

МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТОЧНОСТІ КОМБІНОВАНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ АГРЕГАТІВ

Лебедєв А., д-р техн. наук, проф.,

e-mail: tiaxntusg@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1975-3323>

Лебедєва І., старший науковий співробітник,

e-mail: hfukrndipvt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1349-0702>

Козлов Ю.,

e-mail: hfukrndipvt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3546-0010>

Харківська філія ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

Анотація

Мета дослідження – обґрунтування методології оцінювання функціональної точності комбінованих сільськогосподарських агрегатів та їхніх основних елементів у ході випробувань та експлуатації.

Методи дослідження. Методологічною основою роботи є узагальнення та аналіз відомих наукових результатів відносно комбінованих сільськогосподарських агрегатів при відборі потужності. Для формулювання наукової проблеми, визначення мети та постановки завдань дослідження використовувався аналітичний метод і порівняльний аналіз.

Результати. При оцінюванні функціональної точності комбінованого сільськогосподарського агрегату розглянуто процес виконання агрегатом заданих функцій, спрямованих на досягнення поставленої мети, що характеризується певними значеннями її параметрів (вихідний, первинний, вторинний).

Сформульована умова ефективної роботи тягово-приводного комбінованого МТА з активним робочими органами агрегатованих сільгоспмашин, яка досягається при рівності штовхального зусилля активних робочих органів і суми опорів коченню трактора і машини.

Висновки. Методологія оцінки функціональної точності комбінованого сільськогосподарського агрегата передбачає порівняння його параметрів, отриманих при контролі з урахуванням неідентичності умов контролю з номінальними значеннями, визначені нормативно-технічною документацією. Цей аналіз дає змогу сформулювати умову ефективної роботи тягово-привідного МТА: оптимальні тягово-енергетичні параметри МТА з активними робочими органами досягаються за рівності штовхального зусилля активних робочих органів і суми опорів коченню трактора й машини.

Ключові слова: комбінований сільськогосподарський агрегат, тягово-привідний МТА, елементи агрегату, загальний ККД, функціональна, точність, працездатність, ефективність роботи.

Вступ. Підвищений інтерес виробників і користувачів сільськогосподарської техніки до комбінованих машино-тракторних агрегатів (МТА) пояснюється передусім можливістю виконання ними за один прохід полем декількох технологічних операцій, унаслідок чого знижується витрата палива на одиницю вирощеної продукції й зменшується ущільнення ґрунту ходовими системами тракторів і сільськогосподарських машин.

У сільськогосподарському виробництві є тенденція розширення використан-

ня комбінованих сільськогосподарських агрегатів із приводом активних робочих органів від валу відбору потужності (ВВП). Актуальним питанням є вирішення проблеми оцінювання їхньої функціональної точності у ході випробувань та експлуатації.

Комбіновані сільськогосподарські агрегати мають у своєму складі декілька сільськогосподарських машин, що навішуються на передній і задній начіпні механізми енергетичного засобу [Грибик, 2019; Самородов & Надикто, 2006]. Засто-

сування таких агрегатів забезпечує виконання декількох технологічних операцій за один прохід, що дає змогу зменшити затрати праці в середньому на 20%, палива — на 25% та площу сумарної колії після проходу трактора та сільськогосподарської машини — на 45% [Надійність ..., 2009; Лебедев, Лебедев, 2021; Bulgakov et al., 2022]. У країнах ЄС та США створення комбінованих сільськогосподарських агрегатів базується на їхній універсальності, у створення яких закладено принцип блочно-модульного і базового виконання [Renius, 1983; Wendel, 1993; Vilde, 2002; Szczepaniak, 2008].

До функціональних параметрів комбінованих сільськогосподарських агрегатів можна віднести параметри, що характеризують їхні енергетичні можливості та здатність до агрегування [Vourdoubas & Dubois, 2016]. У роботі Надикто та ін., акцентується на необхідності розширення досліджень у напрямку оцінювання функціональної точності складних технічних об'єктів, до яких можна віднести комбіновані сільськогосподарські агрегати [Надикто та ін., 2005]. Вирішення цих питань є можливим у контексті реалізації розділу 8 ДСТУ EN ISO 9001:2018 [ДСТУ, 2018]. На реалізацію проблеми підвищення ефективності комбінованих сільськогосподарських агрегатів спрямовано застосування тягово-привідних МТА, в яких трактор агрегується з сільськогосподарською машиною з активними робочими органами [Prem et al., 2016].

