліс нового трактора

$$\bar{T} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N t_n = 4,53 \text{ с}, \quad (2)$$

де T_n час здійснення одного циклу, с;

N - кількість циклів;

- вибіркове середньоквадратичне відхилення часу здійснення одного циклу

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{T})^2}{n-1}} = 0,22, \quad (3)$$

Коефіцієнт варіації, що показує відносне коливання окремих значень близько середнього арифметичного

$$v_x = 100 \left(\frac{\sigma_x}{\bar{x}} \right) = 4,8 \%. \quad (4)$$

Значення коефіцієнту варіації свідчить про високу погодженість у результатах вимірювання.

Об'єм фактичних даних, необхідний для встановлення нормованого значення

показника, залежить від необхідної точності й достовірності встановлення нормативу. Орієнтовно об'єм фактичних даних можна визначити за виразом

$$n_i = \frac{t^2 \sigma_i^2}{\Delta \bar{x}_i^2} \quad (5)$$

де δ_n , $\Delta \bar{x}_i$ - середньоквадратичне відхилення і похибка визначення середнього значення показника у попередній серії вимірювань відповідно.

За довірчої ймовірності $\gamma=0,95$ - $t=2,23$, відносну похибку вимірювання часу приймаємо $\delta=1\%$.

Кількість вимірювань, необхідна для встановлення нормованого значення, $n \geq 51$.

Відтак розраховуються межі допустимого значення параметра, що контролюється за умови нормування середньоарифметичного значення.

Середнє значення контрольованого параметра розраховане за основною вибіркою $\bar{T}_n = 4,53$ с, середньоквадратичне відхилення $\delta_{tn} = 0,17$, коефіцієнт варіації $v_{xn} = 3,8\%$.

Допуск на контрольований параметр

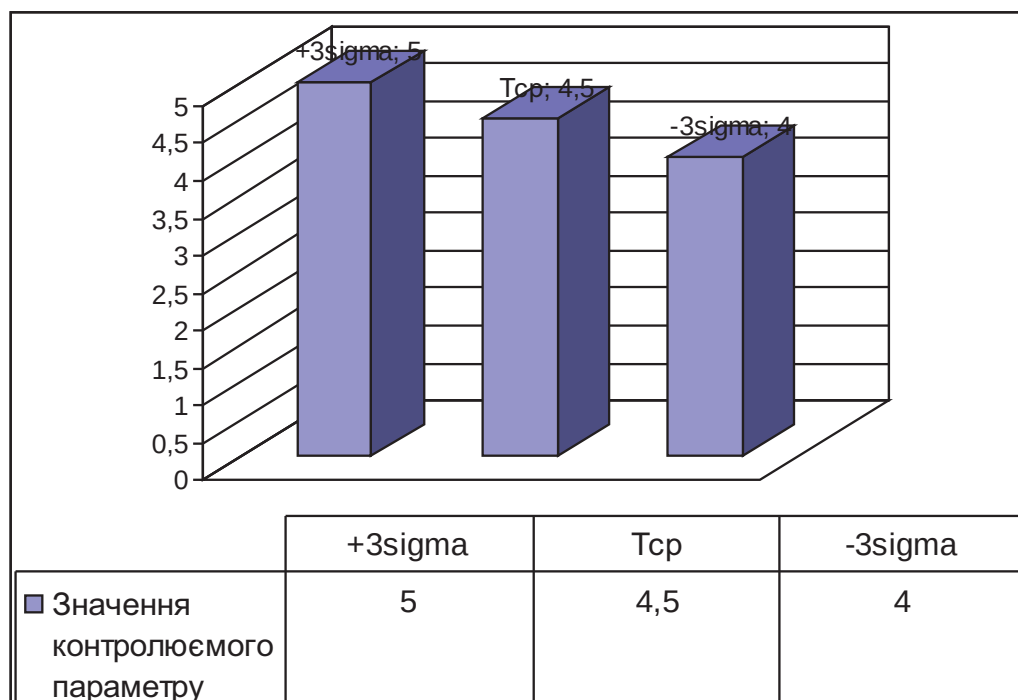


Рисунок 4 - Допуск на контрольований параметр технічного стану гідрооб'ємного рульового керування

установлюємо в межах $\pm 3\delta$ (рис. 4).

