

АКТИВНА І ПАСИВНА РОБОТА ТРАКТОРА У СКЛАДІ ҐРУНТОБРОБНОГО АГРЕГАТА

Лебедєв А., д-р техн. наук, проф.,

<https://orcid.org/0000-0002-1975-3323>; e-mail: lebedev@khntusg

Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка,

Лебедєв С., канд. техн. наук,

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

Харківська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

Анотація

Мета дослідження. Підвищення ефективності використання трактора у складі ґрунтообробного агрегата науково-технічним обґрунтуванням енергозбереження. Ця мета досягається підвищенням активної (корисної) та зниженням пасивної (не корисної) роботи трактора.

Методи дослідження. В основу оцінювання тягово-енергетичних і динамічних параметрів тракторів у складі ґрунтообробних агрегатів покладено метод парціальних прискорень, який базується на зворотному переході від векторної суми у просторі: сил, які діють на трактор до векторної суми у просторі прискорень.

Результати дослідження. На зниження активної роботи ґрунтообробного агрегата і відповідно на підвищення пасивної роботи істотно впливає нерівномірних рух. Запропонована залежність для визначення додаткових витрат енергії на осциляційні рухи під час нерівномірного руху тракторного агрегата. Доведено, що додаткові витрати енергії під час несталого руху ґрунтообробного агрегата на гоні складають 2-3 % (пасивна робота) від загальних енерговитрат.

На основі методу парціальних прискорень обґрунтована методологія оцінювання тягово-енергетичних і динамічних показників трактора під час технологічного процесу без застосування динамометричних засобів.

Модернізований вимірювально-реєстраційний комплекс, розроблений за участю авторів статті у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті, Харківському національному технічному університеті сільського господарства ім. Петра Василенка та Харківській філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, у напрямку програмного забезпечення оцінки опору агрегованих машин, тягового ККД трактора, поздовжніх прискорень агрегата. Застосування цього комплексу під час випробування тракторів направлено на реалізацію методики УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого з визначенням тягових показників тракторів і нормативів Кодексу 2 Організації економічного співробітництва і розвитку по експлуатаційних випробувань тракторів (ОЕСР).

Висновки. У статті викладено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової проблеми підвищення ефективності роботи трактора у складі ґрунтообробного агрегата, яке базується на зменшенні додаткових енергетичних витрат (пасивної роботи). Результати досліджень дали змогу сформулювати основні теоретичні та науково-практичні висновки.

Наукова цінність дослідження полягає в уточненні залежності роботи трактора у складі ґрунтообробного агрегата у напрямку зниження некорисної (пасивної) роботи на повороти на кінці гону і на підвертання на гоні. Доведено, що для забезпечення максимальної роботи агрегата необхідна його робота з підвищеною силою тяги і на понижений швидкості руху. Удосконалено динамічну модель трактора у складі ґрунтообробного агрегата. Практична цінність дослідження полягає в розробленому на основі методу парціальних прискорень стандарту з оцінювання тягових властивостей трактора СОУ 71.2-37-046043080-017:2015, рекомендованого Міністерством

аграрної політики та продовольства України для використання під час випробування і модернізації тракторів.

Ключові слова: трактор, агрегат, робота, прискорення, вимірjувальний комплекс, тяговий ККД, витрати енергії.

Вступ. Основою ґрунтообробних агрегатів є трактор, активна (корисна) робота якого коливається в межах 60-70 % енергії двигуна, інша енергія витрачається на пасивну (не корисну) роботу [Лебедев А., 2021]. За цими показниками вітчизняні трактори поступаються закордонним на 10-15 % [Nebraska, 2010...2019]. Пасивна робота трактора обумовлена переважно силами шкідливого опору за наявності кута між векторами сили і переміщення, наприклад у складі орного агрегата за асиметричної дії сили опору плуга. Це твердження базується на основних положеннях теоретичної механіки [Тарг С. М., 1968] про роботу сили на прямолінійній ділянці шляху. Звичайно, з підвищенням розбіжностей напрямків дій тягової сили трактора і шляху підвищується пасивна робота, яка призводить до підвищення витрат енергії на рух трактора.

