

МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЯКОСТЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ ЗА КОДЕКСОМ 2 ОЕСР

Лебедєв С., канд. техн. наук,

<https://orcid.org/0000-0002-3067-5135>, e-mail: hfukrndipvt@gmail.com,

Коробко А., канд. техн. наук, доц., провідний науковий співробітник,

<https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>, e-mail: ak82andrey@gmail.com

Харківська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

Анотація

Метою дослідження є викладення нових положень щодо випробувань сільськогосподарських тракторів з оцінювання їхніх експлуатаційних властивостей, спрямованих на реалізацію Кодексу 2 ОЕСР.

Методи дослідження. Випробування трактора та його основних елементів базується на методі парціальних прискорень, в основу якого покладено рішення зворотного завдання динаміки: за прискоренням оцінюються сили, які діють. Цей метод та приладне забезпечення, розроблені в Харківській філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, ефективно використовується під час випробування тракторів та їхніх основних елементів.

Результати дослідження. Запропоновані експрес-методи скорочують час на проведення випробувань та своєчасно виявляють недоліки у роботі систем, які випробовуються. Запропонований експрес-метод випробувань циліндро-поршневої групи забезпечує можливість своєчасного визначення недоліків у роботі двигунів. Встановлено, що найбільш ефективна робота випробовуваного агрегата спостерігається за неповного завантаження трактора. Стійкість руху транспортно-технологічного агрегата взаємопов'язана з його керованістю, що визначається технічним станом рульового керування. Взаємозв'язок досліджуваних величин кутових прискорень рульового колеса трактора та агрегатованої машини забезпечується з достовірністю 95 %. Для визначення гальмівних властивостей запропоновано показник, який характеризує темпи наростання уповільнення трактора під час гальмування. Для оцінювання якості функціонування гідропривода навісної системи трактора за нестабільного технічного стану його елементів необхідно починати з оцінювання витоків рідини в гідроциліндрі та закінчувати аналізом витоків у перепускному клапані.

Висновок. Кодекс 2 ОЕСР нормує методологію експлуатаційних випробувань сільськогосподарських тракторів, на основі якого в УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого та його Харківській філії розроблено галузеві стандарти щодо оцінки тягово-енергетичних показників тракторів. Теоретично та експериментально доведено, що під час експлуатаційних випробувань тракторів та його основних елементів ефективним є метод парціальних прискорень, в основу якого покладено зворотний перехід від векторної суми у просторі сил, які діють на трактор, до векторної суми у просторі прискорень. Цей метод прискорено оцінює експлуатаційні якості тракторів агрегатованих з навісними і причіпними сільгоспмашинами, а також технічний стан основних елементів конструкції трактора.

Ключові слова: трактор, випробування, Кодекс 2 ОЕСР, основні елементи, несправності, експрес-методи.

Вступ. Кодекс 2 ОЕСР (Організація економічного співробітництва та розвитку) нормує методологію експлуатаційних випробувань сільськогосподарських тракторів [Кодекс, 2016]. Зараз 34 країни-чле-

ни ОЕСР дотримуються Кодексів на випробування тракторів. Багато країн, які не є членами ОЕСР, до яких належить і Україна, частково або повністю використовують Кодекси для випробувань,

проведення тендерів або регулювання питань імпорту тракторів.

Кодекс 2 ОЕСР [Кодекс, 2016] регламентує випробування двигуна, рульового керування, гальмівного та гідропривода навісної систем, а також тягові випробування трактора. В основу відомих досліджень та публікацій в Україні з оцінки експлуатаційних якостей тракторів покладено методики Державних стандартів та публікацій [Погорельий, 1981; Лебедев, 2011; Анилович, 1986; Лебедев, 2018] на етапах проектування, доведення та серійного випуску тракторів.

Випробування тракторів в Україні регламентоване «Технічним регламентом затвердження типу сільськогосподарських та лісогосподарських тракторів, їхніх причепів і змінних причіпних машин, систем, складових частин та окремих технічних вузлів», затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 28.12.2011 р. № 1367, який відображає основні положення Кодексу 2 ОЕСР.

Метою дослідження є викладення нових положень щодо випробувань сільськогосподарських тракторів з оцінювання їхніх експлуатаційних властивостей, спрямованих на реалізацію Кодексу 2 ОЕСР.

Методи і матеріали. Випробування трактора та його основних елементів базується на методі парціальних прискорень [Подригало, 2012], в основу якого покладено рішення зворотного завдання динаміки: за прискоренням оцінюються сили, які діють. Цей метод та приладне забезпечення, розроблені в Харківській філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, ефективно використовується під час випробування тракторів та їхніх основних елементів.

Випробування двигуна за методикою Кодексу 2 ОЕСР проводиться для оцінювання його потужності та витрати палива на динамометричному стенді за максимальної потужності, а також за часткового навантаження. Ця методика випробування двигуна успішно може бути реалізована за періодичного технічного обслуговування (ТО) тракторів. Недоліком цієї мето-

дики є можливість експлуатації двигуна з погіршеними показниками через великий інтервал часу між періодичними ТО. Тому одним із важливих напрямів підвищення техніко-економічних показників двигунів тракторів є використання системи заявочного контролю, що передбачає оснащення двигунів давачами і контрольними засобами для щозмінного контролю, що дасть змогу під час оцінювання експлуатаційних якостей трактора своєчасного втручання та усування несправності.

Результати. На підставі викладених міркувань створено модернізований компресометр (рис. 1), який містить манометр для фіксації тиску і частотомір для фіксації числа обертів за хвилину, за яких проводиться реєстрація максимального тиску кінця стискування [Лебедев, 2012].