Для встановлення залежності об'ємного коефіцієнту корисної дії рульового керування від часу здійснення повороту на місці з крайнього в крайнє положення необхідно попередньо провести експериментальне дослідження з визначення залежності часу повороту від тиску робочої рідини в системі рульового керування та отримати апроксимуючу залежність.

Для цього здійснено вимірювання за розробленою методикою, змінюючи тиск рідини в гідрооб'ємному рульовому керуванні.

На рис. 5 а наведено фрагменти результатів вимірювання прискорення повороту трактора й часу здійснення повороту залежно від значення тиску рідини в гідрооб'ємному рульовому керуванні.

На рис. 5 б показано результат моделювання несправності трактора шляхом зменшення тиску рідини в гідрооб'ємному рульовому керуванні.

Результати експериментальних вимірювань наведено на рис. 6. Вигляд кривої на рис. 6 дає змогу зробити висновок про можливість її апроксимації степеневою функцією виду

$$T = k \cdot e^{b \left(\frac{a_i}{a_{\max}} \right)}, \quad (6)$$

де k , b - постійні коефіцієнти.

Використовуючи метод найменших квадратів, знайдемо

$$T = 33,3 \cdot e^{2,1 \left(\frac{a_i}{a_{\max}} \right)}, \quad (7)$$

де a_i , $a_{\max}$ - прискорення повороту відповідно при реальному й номінальному технічному стані.

Співвідношення $P_i/P_{\max}$, визначає об'ємний ККД гідрооб'ємного рульового керування, тобто $\eta_o = f(T)$ (рис. 6).

Трудомісткість випробувань за цим

методом, порівняно з відомими, знижується у 3,28 рази, також зменшується витрата робочої рідини на 2,7 кг, оскільки усувається операція демонтажу агрегатів.

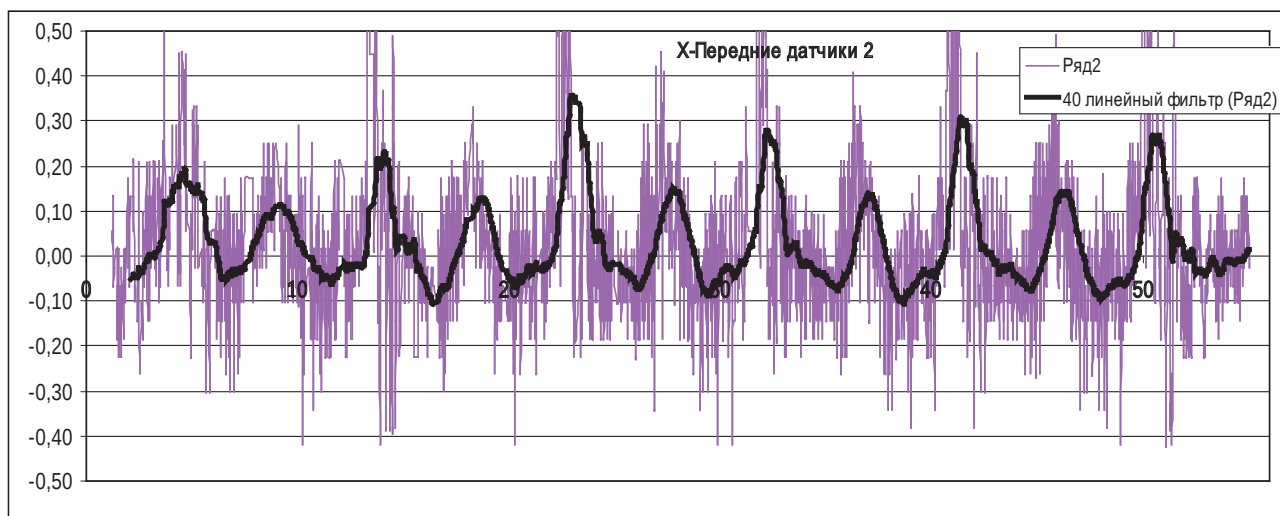
Обговорення. Результати досліджень спрямовані, в основному, на вирішення наукової проблеми підвищення точності й адекватності результатів випробувань за одночасного зниження працеватрат на їхнє проведення.