Класичний підхід до трактора як до об'єкта проектування і керування [Трактори, 1988] полягає в уявленні про нього як про тягову машину, яка має один зв'язок із зовнішнім середовищем (ходова система). Таке уявлення призводить до постановки задач оптимізації властивостей трактора: тягове зусилля та КПД, опір руху, буксування і т. п. Проте трактор сам по собі роботу не виконує і застосовується як тягова, несна, енергетична основа агрегата, наприклад ґрунтообробного. У цьому випадку зв'язок трактора з ґрунтом відбувається за двома каналами (ходова система, робоче знаряддя), які призводять до нестабільності дії сили тяги трактора і опору агрегатованої сільгоспмашини [Kalinin E. та ін., 2019]. Суттєва особливість руху трактора не отримала належного висвітлення в технічній літературі щодо оцінювання виконаної ним роботи і ставить нові завдання для вирішення цієї наукової проблеми.

Рішення проблеми енергозбереження мобільних машин в аграрному секто-

рі відображена у ряді робіт закордонних видань [Donnell, 2001; Fluck R.C., 2014; Klets D.M., 2013]. У цих роботах відзначається перспективність досліджень у напрямку системного рішення проблеми підвищення енергоефективності тракторних агрегатів. Пропонується оцінку енергетичних параметрів трактора визначати як за тяговим зусиллям, так і за моментом на валу двигуна, застосовуючи його енергозбереження як один з основних критеріїв ефективності.

Постановка завдань. Потенційні можливості трактора оцінюються за його потенційною характеристикою, розглядаючи яку в динаміці доказано твердження про максимальну потужність трактора, на основі якої запропонована методика розрахунку тягового ККД трактора під час виконання технологічного процесу. Відомі методики розрахунку тягового ККД трактора базуються на його оцінці залежно від коефіцієнта використання зчпної ваги трактора, буксування рушіїв, ККД трансмісії, компонування і колісної формули [Надикто В., Кюрчев В., 2021]. Недоліком цієї методики є неможливість врахувати витрати енергії трактора на забезпечення стійкості його руху на гоні під час технологічного процесу. Для рішення цієї проблеми необхідно розробити нову методику оцінювання тягового ККД трактора від його тягового зусилля і відхилення напрямку руху від прямолінійного. Для забезпечення роботи трактора з максимальним тяговим ККД обґрунтування його динамічної моделі оптимального поєднання тягового зусилля і маси за критерієм виконаної роботи.

Практика ставить перед наукою необхідність рішення проблеми розроблення методу підвищення тягово-енергетичних і динамічних параметрів машинно-тракторних агрегатів (МТА) за критерієм енергозбереженням.

Мета дослідження: підвищення ефективності використання трактора у складі ґрунтообробного агрегата науково-технічним обґрунтуванням енергозбереження.

Завдання роботи:

– обґрунтувати способи оцінки опору і масу сільгоспмашин, агрегованих з трактором, тяговий ККД трактора під час виконання технологічного процесу;

– теоретично і експериментально оцінити активну і пасивну роботу трактора у складі ґрунтообробного агрегата під час несталого руху;

– сформулювати взаємозв'язок витрат енергії трактора під час технологічного процесу від положення його центра мас.

Методи і матеріали. В основу оцінки тягово-енергетичних і динамічних параметрів тракторів у складі ґрунтообробних агрегатів покладено метод парціальних прискорень [Метод, 2012], який базується на зворотному переході від векторної суми у просторі сил, які діють на трактор до векторної суми у просторі прискорень.

Цей метод реалізований у СОУ-П УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого 71.2-37-04604309-017:2015 з визначення тягових показників тракторів, розробленому у Харківській філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого за участі авторів цієї статті.