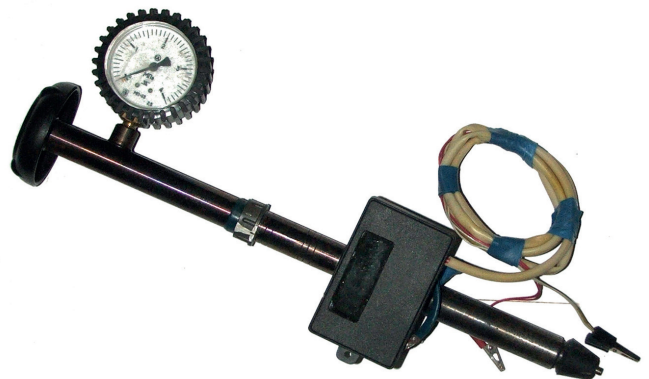


Рисунок 1 – Модернізований компресометр циліндро-поршневої групи двигуна

На значення показників діагностування циліндро-поршневої групи (ЦПГ) двигуна, які визначаються компресометром, крім величини просвітів, впливає можлива нещільність між тарілками клапана газорозподільного механізму і їхніми сідлами. Тобто, фактичні показники діагностування визначаються сумою витоку через просвіти в ЦПГ і в газорозподільному механізмі, з яких перші, зазвичай, превалюють.

Пристрій для вимірювання витрати палива і компресометр, який забезпечений контактним давачем для реєстрації частоти, з'єднані в єдину електронну систему керування (рис. 2), яка містить

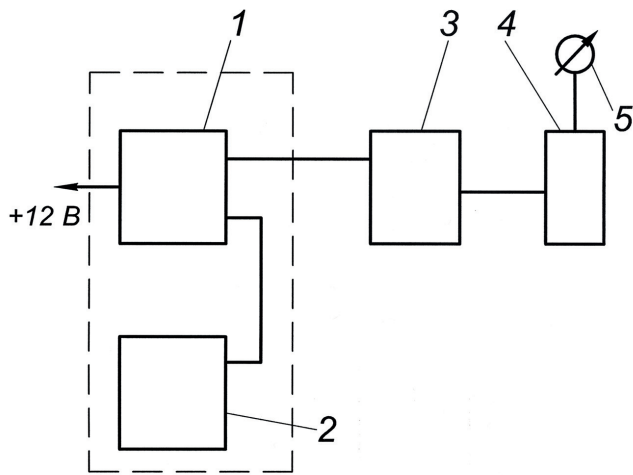


Рисунок 2 – Схема принципова електронна вимірювального пристрою

електронний блок 1, давач витрати палива 2, формувач 3, давач тиску 4 і компресометр 5.

Електронний блок 1 приладу, з'єднаний з бортовою електромережею трактора (12 В); давач витрати палива знаходиться в розриві паливопроводу, а давач тиску 4 в корпусі компресометра. Останній встановлюється замість паливної форсунки циліндра, який випробовується (або свічки запалювання). Перевагою цього контролю є можливість визначення несправності в конкретному циліндрі на відміну від інших методів, у яких результат діагностування формується сумарною роботою усіх циліндрів.

Під час випробування трактора стосовно оцінки його експлуатаційних якостей спочатку оцінюється технічний стан двигуна під час виконання трактором технологічної операції за різного навантаження (100, 85, 75, 50, 25) відповідно до методики Кодексу 2 ОЕСР.

Якщо перевитрата дійсно має місце, проводилося оцінювання гідросильності усіх циліндро-поршневих груп двигуна. За досягнення нижньої межі гідросильності проводиться перевірка герметичності клапанів. Ця перевірка дає можливість зробити висновок про те, як вчинити надалі з двигуном — направляти на ремонт або на регулювання. Після усунення причини виконують контрольне вимірювання витрати палива на тій же операції.

Під час оцінювання тягових властивостей трактора Кодекс 2 ОЕСР регламентує їхні експлуатаційні випробування під час виконання технологічних операцій. Тестовими зовнішніми навантаженнями на трактор приймається загальновизнана процедура Німецького сільськогосподарського товариства (DLG) PowerMix, яка передбачає 12 циклів випробувань на польових технологічних операціях за змінного у часі зовнішнього збурення [Nebraska, 2022].

Випробування складаються з тягових циклів: оранки та культивації, тягово-приводних циклів з відбором потужності через вал відбору потужності (ВВП); фрезерування роторною фрезою і ворущіння сіна, а також тягово-приводні цикли з відбором потужності через ВВП і гідравлічну систему трактора: розкидання гною та тюкування сіна.

З урахування співвідношення

$$\dot{V}_{\text{агв}}(V) = -\frac{P_{\text{гк}}(V)}{m_T} \quad \text{знаходимо залежність}$$

тягового зусилля на гаку трактора від швидкості руху

$$\frac{P_{\text{гк}}(V)}{m_{\text{аг}}} = -\left(1 + \frac{m_{\text{см}}}{m_{\text{аг}}}\right) \dot{V}_{\text{агв}}(V) + \dot{V}_{Tf}(V). \quad (1)$$

Тягове зусилля P_T на тягових колесах трактора визначаємо з рівняння руху тракторного агрегата (ТА) в тяговому режимі руху трактора m_T під час виконання технологічного процесу

$$\frac{P_T}{m_T} = -\left(1 + \frac{m_{\text{см}}}{m_{\text{аг}}}\right) [\dot{V}_{\text{аг}}(V) - \dot{V}_{\text{агв}}(V)]. \quad (2)$$

Отже, під час визначення P_T оцінюється прискорення вибігу агрегата під дією лише опору коченню на колесах. Для визначення P_T за відомих m_T , $m_{\text{см}}$ оцінюється різниця прискорення розгону $\dot{V}_{\text{аг}}(V)$ та вибігу $\dot{V}_{\text{агв}}(V)$ агрегата.