Закордонні вчені акцентують увагу на застосування вібраційних методів до діагностики елементів рульового керування [Mollazade et al., 2009; Gong et al., 2022]. Однак, як зазначають автори, це складне завдання, а енергетичний метод є ефективним методом діагностування несправностей гідронасосів з зовнішнім зачепленням.

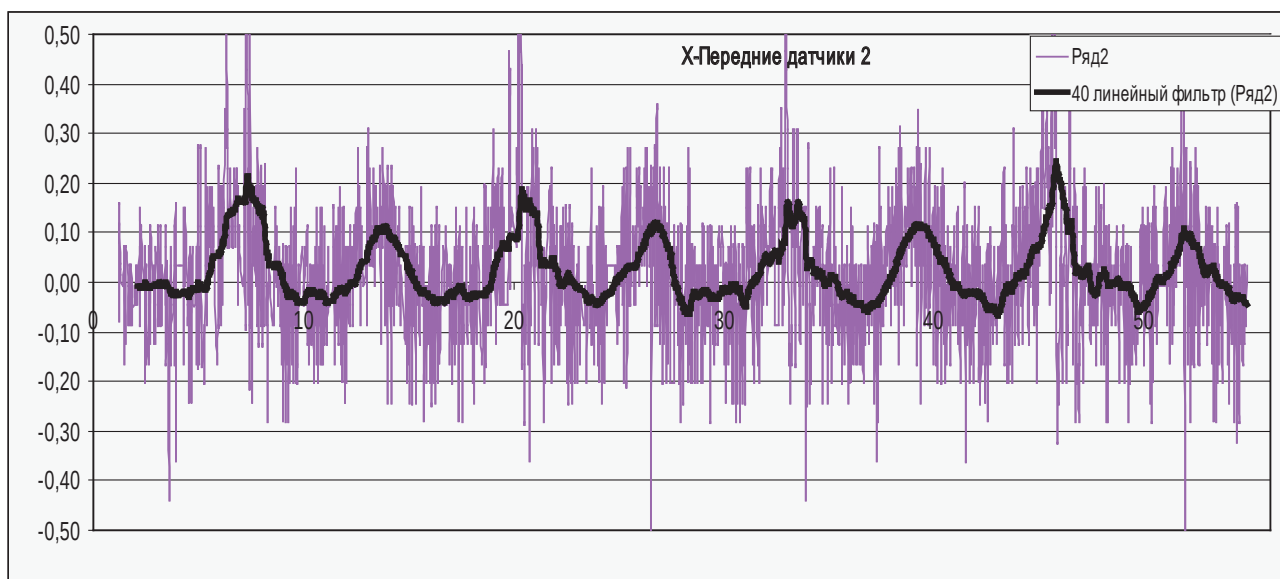
У роботі [Liljenberg et al., 2019] показано, як високошвидкісні випробувальні треки разом із кермовими роботами та використання нової біометрії може бути використано для покращення процесу оцінки кермування сільськогосподарських тракторів. Кермовий робот забезпечує повторюваність результатів випробувань та усуває варіації. Також застосовуються і стаціонарні стенди для випробувань рульового керування [Du Juan et al., 2019]. Проте, як зазначалось у вступі цієї статті, використання кермувальних роботів і стаціонарних випробувальних стендів недоступне пересічним користувачам тракторів.

У роботі [Колесник, 2018] на основі отриманої аналітичної моделі повороту трактора на транспортних роботах визначено узагальнюючий діагностичний параметр технічного стану рульового керування трактору – передавальну функцію кутових прискорень рульового й керованого коліс або напіврам, яка дозволяє оцінити його функціонування без втручання в конструкцію або припинення транспортного процесу.

Дубінін Є. О. разом із колективом авторів [Дубінін та ін., 2020] запропонували вдосконалений метод діагностування рульового управління шарнірно-зчленованої колісної машини, що істотно впливає



а) справний трактор



б) за імітації несправності (зменшення тиску)

Рисунок 5 – Фрагменти результатів вимірювання прискорення повороту трактора й часу здійснення повороту залежно від значення тиску рідини в гідрооб'ємному рульовому керуванні