Застосування інформації про прискорення мобільних машин перспективне під час оцінювання їхніх функціональних параметрів [Hernandez W., 2006].

Оцінювати прискорення руху тракторного агрегата на гоні ефективно вимірювально-реєстраційним комплексом з трьома робочими осями, розробленим за участі авторів цієї статті, [Метод, 2012], [Klets D. та ін., 2009], [Hernandez W., 2006]. Основою комплексу є ємкісні акселерометри ММА 7260 QT з трьома робочими осями і межею вимірювання $\pm 1,5 g$.

Цей комплекс використовується для визначення тягово-динамічних властивостей мобільних машин, включаючи трактори у складі ґрунтообробних агрегатів [Лебедев А. Т., Артьомов М. П., 2013]. Максимальна похибка порівнювання теоретичних результатів з експерименталь-

ними не перевищує 5 %.

Світовими центрами з випробування тракторів, зокрема Німецьким сільськогосподарським товариством [DLG], прийнята загальновизнана методика, яка передбачає 12 циклів випробувань на польових технологічних операціях за змінного у часі зовнішнього збурення. Для вдосконалені методики випробувань тракторів на Україні у цьому напрямку буде затребуваний вимірювально-реєстраційний комплекс, який забезпечує реалізацію нормативів Кодексу 2 ОЕСР [OECD Code 2, 2016].

Результати. Трактор у складі ґрунтообробного агрегата працює за циклічним режимом (робочій хід, поворот у кінці гону), виконану роботу яку можна оцінити за залежністю:

$$A = \frac{N_{\text{гк}}}{1 + \left(\frac{1}{v_{\text{х.х.}} + \frac{T_{\text{он}}}{S_p}} \right) v_p}, \quad (1)$$

де $N_{\text{гк}}$ – тягова потужність трактора;
 $v_{\text{х.х.}}$, v_p – швидкості робочого і холостого ходу;

$T_{\text{он}}$ – час зупинки в циклі і повороту в кінці гону;

S_p – протяжність робочого ходу (довжина гону).

Залежність (1) визначає оптимальні значення тягової потужності трактора $N_{\text{гк}}$ і робочої швидкості v_p для забезпечення максимальної корисної роботи A агрегата. Це експериментально підтверджено в Харківській філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого в агрегуванні трактора ХТЗ-17221 з глибокорозпушувачем ГРУ-2,5 (Франк-2,5) (рис. 1).

Корисна робота A цього агрегата оцінена за його тягово-швидкісними характеристиками (рис. 2).

Аналіз цієї характеристики показує, що максимум $N_{\text{гк}}$, A і η_r не збігається. Для забезпечення максимальної корисної роботи агрегата необхідна його робота з під-



Рисунок 1 – Ґрунтообробний агрегат ХТЗ-17221 + глибокорозпушувач ГРУ-2,5 в роботі

вищеною силою тяги і зниженою швидкістю руху.

В агрегуванні трактора із сільгоспмашиною енергія витрачається на виконання технологічної операції і на динамічні процеси, які виникають у системі «трактор-сільгоспзнаряддя». Тягові властивості трактора визначаються співвідношенням рушійних (тягових) сил та сил опору у несталому русі (розгін, перемикавання передач, нестабільність тягового опору сільгоспмашини і т. д.). У цьому випадку зміна поступальної швидкості руху тракторного агрегата оцінюється за формулою:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{P_\partial - \sum P_c}{m_{ae}}, \quad (2)$$

де P_∂ – рушійна сила агрегата (сила тяги трактора);