Запропоновано оцінювати тягове зусилля на тягових колесах P_T і на гаку $P_{\text{гк}}$ трактора за залежностями:

$$P_T = (m_T + m_{\text{сг}}) [\dot{v}_T(v) - \dot{v}_T^B(v)], \quad (3)$$

$$P_{\text{гк}} = m_{\text{т}} \left[\dot{v}_{\text{тф}}(v) - \left(1 + \frac{m_{\text{т}}}{m_{\text{сг}}} \right) \dot{v}_{\text{т}}^{\text{Б}}(v) \right], \quad (4)$$

де $m_{\text{т}}$, $m_{\text{сг}}$ – маса трактора і сільгосп-машини, відповідно;

$\dot{v}_{\text{т}}(v)$, $\dot{v}_{\text{т}}^{\text{Б}}(v)$ – лінійні прискорення агрегатів під час розгону і вибігу (вимкнення муфта зчеплення, нейтральна передача трансмісії) відповідно;

$\dot{v}_{\text{тф}}$ – прискорення трактора за дії лише сили опору коченню на колесах.

Отже, визначаючи $P_{\text{т}}$ за відомих $m_{\text{т}}$, $m_{\text{сг}}$ оцінюється різниця $\dot{v}_{\text{т}}(v)$ і $\dot{v}_{\text{т}}^{\text{Б}}(v)$; визначаючи $P_{\text{гк}}$, оцінюється прискорення розгону трактора за дії тільки опору коченню на колесах.

За відомої швидкості трактора оцінюється ефективна потужність двигуна $N_{\text{е}}(v) = P_{\text{т}} v_{\text{т}}$ і потужність на гаку трактора $N_{\text{гк}}(v) = P_{\text{гк}} v_{\text{т}}$.

Оскільки, $P_{\text{т}}$ відповідає силі тяги на тягових колесах трактора без урахування втрат на тертя в трансмісії за швидкості руху агрегата $V_{\text{аг}}$, ефективну потужність двигуна можна оцінити за залежністю

$$\begin{aligned} N_{\text{е}}(V) &= P_{\text{т}} V_{\text{аг}} = \\ &= (m_{\text{т}} + m_{\text{сг}}) V \left[\dot{V}_{\text{аг}}(V) - \dot{V}_{\text{агв}}(V) \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

Під час виконання агрегатом певної технологічної операції, потужність на гаку трактора визначається за залежністю

$$\begin{aligned} N_{\text{гк}}(V) &= P_{\text{гк}} V_{\text{аг}} = \\ &= m_{\text{аг}} V_{\text{аг}} \left[\dot{V}_{\text{тф}}(V) - \left(1 + \frac{m_{\text{сг}}}{m_{\text{аг}}} \right) \dot{V}_{\text{агв}}(V) \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

За співвідношенням (5) та (6) оцінюється тяговий ККД трактора

$$\eta_{\text{т}}(V) = \frac{N_{\text{гк}}(V)}{N_{\text{е}}(V)} = \frac{1 + \frac{m_{\text{сг}}}{m_{\text{т}}}}{\frac{\dot{V}_{\text{т}}^{\text{ф}}(V)}{\dot{V}_{\text{т}}^{\text{Б}}(V)} - 1}. \quad (7)$$

Оцінка тягового ККД трактора з відомою масою $m_{\text{т}}$ в агрегуванні з сільськогосподарською машиною $m_{\text{сг}}$ виконується порівнянням прискорень тракторного агрегата під час розгону та вільного вибігу $\dot{V}_{\text{т}}(V)$ з вільним вибігом одиночного трак-

тора $\dot{V}_{\text{т}}^{\text{Б}}(V)$ під дією тільки сили опору коченню на колесах трактора $\dot{V}_{\text{т}}^{\text{ф}}(V)$.

Експериментальні дослідження з оцінювання тягово-динамічних властивостей трактора проведені в Харківській філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого на тракторі John Deere 8430 ($N_{\text{е}} = 186$ кВт) в агрегуванні з дисковою бороною John Deere 637 (рис. 3).



Рисунок 3 – Тракторний агрегат трактор John Deere 8435 та дискова борона John Deere 637

Для вимірювання показників $P_{\text{гк}}$, $N_{\text{е}}$, $N_{\text{гк}}$ використовується вимірювально-реєстраційний комплекс, який реалізує метод парціальних прискорень, розроблений та виготовлений за участі Харківської філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого [Лебедев, 2018].

Кодекс 2 ОЕСР відносить до експлуатаційних якостей сільськогосподарських тракторів їхню керованість та гальмування.

Керованість трактора за Кодексом 2 ОЕСР оцінюється згідно з умовами та процедурами, які використовуються в ISO 10998:2013, за протяжністю траєкторії руху трактора зі справним рульовим керуванням (час руху – 5 с) та з рульовим керуванням в аварійному стані (час руху – 8 с).

Аварійний стан рульового керування з підсилювачем та сервоприводом імітується вимкненням джерела живлення.

Керованість трактора оцінюється на треку або на жорсткому ґрунті.

Методики випробувань трактора з оцінки його керованості за справного та аварійного стану рульового керування стандартом ISO 10998:2013 не відображають його експлуатаційних якостей у складі тракторних агрегатів.