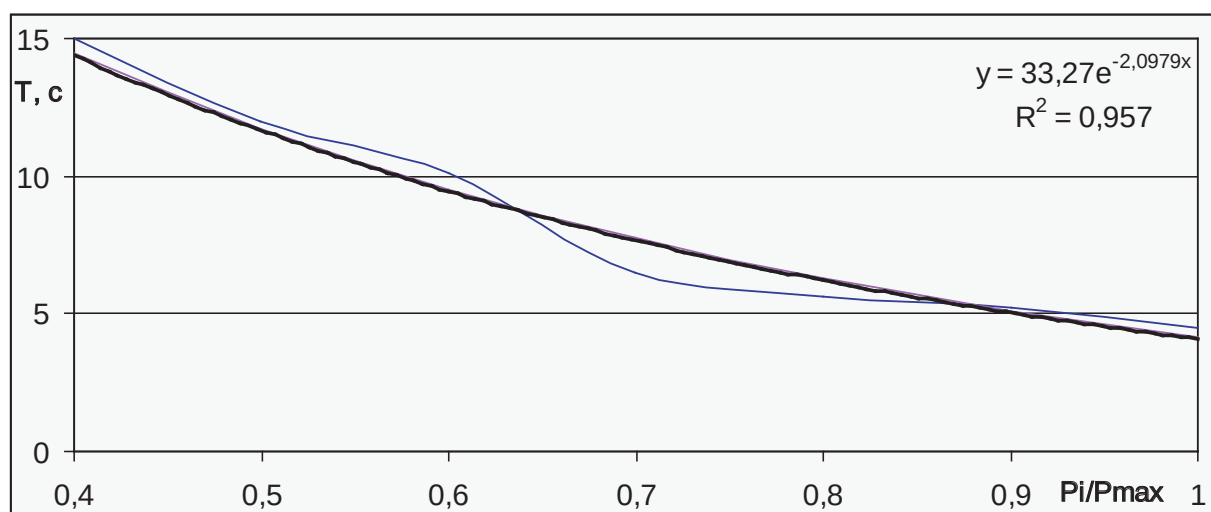


Рисунок 6 – Залежність часу повороту T трактора на місці від тиску P_i/P_{max} робочої рідини:
1 - теоретичний розрахунок; 2 - усереднені експериментальні дані

на безпеку її використання, на основі використання кутових прискорень секцій у площині дороги як діагностичного параметра. Згідно з запропонованим підходом, розроблено програму-методику діагностування працездатності рульового управління на прикладі шарнірно-зчленованих колісних тракторів. Однак діагностування за показником кутових прискорень супроводжується підвищеною похибкою, оскільки використовуються рівняння непрямих вимірювань.

Висновки. Реалізація розроблених за запропонованою методикою методів оцінки якості агрегатів і вузлів рульового керування трактора дозволить під час випробувань і в експлуатації прискорено оцінити їхню відповідність технічним умовам та умовам безпеки руху.

Застосування методу парціальних прискорень дає змогу (без наявності спеціального майданчика для ходових випробувань) зробити висновок про технічний стан елементів і вузлів гідрооб'ємного рульового керування трактора. Діагностичними показниками визначено подовжню складову прискорення, що виникає при повороті направляючих коліс. Трудомісткість випробувань за цим методом, порівняно з відомими, знижується у 3,28 рази, також знижується витрата робочої рідини на 2,7 кг, оскільки усувається операція демонтажу агрегатів.

Наукова цінність отриманих результатів полягає у розробленому методі встановлення й обґрунтування показників технічного стану гідрооб'ємного рульового керування на основі методу парціальних прискорень. Практична цінність одержаних результатів полягає в отриманих критеріальних значеннях запропонованих показників технічного стану гідрооб'ємного рульового керування та методиці проведення експериментальних досліджень.

Результати досліджень можуть бути використані заводами-виробниками тракторів під час проведення визначальних випробувань із метою визначення фактичних значень показників і формування технічних

умов на свою продукцію. Також результати дослідження можна застосовувати випробувальними лабораторіями під час експлуатаційних випробувань тракторів.

Водночас невирішеним залишається питання обґрунтування правила прийняття рішення про технічний стан рульового керування трактора при наближенні значення параметру, що контролюється, до його критеріального значення.

Перелік літератури

Артемов, Н. П. (2012). Метод парціальних прискорень и его приложения в динамике мобильных машин / Артемов Н.П., Лебедев А.Т., Подригало М.А. и др. Под ред. Подригало М.А. Харьков: Мискидрук. 219 с.