Постановка завдань. Мета дослідження — обґрунтування методологій оцінки функціональної точності комбінованого сільськогосподарського агрегату та його основних елементів під час випробувань та експлуатації. Для досягнення поставленої мети необхідно оцінити точність функціонування за загальним коефіцієнтом корисної дії (ККД) на прикладі агрегата в складі трактора «ХТЗ-17221» та комбайна фуражного «КПФ-2,4».

Методи і матеріали. Методологічною основою роботи є узагальнення та аналіз відомих наукових результатів щодо комбі-

нованих сільськогосподарських агрегатів, що приводяться в дію від валу відбору потужності (ВВП). Для формулювання наукової проблеми, визначення мети і постановки завдань дослідження використовувався аналітичний метод і порівняльний аналіз.

Застосовуючи основні положення теорії точності складних систем [Кузнєцов, Придальний, 2023] у ході оцінювання функціональної точності комбінованого сільськогосподарського агрегата, необхідно розглянути процес виконання ним заданих функцій, спрямованих на досягнення поставленої мети, що характеризується певними значеннями її параметрів (вихідний, первинний, вторинний). При цьому вихідний параметр є результатом вирішення функціонального завдання стосовно цільового призначення агрегата в цілому (тягове зусилля трактора, швидкість руху) або його складових елементів (двигун, ВВП тощо). Первинний параметр агрегата визначається у ході безпосереднього контролю, вимірювання функціональних параметрів складових елементів, вторинний — є певною функцією первинних параметрів. Наприклад, тягове зусилля трактора залежить від потужності двигуна, швидкість руху агрегату — від частоти обертання колінчастого валу двигуна, передаточного числа трансмісії трактора тощо.

Вихідний параметр агрегату x , зазвичай, є вторинним. Будь-яке значення вихідного параметру є результатом перетворення деяких первинних відносно нього величин. До таких первинних величин відносяться характеристики вихідних сигналів S і параметрів елементів q (двигуна трактора, сільськогосподарської машини тощо) агрегату. Відповідно до цього модель агрегату обґрунтовується функціональною залежністю $x=f(S,q)$. За номінальних значень параметрів S_H, q_H , що відповідають вимогам нормативно-технічної документації (НТД), ця модель має вид $x_H=f(S_H, q_H)$. Рівень відмінності реальної x від номінальної x_H моделі оцінюється функціональною похибкою агрегату $\Delta_x = x - x_H$, що характеризує його функціональну точність, тобто здатність агрегата

виконувати задані функції з певним рівнем близькості до номінальної моделі. За умови виходу значень похибки Δ_x функціонування агрегата за допустимі межі він втрачає працездатність, тобто здатність функціонувати з необхідним (заданим) рівнем точності.

За $q_1, q_2, \dots, q_n$ елементах агрегата (двигун, привід ВВП тощо) й вхідним сигналом стану даних елементів модель функціонування агрегату записується у вигляді:

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

За вхідного сигналу контролю S_K кожного елемента агрегата q_K залежність (1) перетворюється на вигляд

$$q_{iK} = q_{iK}(S_{1K}, \dots, S_{nK}, x_{iK}, \dots, x_{nK}). \quad (2)$$

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

$$x_K = x_K(S, S_{1K}, \dots, S_{nK}, x_{1K}, \dots, x_{nK}). \quad (3)$$

Під час контролю агрегата в експлуатації значення параметрів його складових елементів змінюються й набувають значень

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

де $\Delta q_i = \Delta q_{iy}$ – відхилення значення параметра i -го елемента агрегата під час контролю, обумовлене неідентичністю умов контролю.

З урахуванням залежностей (2) та (4) записується рівняння контрольованого функціонального параметру у вигляді функції величин

$$x = x(S, S_{1K}, \dots, S_{nK}, x_{1K}, \dots, x_{nK}, \Delta q_1, \dots, \Delta q_n). \quad (5)$$

Оцінювання точності функціонування агрегату визначається шляхом порівняння його параметрів, отриманих за (5), з номінальними показниками, що встановлені в НТД.