У Харківській філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого виконані теоретичні та екс-

периментальні дослідження у напрямку можливості оцінки керованості і стійкості руху тракторного агрегата на основі методу парціальних прискорень [Подригало, 2012]. Дослідження здійснювались з використанням транспортно-технологічного агрегату перемінної маси Case IH Magnum 250 + ВНЦ-30 при внесенні рідких органічних добрив (рис. 4).



Рисунок 4 – Транспортно-технологічний агрегат Case IH Magnum 250 + ВНЦ-30 внесення рідких органічних добрив у роботі

Уперше обґрунтовано залежність адаптивно-передатної функції керування мобільної машини, чим надає інтегральну оцінку її реакції на керівні дії від значень параметричних характеристик:

$$W_{\text{пер}} = 1 - \frac{1}{K_{\text{кер}}} \left(1 + \frac{V}{\sum P_c} \cdot \frac{dm}{dt} - K_{\text{зб}} \right), \quad (8)$$

де m – маса машинно-тракторного агрегата у конкретний момент часу;

V – швидкість руху машинно-тракторного агрегата в певний момент часу;

dm/dt – швидкість зміни маси машинно-тракторного агрегата (рух машинно-тракторного агрегата змінної маси);

t – час;

P_k – керівне(тягове) зусилля;

$\sum P_c$ – сума сил опору керівним діям (впливам);

$K_{\text{кер}}$ – коефіцієнт керованості,

$K_{\text{кер}} = P_k / \sum P_c$;

$K_{\text{зб}}$ – коефіцієнт збурення,

$K_{\text{зб}} = P_{\text{зб}}^{36} / \sum P_c = -\dot{V}_{\text{зб}}^n / \dot{V}_c^n$;

$P_{\text{зб}}^{36}$ – зовнішня збурювальна сила;

$\dot{V}_{\text{зб}}^n$ – парціальне прискорення від дії зовнішніх збурювальних сил, $\dot{V}_{\text{зб}}^n = P_{\text{зб}}^{36} / m$;

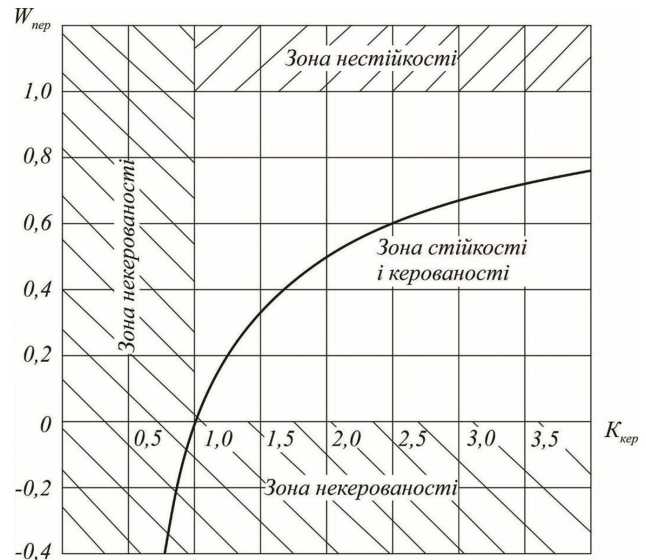


Рисунок 5 – Передатна функція керованості трактора

$\dot{V}_c^n$ – парціальне прискорення від дії сил опору, $\dot{V}_c^n = \sum P_c / m$.

Зі збільшенням коефіцієнта керованості $K_{\text{кер}}$ (рис. 5) відбувається збільшення адаптивно-передатної функції керування $W_{\text{пер}}$.

Отримання значень $W_{\text{пер}}$, близьких до одиниці, забезпечує динамічній системі ідеальну керованість, за якої:

$$\frac{dV}{dt} = \dot{V}_{\text{кер}}^{\text{парц}}. \quad (9)$$

Аналізуючи (8), можна зробити висновок про те, що зі збільшенням $\sum P_c$ відбувається зменшення $K_{\text{кер}}$ і $W_{\text{пер}}$.

Умовою втрати стійкості руху мобільної машини є зростання адаптивно-передатної функції до значення $W_{\text{пер}} > 1$, якщо

$$K_{\text{зб}} > 1 + \frac{V}{\sum P_c} \cdot \frac{dm}{dt}. \quad (10)$$

Зона нестійкості руху машини буде за $W_{\text{пер}} > 1$, зона некерованості $K_{\text{кер}} < 1$, або $W_{\text{пер}} < 0$.

Гальмівні властивості трактора оцінюються його уповільненням та гальмівним шляхом під час гальмування за ДСТУ ISO 5697:2005 та ДСТУ 8373:2015, які відображають основні положення Кодексу 2 ОЕСР.

Під час випробувань за Кодексом 2 ОЕСР гальма мають бути холодними:

температура на гальмівному диску або зовнішньому боці барабана нижче 100 °С; у разі повністю закритих гальм, включаючи гальма у масляній ванні, температура, виміряна на зовнішньому боці корпусу – нижче 50 °С; гальма не приводилися в дію протягом 1 години.

Ефективність гальмування трактора оцінюється за прискоренням уповільнення a_T та середньому уповільненні a_3

$$a_T = \frac{V_b^2 - V_e^2}{2(S_b - S_e)}, \text{ м/с}^2; \quad (11)$$

$$a_3 = V/2S, \text{ м/с}^2,$$

де V_b , V_e – швидкості відповідно за 0,8 $V_{\text{м/с}}$ і 0,1 $V_{\text{м/с}}$;

V – початкова швидкість, м/с;

S_b , S_e – відстані, пройдені відповідно між V_b і V_e , м;

S – гальмівний шлях, м.