Водяник, І. І. (1994). Експлуатаційні властивості тракторів і автомобілів. Київ: Урожай, 1994. 224 с.

ДСТУ ISO 10998:2013 Трактори сільськогосподарські вимоги до рульового керування (ISO 10998:2008, IDT) [Чинний від 2006-08-01]. Київ. 14 с. (Національний стандарт України).

Дубінін, Є., Полянський, О., Молодан, А., Клец, Д. (2020). Удосконалення методу діагностування рульового управління шарнірно-зчленованої машини. Інженерія природокористування. 2 (6), 19-24. доступний у: <http://enm.khntusg.com.ua/index.php/enm/article/view/93> (дата звернення: 12 Квітня 2023).

Колеснік, І. В. (2018). Підвищення ефективності контролю технічного стану рульового керування трактора на транспортних роботах. Автореферат дисертації ... кандидата технічних наук. Спеціальність 05.22.20. Харків : ХНАДУ. 2018, 20 с.

Коробко, А. І. (2017). Нормування показників при розробці нових методів випробувань. Перспективні технології та прилади. Збірник наукових праць. 10 (1). 76-80.

Коробко, А. І., Подригало, М. А., Абрамов, Д. В., Тарасов, Ю. В., Олійник, Б. О., & Власюк, П. С. (2019). Спо-

сіб вимірювання параметрів руху рухомих об'єктів: пат. на винахід 119037 Україна: МПК G01P 3/00, G01P 15/00, G01P 15/14 (3013.01), G01P 15/18 (2013.01), G01P 3/50 (2006.01). № а 2015 10855 ; заявл. 06.11.2015 ; опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8.

Лебедев, А. (2021). Сучасні проблеми теорії трактора. Техніка і технології АПК. 1 (118). 20-25.

Лебедев, А. Т. (2000). Трактори та автомобілі. Ч.1. Навч. посіб. / М. Г. Сандомирський, М. Ф. Бойко., А. Т. Лебедев та ін.; За ред. проф. А. Т. Лебедева. Київ : Вища школа, 357 с.

Лебедев, А. Т. (2003). Тяговий ККД трактора при нерівномірному розподілу реакцій між колесами / Лебедев, А. Т. та інш. Тракторна енергетика в рослинництві. Збірник наукових праць ХНТУСГ ім. П. Василенка. 6. 49–56.

Лебедев, А. Т. (2004). Трактори та автомобілі. Ч.3. Шасі: Навч. посібник / А. Т. Лебедев, В. М. Антощенков, М. Ф. Бойко та ін.; За ред. проф. А.Т. Лебедева. Київ : Вища освіта. 336 с.

Лебедев, А. Т., Лебедев, С. А., & Коробко, А. І. (2018). Кваліметрія та метрологічне забезпечення випробувань тракторів. Харків: Вид-во «Міськдрук». 394 с.

Лебедев, С. А., Шеїн, В. С., Артьомов, М. П., & Колеснік, І. В. (2015). Визначальний параметр стану гідрооб'ємного рульового керування трактора. Вісник НТУ «ХПІ». Тракторобудування. 8 (1117). 11-18.

Подригало, М. А., Коробко, А. І., Клец, Д. М., & Файст, В. Л. (2012). Система для визначення параметрів руху автотранспортних засобів при динамічних (кваліметричних) випробуваннях: пат. 51031 Україна : МПК G 01 P 3/00. G 01 P 15/00. № и 2010 01136 ; заявл. 04.02.10 ; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12.

Хабардин, А. В. (2012). Совершенствование контроля рулевого управления колесных тракторов при их техническом обслуживании : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. тех. наук : спец. 05.20.03. Новосибирск, 20 с.

Du Juan, L. M., Chengqian, J., & Xiang,

Y. (2019). Development of an automatic steering test bench for tractors. Smart Agriculture. 1 (2). 85-93. doi: 10.12133/j.smart-ag.2019.1.2.201903-SA002.

Gong, X., Li, P., Xia, T., She, Y., Chen, J., & Zheng, T. (2022). Diagnosis and analysis of electric power steering rattle noise based on multiple coherence method. Vibro-engineering Procedia, 40, 64-69.