Результати. Оцінимо точність функціонування за загальним коефіцієнтом корисної дії (ККД) агрегата в складі трактора «ХТЗ-17221» та комбайна «КПФ-2,4».

Під час передачі потужності двигуна

трактора N_e на привід активних робочих органів сільськогосподарської машин загальний ККД агрегата визначається за залежністю [Лебедев та ін, 2018]

$$\eta_3 = (N_T + N_{ВВП}) / N_e$$

де N_T – тягова потужність на гаку трактора;

$N_{ВВП}$ – потужність, що споживає сільськогосподарська машина з активними робочими органами від ВВП трактора.

Під час руху агрегата «ХТЗ-17221» + «КПФ-2,4» на гоні вихідний сигнал x , що визначає загальний ККД, формується елементами q_1 й q_2 , що передають енергію двигуна на рушії та ВВП, відповідно, за вхідних керуючих впливів S^+ , S^- (рис. 1)

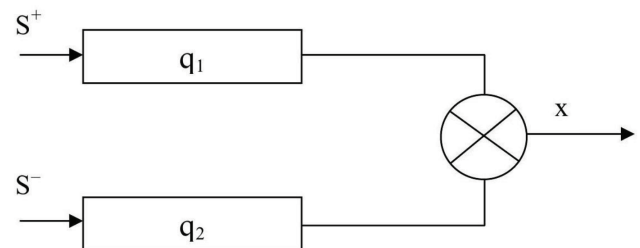


Рисунок 1 – Схема порівняння керуючих сигналів агрегата

Сигнал на виході агрегата визначається за залежністю

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

Ця залежність містить два невідомих параметри q_1 і q_2 , у зв'язку з чим під час оцінювання загального ККД агрегату розв'язуються дві контрольні задачі:

– за стійкого прямолінійного руху

подаються сигнали $|S_{1K}^-| \approx |S_{1K}^+|$;

– для перевіряння чутливості агрегату до керуючого впливу формуються сигнали $S_{2K}^- = 0$ та $S_{2K}^+ > 0$.

У цьому випадку за залежностями (3) та (6) отримаємо

У цьому випадку за залежностями (3) та (6) отримаємо

$$x_{1K} = q_{1K} S_{1K}^+ - q_{2K} S_{1K}^-;$$

$$x_{2K} = q_{1K} S_{2K}^+;$$

звідки знаходимо

$$q_{1K} = \frac{x_{2K}}{S_{2K}^+};$$

$$q_{2K} = \frac{1}{S_{1K}^-} \left(\frac{x_{2K}}{S_{2K}^+} S_{1K}^+ - x_{1K} \right).$$

Підставляючи дані залежності в (6) з урахуванням (4), отримаємо значення вихідного параметра

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

Як параметр x приймається параметр η_z , що під час виконання агрегатом технологічної операції (збирання кукурудзи на силос) за результатами експериментальних досліджень можна оцінити за нормальним законом із математичним

очікуванням $m_y \approx \frac{c+d}{2}$, де c, d – границі

поля допуску контрольованого параметра. У цьому випадку систематична складова похибки функціонування агрегату буде

рівнятися $m_{\Delta X_y} = 0$, де ΔX_y – відхилення

виміряного значення параметра від його номінального значення. Для цього випадку функціональна точність агрегата записується у вигляді $\delta_{\Delta X_y} = \delta/3$, де $\delta = b - c/2$.