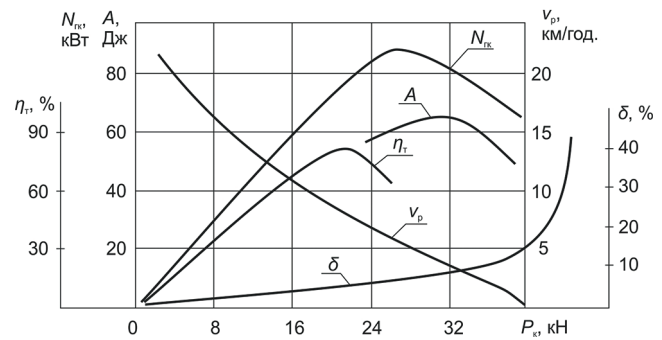
$\sum P_c$ – сума сил опору руху агрегата;

m_{ae} – приведена до поступально рушійних частин маса агрегата.

У класичній механіці [Тарг С.М., 1968] відповідно до рівняння (2) оцінюється несталий рух системи, тобто $dv/dt \neq 0$ за $P_\partial \neq \sum P_c$.

Інноваційний напрямок тягової динаміки трактора полягає у рішенні зворотної задачі: за відомого dv/dt оцінюється P_∂ і $\sum P_c$. Це вирішується методом парціальних прискорень, який базується на зворотному переході від векторної суми у просторі сил до векторної суми у просторі прискорень [Метод, 2012].

Запропоновано оцінювати дотичне тя-



$N_{ГК}$ – тягова потужність; A – корисна робота;
 η_t – тяговий ККД;
 v_p – швидкість руху; δ – буксування

Рисунок 2 – Тягово-швидкісна характеристика ґрунтообробного агрегата ХТЗ-17221 + глибокорозпушувач ГРУ-2,5 (Франк-2,5)

гове зусилля на тягових колесах P_T і на гаку $P_{ГК}$ трактора за залежностями [Лебедєв А., 2021]:

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

$$P_{ГК} = m_T \left[\dot{v}_{Tf}(v) - \left(1 + \frac{m_T}{m_{сг}} \right) \dot{v}_T^B(v) \right], \quad (4)$$

де m_T , $m_{сг}$ – маса трактора і сільгоспмашини, відповідно;

$\dot{v}_T(v)$, $\dot{v}_T^B(v)$ – лінійні прискорення трактора відповідно під час розгону і вибігу (вимкнена муфта зчеплення, нейтральна передача трансмісії);

\dot{v}_{Tf} – прискорення трактора під час дії тільки сили опору коченню на колесах.

За відомої швидкості трактора оцінюється ефективна потужність двигуна $N_e(v)$ та на гаку $N_{ГК}(v)$ трактора:

$$N_e(v) = P_T V_{ар} = (m_T + m_{сг}) V [\dot{V}_{ар}(v) - \dot{V}_{арв}(v)] \quad (5)$$

$$N_{ГК}(v) = P_{ГК} V_{ар} = m_{ар} V_{ар} \left[\dot{V}_{Tf}(v) - \left(1 + \frac{m_{сг}}{m_{ар}} \right) \dot{V}_{арв}(v) \right] \quad (6)$$

За співвідношенням $N_{ГК}(v)$ та $N_e(v)$ оцінюється тяговий ККД трактора

$$\eta_t(v) = \frac{N_{ГК}(v)}{N_e(v)} = \frac{1 + \frac{m_{сг}}{m_T}}{\frac{\dot{V}_T^f(v)}{\dot{V}_T(v) - \dot{V}_T^B(v)} - \dot{V}_T^B(v)} \quad (7)$$

Для оцінки за рівнянням (5) і (6) потужності двигуна, на гаку трактора та його тягового ККД (7) під час виконання технологічного процесу визначається маса трактора, агрегатованої сільгоспмашини та її сила опору. Авторами цієї статті сформульовані нові способи визначення маси та опору сільгоспмашин, реалізовані на випробуваннях тракторних агрегатів у Харківській філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого.