Експериментальні дослідження з оцінювання гальмівних властивостей трактора проводилися в Харківській філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого на тракторі загального призначення ХТА-200 з шарнірно-зчленованою рамою, який має колодкові гальма на усіх колесах з пневматичним приводом.

В основу методики дослідження покладено метод парціальних прискорень [Подригало, 2012; Klets, 2013], заснований на прямому вимірюванні прискорень, які виникають під час руху трактора, і подальшій обробці результатів цих вимірювань. Найбільш прийнятним, за умов забезпечення мінімальної трудомісткості і забезпечення необхідної точності вимірювань, є вимірювальний комплекс, який використовується під час оцінювання тягових властивостей трактора за СОУ 71.2-37-046043090-017:2015 [СОУ, 2016], після деякої модернізації його програмного забезпечення.

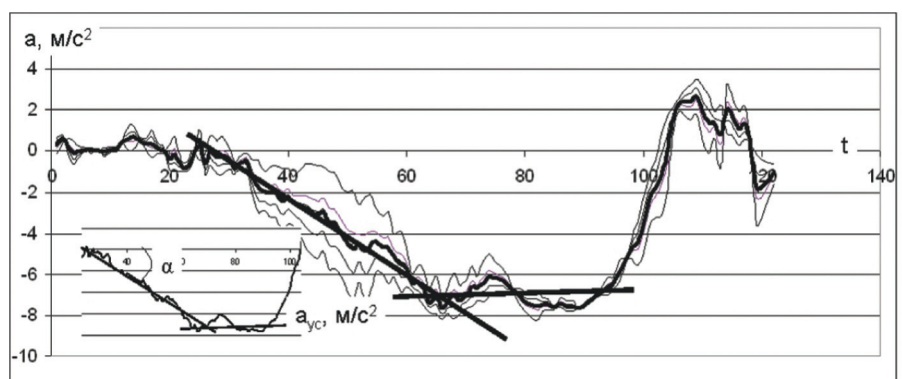
Згідно з розробленою методикою, проводилися дорожні випробування трактора ХТА-200. Гальмували з різних швидкостей руху, а також під час імітації несправності пневмопривода гальмівної системи (зменшувався тиск, який створюється компресором) і використанні гальмівних накладок з різним ступенем зносу. У пам'ять обчислювального блоку вимірювального комплексу записувалися гальмівні діаграми.

Визначалися показники: темп наростання уповільнення, фізичний зміст якого – тангенс кута нахилу лінії в координатах «сповільнення-час» під час наростання тиску в приводі гальмівної системи від нуля до максимального, кут відхилення поздовжньої осі трактора в кінці гальмування, бортова нерівномірність гальмівних сил та альтернативний критерій – абсолютне значення відхилення трактора під час гальмування від прямолінійності.

Загалом, експрес-метод оцінки гальмівних властивостей полягає в такому [Лебедев, 2016]:

- встановити випробувальне устаткування на трактор і ввімкнути його;
- розігнати трактор до встановленої швидкості;
- екстрено загальмувати;
- зафіксувати результат;
- за результатами констатувати поточний стан і дати рекомендації для подальшого випробування.

Отримані гальмівні діаграми (рис. 6) розділяються на ділянки: наростання упо-



α – темп наростання уповільнення;

a_{yc} – усталене середнє уповільнення

Рисунок 6 – Передатна функція керованості трактора

вільнення, стале уповільнення, зниження уповільнення. Кожна ділянка апроксимується відповідною кривою. Отримані в результаті декількох заїздів в умовах повторюваності гальмівні діаграми усереднюються. Отже, отримуємо близьку до ідеальної для цього випробовуваного трактора «шліфовану гальмівну діаграму». Проводячи велику кількість випробувань на тракторі однієї моделі, отримуємо нормативні гальмівні діаграми з відповідними допусками на встановлені її показники (темپ наростання уповільнення, установлене уповільнення), які можна закласти в технічну характеристику цієї моделі трактора.

Для визначення темпу наростання уповільнення, вимірювальним комплексом фіксується момент часу початку наростання уповільнення і момент часу його переходу в усталену фазу. Отримані криві зміни уповільнень у процесі його наростання апроксимуються прямою лінією і розраховується темп наростання уповільнення щодо його збільшення за час наростання до часу наростання.

Кут відхилення поздовжньої осі мобільної машини в кінці гальмування розраховується інтегруванням за часом значень кутової швидкості трактора в площині опорної поверхні під час гальмування.

Випробування гідропривода навісної системи трактора регламентується Кодексом 2 ОЕСР [Кодекс, 2016], за показниками: сталий тиск рідини, швидкість нагнітання (подачі) гідронасосом за мінімального тиску і номінальних обертах двигуна, а також за максимальної гідравлічної потужності.

Гідропривод є силовою частиною навісної системи і є сполучною ланкою між трактором і сільськогосподарською машиною. Він встановлює і фіксує навісну машину в заданому положенні, заглиблює робочі органи в ґрунт, забезпечує їхню установку в «поплавкове» положення, за якого вони переміщуються під впливом зовнішніх сил, які діють.

Експериментальні дослідження з оці-

нювання функціонування гідропривода навісної системи проводилися в Харківській філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого на тракторах серії ХТЗ-170 за номінального технічного стану гідроагрегатів та за їхніх несправностей.