Під час оцінювання $\delta_{\Delta X_y}$ вирішується

питання знаходження відхилення найбільш значущого параметра від його номінального значення, яке є свідченням втрати функціональної точності агрегата. Для агрегатів із приводом активних робочих органів сільськогосподарських машин від ВВП таким параметром є коефіцієнт, що характеризує відношення потужності, що передається через ВВП до ефективної потужності двигуна $\zeta_B = N_{ВВП} / N_e$. Цей

коефіцієнт не є стабільним унаслідок змінності моментів інерції активних робочих органів сільськогосподарської машини, врожайності культури, відхилення потужності двигуна від номінальних значень в умовах експлуатації. Наприклад, для агрегата «ХТЗ-17221» + «КПФ-2,4» під час збирання кукурудзи на силос $N_{ВВП} = 48,9$ кВт ($\zeta_B = 0,4$). При цьому у результаті обмеження швидкості тягова потужність агрегата знижується, також знижується тягова потужність трактора N_T від 52,75 кВт до 48,34 кВт. У результаті знижується загальний ККД агрегата η_z від 0,79 до 0,65.

У зв'язку з цим виникає похибка функціонування агрегата

$$\Delta x_y = x_n - x_K = x(\eta_{zn}) - x(\eta_{zK}), \quad (8)$$

де $x_K = x(\eta_{zK})$, $x_n = x(\eta_{zn})$ – початкове значення η_{zn} номінальне та під час експлуатації, що визначається поточним значенням η_{zK} відповідно.

Якщо характеристики умов роботи вибрані так, що $\eta_{zK} = m \eta_{zn}$, то $\Delta x_y = 0$. У цьому випадку легко виконується необхідна умова контролю $\eta_{zK} = m \eta_{zn}$, за якого мінімізується складова похибки (8).

Якщо умови контролю агрегату вибрані так, що $\eta_{zK} = m \eta_{zn}$, то мінімальними будуть як систематична, так і випадкова складові похибки. Під час контролю агрегата в будь-яких інших умовах, що визначаються умовами експлуатації, вводиться поправка Δ_y , що враховує неідентичність умови контролю агрегату й нормальних умов його роботи. Поправка Δ_y може вводиться для відомих заздалегідь невідповідних умов контролю, наприклад, за певного напруження трактора виявлені несправності тощо. При цьому введення поправки $\Delta_y = -\Delta x_y = x(\eta_{zn}) - x(\eta_{zK})$ встановленням значення параметра $\Delta x_K = x(\eta_{zn}) + \Delta_y$ дає змогу отримати значення параметру в умовах експлуатації, що дорівнюють потрібному значенню $x(\eta_{zn})$.

Для агрегата «ХТЗ-17221» + «КПФ-2,4» забезпечується функціональна точність за енергетичним критерієм при $\eta_z \geq 0,8$.

Функціональна точність трактора може бути оцінена за показниками його працездатності. У цьому випадку заздалегідь визначається ймовірність P_i знаходження функціонального параметру трактора в заданих межах (a_i, b_i) деяких рівнів $(i = \overline{1, n})$, за яких трактор працездатний. Наприклад, для дизеля «ЯМЗ-236Д» трактора «ХТЗ-170» за результатами експериментальних досліджень встановлено, що зменшення потужності на 10-12% відносно до номінального значення, а також її підвищення від номінального значення на 3-5 % з урахуванням заводських допусків на налаштування призводить до втрат їхньої працездатності.

Ймовірності P_i пов'язані зі щільністю ймовірності значень функціонального параметра $w(z)$ залежністю

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

Взаємозв'язок між характеристиками функціональної точності і його працездатності може бути записана у вигляді

$$\begin{aligned} P_{a_i} &= P(z < a_i) = \int_{-\infty}^{a_i} w(z) dz; \\ P_{b_i} &= P(z < b_i) = \int_{b_i}^{\infty} w(z) dz. \end{aligned} \quad (10)$$

Розподіл значень параметра $w(z)$ як функція його моментів має вид

$$w(z) = w(z / \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n). \quad (11)$$

Визначення розподілу (11) за показником працездатності здійснюється так:

— визначається закон розподілу функціонального параметра;

— вибраний розподіл підставляється в рівняння (9) та (10) для визначення

невдомих параметрів $\mu_i (i = \overline{1, n})$.

Аналіз результатів експериментальних досліджень тракторів в умовах експлуатації засвідчив, що їхні основні функціональні показники (розподіл потужності двигуна і тягової потужності трактора, навантажувальні режими ВВП) описуються нормальним законом розподілу

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

Визначеному однозначно математичним очікуванням m_z та середньоквадратичним відхиленням σ_z .