Liljenberg, S., Frederiksen M., & Langer T. H., (2019). Methods to evaluate steering performance of agricultural tractors. In book: LAND. TECHNIK AgEng 2019. DOI: 10.51202/9783181023617-29

Mollazade, K., Ahmadi, H., Omid, M., & Alimardani, R. (2009). Vibration-based fault diagnosis of hydraulic pump of tractor steering system by using energy technique. Modern Applied Science, 3(6), 59-66. DOI: 10.5539/mas.v3n6p59

Szczypiński-Sala, W. & Dobaj, K. (2016). The analysis of diagnostics possibilities of the Dual- Drive electric power steering system using diagnostics scanner and computer method. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 148. 012054. doi: 10.1088/1757-899X/148/1/012054.

Zardin, B., Borghi, M., Gherardini, F., Zanasi, N. (2018). Modelling and Simulation of a Hydrostatic Steering System for Agricultural Tractors. Energies. 11 (1), 230; <https://doi.org/10.3390/en11010230>.

References

Artemov, N. P. (2012). The method of partial accelerations and its applications in the dynamics of mobile machines / Artemov N.P., Lebedev A.T., Podrigalo M.A. and others. Ed. Podrigalo M.A. Kharkov: Miskdruk. 219 p.

DSTU ISO 10998:2013 Agricultural tractors steering requirements (ISO 10998:2008, IDT) [Effective from 2006-08-01]. Kyiv. 14 p. (National Standard of Ukraine).

Du Juan, L. M., Chengqian, J., & Xiang, Y. (2019). Development of an automatic steering test bench for tractors. Smart Agriculture, 1(2), 85. doi: 10.12133/j.smart-ag.2019.1.2.201903-SA002.

Dubinin, E., Polyanskyi, O., Molodan, A. & Klets, D. (2020). Improving the method of diagnosing the steering control of an articulated car. *Nature management engineering*. 2 (6), 19–24. available at: <http://enm.khntusg.com.ua/index.php/enm/article/view/93> (access date: April 12, 2023).

Gong, X., Li, P., Xia, T., She, Y., Chen, J., & Zheng, T. (2022). Diagnosis and analysis of electric power steering rattle noise based on multiple coherence method. *Vibro-engineering Procedia*, 40, 64–69.

Khabardin, A. V. (2012). Improving the steering control of wheeled tractors during their maintenance: Ph.D. dis. for the scientific degree cand. those. sciences: spec. 05.20.03. Novosibirsk, 20 p.

Kolesnik, I. V. (2018). Increasing the efficiency of monitoring the technical condition of tractor steering during transport operations. Abstract of the dissertation of ... candidate of technical sciences. Specialty 05.22.20. Kharkiv: KhNAHU. 2018, 20 p.

Korobko, A. (2017). Rationing of indicators in the formulation new test methods. Perspective technologies and devices. Collected scientific papers. 10 (1). 76–80.

Korobko, A. I., Podrigalo, M. A., Abramov, D. V., Tarasov, Yu. V., Oliarnyk, B. O., & Vlasuk, P. S. Method of measuring the parameters of motion of moving objects: pat. for the invention 119037 Ukraine: IPC G01P 3/00, G01P 15/00, G01P 15/14 (3013.01), G01P 15/18 (2013.01), G01P 3/50 (2006.01). No. a 2015 10855; statement 06.11.2015; published 04/25/2019, Bul. №. 8.

Lebedev, A. (2021). Modern problems of tractor theory. *Agricultural machinery and technologies*. 1 (118). 20–25.

Lebedev, A. T. (2000). Tractors and cars. Part 1. Education manual / M. G. Sandomirskyi, M. F. Boyko, A. T. Lebedev, etc.; Under the editorship Prof. A. T. Lebedev. Kyiv: Higher School, 357 p.

Lebedev, A. T. (2003). Traction efficiency of a tractor with uneven distribution of reactions between wheels / A. T. Lebedev et al. Tractor energy in crop production. Collection of scientific works of KhNTUSG named after P. Vasylenko. 6. 49–56.

Lebedev, A. T. (2004). Tractors and cars. Part 3. Chassis: Teach. manual / A. T. Lebedev, V. M. Antoshchenkov, M. F. Boyko, etc.; Under the editorship Prof. A.T. Lebedev. Kyiv: Higher Education. 336 p.