В основу методики дослідження покладено метод парціальних прискорень [Подригало, 2016] з використанням вимірювального комплексу [Лебедев, 2018] після деякої модернізації його програмного забезпечення і застосування вимірювальних приладів оцінки тиску рідини.

Доведено, що на інтенсивність наростання тиску рідини гідропривода навісної системи, за зміни навантаження, істотно впливають витoki рідини на ділянці «об'ємний насос-гідророзподільник-гідроциліндр».

Технічний стан насоса визначається зносом його деталей і сполучень: торцевих поверхонь опорних втулок з шестернями, шестерень, шийок вала. Це призводить до збільшення витоків у насосі, а отже до зниження коефіцієнта об'ємної подачі насоса K_Q .

Зміна K_Q зношеного гідронасоса в певній мірі впливає на всі показники перехідної характеристики. Однак найбільшу чутливість має інтенсивність наростання тиску (рис. 7), яка в діапазоні коефіцієнта $K_Q = 0,9-0,6$ зменшується в 1,3 раза. Час регулювання змінюється в цьому діапазоні в 1,24 раза, оскільки воно пов'язане з крутизною характеристики, яка зменшується, збільшуючи тим самим час перехідного процесу.

Величини $P_{\max}$, P_{∞} практично не залежать від технічного стану насоса в діапазоні зміни $K_Q = 0,9-0,6$ (зміна $P_{\max}$, P_{∞} відбувається у 1,04 раза).

Підвищення перетікання рідини в гідроциліндрі через зношування кільця ущільнювача поршня призводить до зменшення інтенсивності наростання тиску $\dot{P}$ в 1,07 раза (рис. 8) зі збільшенням витоків від 0 до 15 л/хв., тиск змінюється незначно на 1,5-2 %.

Найбільш чутлива до зміни перетікання рідини інтенсивність падіння тиску $\dot{P}$.

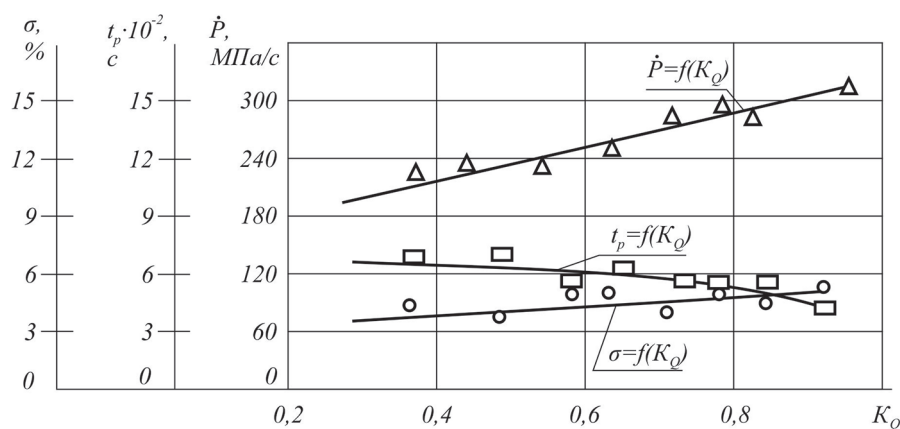


Рисунок 7 – Залежність швидкості наростання тиску рідини $\dot{P}$, перерегулювання σ і часу перехідного процесу t_p від коефіцієнта об'ємної подачі гідронасоса K_Q навісної системи тракторів серії XT3-170

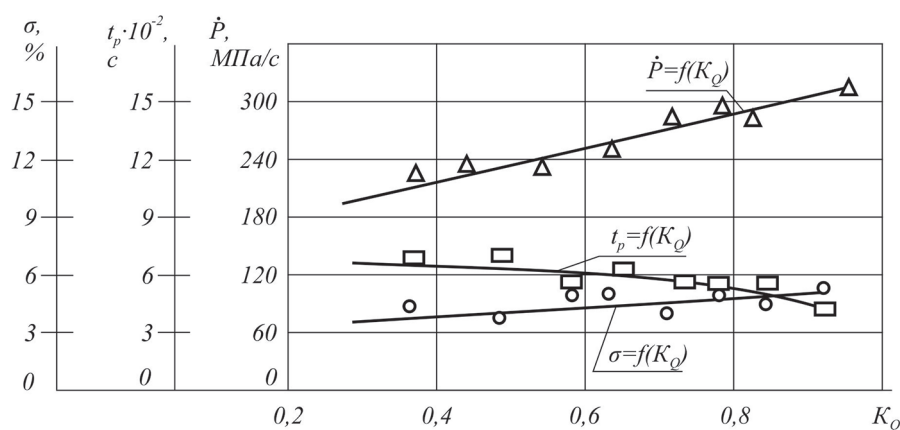


Рисунок 8 – Залежність швидкості наростання $\dot{P}$, падіння $\ddot{P}$, максимального $P_{\max}$ тиску рідини від перетікання у гідроциліндрі навісної системи тракторів серії XT3-170

Наприклад, у разі пориву кільця ущільнювача поршня гідроциліндра відбувається збільшення перетікання від 5 до 15 л/хв., що викликає збільшення інтенсивності падіння тиску в 2 рази.

Отже, за інтенсивністю падіння тиску можна робити висновок про технічний стан гідроциліндра.

Обговорення. Запропоновані експрес-методи скорочують час на проведення випробувань та своєчасно виявляють недоліки у роботі систем, які випробовуються. Ці методи є ефективними у випробуваннях машин перемінної маси, вимірний комплекс може застосовуватись під час дослідження вібраційних процесів

сільськогосподарських машин та дослідження їхньої стійкості [Artemov, 2015; Ovsyannikov, 2018; Shulyak, 2015; Shulyak, 2016].