Підстановка розподілу (12) в (10) приводить до системи рівнянь

$$\begin{aligned} \Phi \left(\frac{a - m_z}{\sigma_z} \right) &= 2P_a - 1; \\ \Phi \left(\frac{b - m_z}{\sigma_z} \right) &= 1 - P_a \end{aligned} \quad (13)$$

$$\text{за } \Phi(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\alpha} e^{-t^2/2} dt \quad -$$

табульованого інтегралу ймовірностей, де

$$\sigma = \frac{a - m_z}{\sigma_z}; \quad a, \quad b \quad - \text{ границі області}$$

працездатності.

За відомих ймовірностей P_a та P_b знаходимо

$$\alpha_a = \frac{a - m_z}{\sigma_z}; \quad \alpha_b = \frac{b - m_z}{\sigma_z}.$$

Перетворюючи α_a та α_b , отримаємо

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

Обговорення. Міжнародним Кодексом стандартів ОЕСР [OECD, 2012] регламентовані випробування тракторів із оцінюванням їхньої потужності й витрат палива на твердому дорожньому фоні. Одночасно дослідженнями вчених [Надикто та ін., 2005] доведена необхідність випробування тракторів на агрофонах ґрунтообробки. При цьому основну увагу приділено ефективності функціонування комбінованих сільськогосподарських агрегатів [Грибик, 2019; Самородов & Надикто, 2006]. Необхідно відмітити відсутність публікацій щодо точності функціонування комбінованих сільськогосподарських агрегатів із оцінкою виконання заданих функцій.

У тягово-привідних машино-тракторних агрегатах (МТА) потужність двигуна реалізується через тягу трактора і в основному (до 70%) на привід активних робочих органів. На потужнісний баланс тягово-привідного МТА суттєвий вплив чинить «штовхальне зусилля» P_x від активних робочих органів сільськогосподарської машини. Залежно від співвідношення P_x і сили тяги на гаку трактора P_k можливі три випадки руху МТА:

– за $P_k > P_x$ до рушіїв трактора прикладено крутний (ведучий) момент M_k і дотична сила $P_{\text{дот}}$, що діє у напрямку руху МТА. При цьому можливе буксування рушіїв трактора;

– за $P_k = P_x$ рух МТА здійснюється без буксування трактора;

– за $P_k < P_x$ рушії трактора навантажені негативним моментом M_k , за якого сила тяги P_k направлена проти ходу руху трактора, що призводить до негативного буксування.

Різниця тягової потужності трактора N_k і «штовхального зусилля» N_x утворює надлишкову потужність $N_n = N_x - N_k$, частина якої витрачається на буксування рушіїв, а друга частина передається через трансмісію трактора на привід активних робочих органів сільськогосподарських машин. Надлишкова потужність циркулює за замкнутим колом від рушіїв трактора через трансмісію і ВВП до активних робочих органів сільськогосподарських машин, від якої – через остов машини і навіску до двигуна трактора. Під дією циркулюючої потужності відбувається інтенсивне зношення шин, трансмісії й приводу ВВП трактора, знижується тяговий ККД трактора і збільшується витрата палива МТА.

Висновки. Методологія оцінки функціональної точності комбінованого сільськогосподарського агрегата передбачає порівняння його параметрів, отриманих при контролі з урахуванням неідентичності умов контролю з номінальними значеннями, визначені нормативно-технічною документацією.

Цей аналіз дає змогу сформулювати

умову ефективної роботи тягово-привідного МТА: оптимальні тягово-енергетичні параметри МТА з активними робочими органами досягаються за рівності штовхального зусилля активних робочих органів і суми опорів коченню трактора й машини.

Перелік літератури

Грибик, Р. І. (2019). Аналіз комбінованих агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2 (105). 93-99. DOI: 10.37128/2520-6168-2019-2-13

ДСТУ EN ISO 9001:2018 Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT, EN ISO 9001:2015, IDT). К. : УкрНДНЦ. 28 с.

Кузнецов, Ю. М., & Придальний, Б. І. (2023). Теорія технічних систем в аспектах досліджень та технічної творчості : підручник для здобувачів освітніх рівнів бакалавра, магістра та доктора філософії за спеціальністю 131 «Прикладна механіка». Луцьк : Вежа-Друк, 284 с.