Lebedev, A.T., Lebedev, S.A., & Korobko, A.I. (2018). Qualimetry and metrological support of tractor tests. Kharkiv: “Miskdruk”. 394 p.

Lebedev, S. A., Shein, V. S., Artyomov, M. P., & Kolesnik, I. V. (2015). Determining parameter of the tractor’s hydraulic power steering. *Bulletin of NTU “KhPI”. Tractor construction*. 8 (1117). 11–18.

Liljenberg, S., Frederiksen, M., & Langer, T. H., (2019). Methods to evaluate steering performance of agricultural tractors. In book: LAND. TECHNIK AgEng 2019. DOI: 10.51202/9783181023617-29

Mollazade, K., Ahmadi, H., Omid, M., & Alimardani, R. (2009). Vibration-based fault diagnosis of hydraulic pump of tractor steering system by using energy technique. *Modern Applied Science*, 3(6), 59–66. DOI: 10.5539/mas.v3n6p59

Podrigalo, M., Korobko, A., Kletz, D., & Faist, V. (2012). A system for determining the parameters of the movement of motor vehicles during dynamic (qualimetric) tests: pat. 51031 Ukraine: IPC G 01 P 3/00. G 01 P 15/00. No. u 2010 01136; statement 04.02.10; published 25.06.10, Bul. No. 12.

Szczypiński-Sala, W. & Dobaj, K. (2016). The analysis of diagnostics possibilities of the Dual-Drive electric power steering system using diagnostics scanner and computer method. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 148. 012054. doi: 10.1088/1757-899X/148/1/012054.

Vodanyk, I. (1994). Operational properties of tractors and cars. Kyiv: Urozhai, 1994. 224 p.

Zardin, B., Borghi, M., Gherardini, F., Zanasi, N. (2018). Modelling and Simulation of a Hydrostatic Steering System for Agricultural Tractors. *Energies*. 11 (1), 230; <https://doi.org/10.3390/en11010230>.

UDC: 629.3.018

RESEARCH OF TESTING METHODS OF HYDRAULIC POWER STEERING OF TRACTORS

Korobko A., Ph. D, Associate Professor, Leading Researcher,
e-mail: ak82andrey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>
L. Pogoriliy UkrNDIPVT Kharkiv branch;
Kharkiv National Automobile and Highway University

Summary

Purpose of the study. *The purpose of the study is to increase the level of technical readiness of tractors based on indicators of the technical state of steering by improving the process of its diagnosis. In order to achieve the goal, it is necessary to substantiate the estimated indicators and develop a method of testing the hydrovolume steering of tractors using the method of partial accelerations.*

Research methods. *The methodological basis of the work is the use of the method of partial accelerations. This method is based on the transition from the vector sum of forces in space to the vector sum of accelerations in space. This makes it possible to preserve the physical essence of the obtained vector equation describing the motion of the dynamic system. The method of partial accelerations, in contrast to classical methods, involves reducing the equations of dynamics to the equations of kinematics (principle of kinemodynamics). Further research is based on this principle.*

The results of the study. *A method of testing hydraulic volumetric steering of tractors using the method of partial accelerations has been developed. The time of rotation of the tractor wheels from the extreme position to the extreme position is an indicator for diagnostics. It was established that the duration of turning the tractor wheels from the extreme position to the extreme position is correlated with the accelerations that occur in the front and rear half-frames of such a tractor. The rotation accelerations of the rear half-frame are more pronounced, compared to the accelerations of the front half-frame. This is explained by the different values of their mass index. Measurement of the indicator is possible using the method of partial accelerations. For this, measuring complexes based on accelerometers are used.*

Conclusion. *The implementation of methods for assessing the quality of tractor steering units and the units developed according to the proposed methodology will allow for an accelerated assessment of their compliance with technical conditions and traffic safety during tests and in operation. The application of partial accelerations method makes it possible to make a conclusion about the technical condition of the elements and nodes of the hydraulic steering of the tractor without the presence of a special platform for running tests. As a diagnostic indicator, the longitudinal component of acceleration that occurs when the guide wheels turn is proposed. The labor intensity of tests using this method is reduced by 3.28 times compared to the known ones, and the consumption of working fluid is also reduced by 2.7 kg, as the operation of disassembling units is eliminated.*

Key words: tractor, hydraulic power steering, test, turning time, condition indicator, method.