Запропонований експрес-метод випробувань циліндро-поршневої групи забезпечує можливість своєчасного визначення недоліків у роботі двигунів, що має можливість завдяки ліквідації несправностей скоротити витрати на паливо і відновлення технічного стану. Цей метод експлуатаційного контролю двигуна було реалізовано на тракторах і комбайнах агрогосподарств Харківської та Полтавської областей.

Випробування з визначення тягових властивостей були проведені зі 100 % та 60 % тягового завантаження трактора за швидкості руху відповідно 9,6 км/год. і 11,5 км/год. та тягової потужності 204 кВт і 150 кВт. На цих режимах роботи агрегата абсолютна і питома витрата палива 52,6 кг/год.,

261 г/кВт·год. (100 % завантаження); 38,0 кг/год., 255 г/кВт·год. (60 % завантаження). Отже, за абсолютної і питомої витрати палива найбільш ефективна робота випробуваного агрегата з неповним завантаженням трактора.

Стійкість руху транспортно-технологічного агрегата взаємопов'язана з його керованістю, що визначається технічним станом рульового керування. Взаємозв'язок досліджуваних величин кутових прискорень рульового колеса трактора та агрегатованої машини забезпечується з достовірністю 95 %.

Для визначення гальмівних властивостей запропоновано показник, який харак-

теризує темпи наростання уповільнення трактора під час гальмування, фізичний зміст якого є тангенс кута нахилу лінії в координатах «уповільнення-час» зі збільшенням тиску в приводі гальмівної системи від нуля до максимального значення, є ефективним показником оцінки гальмівних систем трактора.

Дослідженнями доведено, що для оцінювання якості функціонування гідропривода навісної системи трактора за нестабільного технічного стану його елементів необхідно починати з оцінювання витоків рідини в гідроциліндрі та закінчувати аналізом витоків у перепускному клапані.

Висновки. Кодекс 2 ОЕСР нормує методологію експлуатаційних випробувань сільськогосподарських тракторів, на основі якого в УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого та його Харківській філії розроблено галузеві стандарти щодо оцінки тягово-енергетичних показників тракторів. Теоретично та експериментально доведено, що під час експлуатаційних випробувань тракторів та його основних елементів ефективним є застосування методу парціальних прискорень, в основу якого покладено зворотній перехід від векторної суми у просторі сил, які діють на трактор, до векторної суми у просторі прискорень. Цей метод прискорено оцінює експлуатаційні якості тракторів в агрегуванні з навісними і причіпними сільгоспмашинами, а також технічний стан основних елементів конструкції трактора.

Перелік літератури

Анилович В. Я. (1986). Прогнозирование надежности тракторов / под общ. ред. В. Я. Аниловича. М. : Машиностроение. 244 с.

Кодекс стандартів Організацій економічного співробітництва і розвитку (ОЕСР). (2016) «Испытания эксплуатационных качеств сельскохозяйственных тракторов» (официальный перевод) : информационное издание. М. : ФГБНУ «Росинформатех». 104 с.

Лебедев А. Т., Лебедев С. А., Коробко А. І. (2018). Кваліметрія та метроло-

гічне забезпечення випробувань тракторів / Під ред. А.Т. Лебедева. Харків : Вид-во «Міськдрук». 394 с.

Лебедев А. Т. (2011). Оценка наработки мобильных машин по выполненной двигателем механической работе / Лебедев А. Т. и др. Механіка та машинобудування. 2. С. 120-128.

Лебедев С., Коробко А., Балабай Т. (2016). Розроблення експрес-методу випробувань гальмівних систем мобільних сільськогосподарських машин / Техніка і технології АПК. № 7 (82). С. 30–34.

Лебедев С., Сандомирський М. (2012). Технологія експлуатаційного контролю технічного стану двигуна тракторів і комбайнів при випробуваннях та в експлуатації. Техніка і технології АПК. № 2 (29). С. 9–12.

Погорелый Л. В. (1981). Инженерные методы испытаний сельскохозяйственных машин. К. : Техника. 176 с.

Подригало М. А. (2012). Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / под ред. Подригало М. А. Х. : Міськдрук. 219 с.

СОУ 71.2-37-046043090-017:2015. Сільськогосподарська техніка. Визначення тягових показників тракторів. Метод парціальних прискорень. [Надано чинності 01.01.2016 р.]. Дослідницьке, 2015. 9 с. (Стандарт УкрНДІПВТ імені Леоніда Погорілого).

Artemov N. P. & Shulyak M.L. (2015). Analysis and control of random vibration processes in the operation of mobile agricultural units as a mechanical systems. Scientific and educational journal the progressive researchers «Science & Genesis». April №. 1. 151–155.

Klets D. M. (2013). Modeling of Mobile Vehicle Skid in Traction Movement Mode. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, 15. 7. 156-161.

Nebraska Tractor Test Laboratory : веб-сайт. URL: <http://tractortestlab.unl.edu>; Німецьке сільськогосподарське товариство : веб-сайт. URL: <http://www.dlg.org>.

Ovsiyannikov S., Kalinin E., & Koliesnik I. (2018). Oscillation process of multi-support

machines when driving over irregularities. *Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport*. 307–317.

Shulyak M. L. (2015). Oscillation of the speed of the MTA variable mass at a steady state of motion. *Motrol Commision of motorization and energetics in agriculture*. 17, 23–29.