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

Лебедев, А., Лебедев, С. (2021). Технологічна адаптація тракторів загального призначення. Техніка і технології АПК. 4 (121). 17–21.

Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник. Друге видання, перероблене і доповнене / М.І. Чорновол, В.Ю. Черкун, В.В. Аулін та ін. За ред. М.І. Чорновола. Кіровоград, 2009. 289 с.

Надикто, В. Т., Крижачківський, М. Л., Кюрчев, В. Н. & Абдула, С. Л. (2005). Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві. Мелітополь: Видавничий будинок ММД. 337 с.

Самородов, В. & Надикто, В. (2006). Перспективний напрямок створення комбінованих та широкозахватних МТА. Техніка АПК. № 4. С. 6-9.

Bulgakov, V.; Aboltins, A.; Ivanovs, S.;

Beloiev, H.; Nadykto, V.; Ihnatiev, Y.; Olt, J. (2022). Theory of Movement of Machine-Tractor Unit with Trailer Haulm Harvester Machine. *Appl. Sci.* 12, 3901. <https://doi.org/10.3390/app12083901>

OECD (2012). Standard Code For The Official Testing Of Agricultural And Forestry Tractor Performance. Code 2. 107 c.

Prem, M., Swarnkar, R., Kantilal, V. D. K., Jeetsinh, P. S. K., & Chitharbai K. B. (2016). Combined Tillage Tools – A Review. *Curr Agri Res.* 4(2). DOI:<http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.4.2.07/>

Renius, K. T. (1983). Erhöhte Arbeitsgeschwindigkeit und Schleppertechnik: Wo liegen die Grenzen. *Landtechnik.* Bd. 11. 466–469.

Szczepaniak, J. (2008). Simulation calculation of tractor-potato planter combination model. In *Proceedings of the 7th International Workshop on Modeling and Applied Simulation, Held at the International Mediterranean Modeling Multiconference, Genova, Italy, 17-19 September 2008*; pp. 240–245

Vilde, A. (2002). Development of technologies and machinery for production of sugar beet in Latvia. In *Proceedings of the Conference Safe and Economical Agricultural Technologies, Priekule, Latvia*; pp. 62–66.

Vourdoubas, J., & Dubois, O. (2016). Energy and agri-food systems: production and consumption. *Zero Waste in the Mediterranean: Natural Resources, Food and Knowledge. Mediterra 16.* Paris: Presses de Sciences Po, 2016. P. 155–174. URL: https://www.researchgate.net/publication/362846600_ENERGY_AND_AGRIFOOD_SYSTEMS_PRODUCTION_AND_CONSUMPTION

Wendel, C. H. (1993). *Nebraska Tractor Tests Since 1920.* Motorbooks International, Osceola, Wisconsin. 548 p.

References

Bulgakov, V.; Aboltins, A.; Ivanovs, S.; Beloiev, H.; Nadykto, V.; Ihnatiev, Y.; Olt, J. (2022). Theory of Movement of Machine-Tractor Unit with Trailer Haulm Harvester Machine. *Appl. Sci.* 12, 3901. <https://doi.org/10.3390/app12083901>

DSTU EN ISO 9001:2018 Quality man-

agement systems. Requirements (ISO 9001-2015, IDT, EN ISO 9001-2015, IDT). K.: UkrNDNC. 28 p.

Hrybyk, R. I. (2019). Analysis of combined units for pre-sowing tillage. *Technology, energy, transport, agricultural industry.* 2 (105). 93–99. DOI: 10.37128/2520-6168-2019-2-13

Kuznetsov, Yu. M., & Prydalnyi, B. I. (2023). The theory of technical systems in the aspects of research and technical creativity: a textbook for students of bachelor's, master's and doctor of philosophy degrees in specialty 131 «Applied mechanics». Lutsk: Vezha-Druk, 284 p.

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., Lebedev, S. (2021) Technological adaptation of general purpose tractors. *Machinery and technology of agro-industrial complex.* 4 (121). 17–21.

Nadykto, V. T., Kryzhachkivskyi, M. L., Kyurchev, V. N. & Abdula, S. L. (2005). *New mobile energy means of Ukraine. Theoretical bases of use in agriculture.* Melitopol: MMD Publishing House. 337 p.

OECD (2012). Standard Code For The Official Testing Of Agricultural And Forestry Tractor Performance. Code 2. 107 c.

Prem, M., Swarnkar, R., Kantilal, V. D. K., Jeetsinh, P. S. K., & Chitharbai K. B. (2016). Combined Tillage Tools – A Review. *Curr Agri Res.* 4(2). DOI:<http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.4.2.07/>

Reliability of agricultural machinery: Textbook. The second edition, revised and supplemented / M.I. Chernovol, V.Yu. Cherkun, V.V. Aulin et al. Under the editorship E. Chornovola Kirovohrad, 2009. 289 p.

Renius, K. T. (1983). Erhöhte Arbeitsgeschwindigkeit und Schleppertechnik: Wo liegen die Grenzen. *Landtechnik.* Bd. 11. 466–469.

Samorodov, V. & Nadykto, V. (2006). Prospective direction of creation of combined and wide-ranging MTA. *Agricultural machinery.* No. 4. P. 6–9.

Szczepaniak, J. (2008). Simulation calcu-

lation of tractor-potato planter combination model. In Proceedings of the 7th International Workshop on Modeling and Applied Simulation, Held at the International Mediterranean Modeling Multiconference, Genova, Italy, 17-19 September 2008; pp. 240–245

Vilde, A. (2002). Development of technologies and machinery for production of sugar beet in Latvia. In Proceedings of the Conference Safe and Economical Agricultural Technologies, Priekuli, Latvia; pp. 62-66.

Vourdoubas, J., & Dubois, O. (2016). En-

ergy and agri-food systems: production and consumption. Zero Waste in the Mediterranean: Natural Resources, Food and Knowledge. Mediterra 16. Paris: Presses de Sciences Po, 2016. P. 155-174. URL: https://www.researchgate.net/publication/362846600_ENERGY_AND_AGRIFOOD_SYSTEMS_PRODUCTION_AND_CONSUMPTION

Wendel, C. H. (1993). Nebraska Tractor Tests Since 1920. Motorbooks International, Osceola, Wisconsin. 548 p.

UDC 629.133.004.4

METHODOLOGY FOR EVALUATING THE FUNCTIONAL ACCURACY OF COMBINED AGRICULTURAL UNITS

Lebedev A., Dr. of Eng. Scs, Prof.,

e-mail: hfukrndipvt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1975-3323>

Lebedeva I.,

e-mail: hfukrndipvt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1349-0702>

Kozlov Yu.,

e-mail: hfukrndipvt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3546-0010>

Kharkiv branch of L. Pogorilyy UkrNDIPVT

Summary

The study aims to substantiate the methodology for assessing the functional accuracy of combined agricultural units and their main elements during testing and operation.

Methods. The methodological basis of the work is the generalization and analysis of known scientific results regarding combined agricultural units during power selection. Analytical methods and comparative analysis were used to formulate the scientific problem, determine the goal, and set research objectives.

Results. When evaluating the functional accuracy of a combined agricultural unit, the process of the unit's performance of specified functions aimed at achieving the set goal, characterized by certain values of its parameters (initial, primary, secondary), was considered.

The condition for the effective operation of the traction-drive combined MTA with active working bodies of aggregated agricultural machines is formulated, which is achieved when the pushing force of the active working bodies and the sum of the rolling resistances of the tractor and the machine are equal.

Conclusions. The methodology for assessing the functional accuracy of the combined agricultural unit involves comparing its parameters obtained during control, taking into account the non-identity of the control conditions, with the nominal values determined by regulatory and technical documentation. This analysis allows us to formulate the condition for the effective operation of the traction-drive MTA: the optimal traction and energy parameters of the MTA with active working bodies are achieved when the pushing force of the active working bodies and the sum of the rolling resistances of the tractor and the machine are equal.

Keywords: combined agricultural unit, traction-drive MTA, unit elements, overall efficiency, functional, accuracy, workability, work efficiency.