Shulyak M. L. & Lebedev A. T. (2016). Assessment of the sustainability of agricultural technologies in crop production to changes in the parameters and operating modes of tractor units. *Motrol Commision of motorization and energetics in agriculture*. 18 5. 53–58.

References

Anilovich V. Ya. (1986). Forecasting the reliability of tractors / ed. ed. V. Ya. Anilovich. M.: Mashinostroenie. 244 p.

Artemov N. P. & Shulyak M.L. (2015). Analysis and control of random vibration processes in the operation of mobile agricultural units as a mechanical systems. *Scientific and educational journal the progressive researchers «Science & Genesis»*. April No. 1. 151–155.

Code of Standards of the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). (2016) *Agricultural Tractor Performance Testing* (official translation): information publication. M. : FGBNU «Rosinformagrotech». 104 p.

Klets D. M. (2013). Modeling of Mobile Vehicle Skid in Traction Movement Mode. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 15. 7. 156–161.

Lebedev A. T., Lebedev S. A., Korobko A. I. (2018). Qualimetry and metrological safety of testing tractors / Ed. A.T. Lebedev. Kharkiv: View of «Miskdruk». 394 p.

Lebedev A. T. (2011). Evaluation of the operating time of mobile machines according to the mechanical work performed by the engine / Lebedev A. T. et al. *Mekhanika i mashinobuduvannya*. 2. P. 120–128.

Lebedev S., Korobko A., Balabay T. (2016). Exploring the express method of testing galvanic systems of mobile agricultural machines / *Technics and technologies*

of the agro-industrial complex. № 7 (82). pp. 30–34.

Lebedev S., Sandomiersky M. (2012). Technology of operational control of the technical station of the engine of tractors and combines during testing and in operation. *Technics and technologies of the agro-industrial complex*. № 2 (29). pp. 9–12.

Nebraska Tractor Test Laboratory : веб-сайт. URL: <http://tractortestlab.unl.edu>; Німецьке сільськогосподарське товариство : веб-сайт. URL: <http://www.dlg.org>.

Ovsiyannikov S., Kalinin E., & Koliesnik I. (2018). Oscillation process of multi-support machines when driving over irregularities. *Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport*. 307–317.

Pogorely L. V. (1981). Engineering methods for testing agricultural machines. K.: Technique. 176 p.

Podrigalo M. A. (2012). The method of partial accelerations and its applications in the dynamics of mobile machines / ed. Podrigalo M.A. Kh.: Miskdruk. 219 p.

SOU 71.2-37-046043090-017:2015. Strong technology. Appointment of traction indications of tractors. Partial Acceleration Method. [Nadono chivalry 01/01/2016]. Doslidnitske, 2015. 9 p. (Standard UkrN-DIPVT named after Leonid Pohorily).

Shulyak M. L. (2015). Oscillation of the speed of the MTA variable mass at a steady state of motion. *Motrol Commision of motorization and energetics in agriculture*. 17, 23–29.

Shulyak M. L. & Lebedev A. T. (2016). Assessment of the sustainability of agricultural technologies in crop production to changes in the parameters and operating modes of tractor units. *Motrol Commision of motorization and energetics in agriculture*. 18 5. 53–58.

UDC 631.372 – 048.24

TEST METHODOLOGY FOR ASSESSING THE OPERATING AND EXCONIC QUALITIES OF AGRICULTURAL TRACTORS PURSUANT TO OECD CODE 2

Lebedev S., Ph. D,

e-mail: hfukrndipvt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3067-5135>

Korobko A., Ph. D, Associate Prof., Leading Researcher,

e-mail: ak82andrey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>,

L. Pogoriliy UkrNDIPVT Kharkov branch

Summary

Purpose of the study is new provisions for testing agricultural tractors, evaluating their performance, which implement the OECD Code 2

Research methods. The testing of the tractor and its main elements is based on the method of partial accelerations, the basis of which is the solution of the inverse task of the dynamics: the acting forces are estimated from the acceleration. The method and means of measurement (developed in the L. Pogorilyy UkrNDIPVT Kharkiv branch) are effectively used in testing tractors and its main elements.

The results of the study. The proposed express methods make it possible to reduce the time for testing and timely identify shortcomings in the operation of the systems being tested. The proposed express test method for the cylinder-piston group provides the ability to timely identify shortcomings in the operation of engines. It has been established that the most efficient operation of the tested unit is when the tractor is not fully loaded. The stability of the movement of the transport-technological unit is interconnected with its controllability, which is determined by the technical condition of the steering. The relationship between the investigated values of the angular accelerations of the steering wheel of the tractor and the aggregated machine is provided with a reliability of 95 %. To determine the braking properties, an indicator is proposed that characterizes the growth rate of the tractor deceleration during braking. To evaluate the quality of functioning of the hydraulic drive of the tractor mounted system in the case of unstable technical condition of its elements, it is necessary to start with the evaluation of the fluid flow in the hydraulic cylinder and end with the analysis of the flow in the bypass valve.

Conclusions. Code 2 of the OECD normalizes the methodology for operational testing of agricultural tractors, on the basis of which in L. Pogorilyy UkrNDIPVT Kharkiv branch developed industry standards for assessing the traction and energy performance of tractors. It has been theoretically and experimentally proved that in the performance tests of tractors and its main elements, the method of partial accelerations is effective, which is based on the reverse transition from the vector sum in the space of forces that act on the tractor to the vector sum in the space of accelerations. This method allows you quickly assess the performance of tractors when coupled with mounted and trailed agricultural machines, as well as the technical condition of the main elements of the tractor design.

Keywords: tractor, tests, OECD Code 2, main elements, malfunctions, express methods.