Сутність цих способів:

– маса сільгоспмашин в агрегуванні з трактором визначається за прискоренням вибігу (вимкнена муфта зчеплення, нейтральна передача) на певному ґрунтовому фоні, наприклад на ґрунтовій дорозі, до повної зупинки трактора із сільгоспмашиною та без неї на однаковій швидкості початку вибігу;

– сила опору сільгоспмашини в агрегуванні з трактором визначається за відомої маси трактора і сільгоспмашини за різниці поздовжніх прискорень розгону на певному ґрунтовому фоні трактора із сільгоспмашиною в транспортному і робочому положеннях.

За залежністю (7) розраховані по експериментальним значенням $\dot{v}_T(v)$, $\dot{v}_T^B(v)$ і \dot{v}_{Tf} максимальні значення $\eta_{T \max}$ для тракторів МТЗ-1221 – $\eta_{T \max} = 0,58$, ХТЗ-17221 – $\eta_{T \max} = 0,78$, затребуваних на ринку України.

За даним показником трактора МТЗ-1221 та ХТЗ-17221 істотно відстають від закордонних аналогів. Наприклад [Nebraska, 2015...2019], трактор Case IH Farmall 95 ($N_e - 60,2$ кВт) має $\eta_{T \max} = 0,92$; John Deere 6130D ($N_e - 81,76$ кВт) – $\eta_{T \max} = 0,85$; John Deere 8335R ($N_e - 246,0$ кВт) – $\eta_{T \max} = 0,86$; New Holland T8.390 ($N_e - 221,4$ кВт) – $\eta_{T \max} = 0,89$.

Для забезпечення $\eta_{T \max}$ необхідне оптимальне поєднання P_T і m_T трактора. Подібні задачі в теоретичній механіці вирішуються приведенням сил і маси тіла до єдиної точки [Тарг С.М., 1968]. У цьому випадку динамічна модель МТА буде являти собою матеріальну точку з масою m_n , яка рухається під дією сили F_n так,

що узагальнена координата S цієї точки збігається з узагальненою координатою агрегата у будь-який момент часу.

При цьому рух агрегата буде забезпечуватися з мінімальними витратами енергії.

Для визначення сили F_n і маси m_n МТА необхідно виконання умов:

$$\int_{S_0}^S F_n dS = \sum_{k=1}^m A_k; \quad (8)$$

$$\frac{m_n v^2}{2} = \sum_{i=1}^n T_i,$$

де A_k – робота кожної із зовнішніх і внутрішніх сил, що діють на МТА;

r, n – число сил і рухомих ланок;

T_i – кінетична енергія на початку і в кінці розглядуваного проміжку часу.

Для цих умов F_n і m_n визначається за залежністю:

$$F_n = \sum_{k=1}^m \left[F_k \frac{v_k}{v} \cos(F_k, v_k) + M_k \frac{w_k}{v} \right]; \quad (9)$$

$$m_n = \sum_{i=1}^n \left[m_i \left(\frac{v_{si}}{v} \right)^2 + J_{si} \left(\frac{w_i}{v} \right)^2 \right], \quad (10)$$

де v_k – швидкість точки прикладення сил F_k , яка діє на ланку агрегата;

w_k – кутова швидкість ланки агрегата, на яку діє пара сил з моментом M_k ;

m_i – маса ланки;

v_{si} – модуль швидкості центру мас ланки;

w_i – модуль кутової швидкості ланки;

J_{si} – момент інерції ланки відносно осі, яка проходить через центр мас перпендикулярно площині руху.

У загальному випадку для побудовання динамічної моделі МТА за точку приведення, тобто точку, у якій зосереджена приведена маса, можна обрати будь-яку точку агрегата. За цих умов необхідно виконати умови про рівність кінетичної енергії приведеної маси агрегата з кінетичною енергією всіх ланок агрегата. Рекомендується, [Динамика, 2001] оцінюючи динаміку трактора, за точку приведення приймати його центр мас.

Методика приведення діючих сил F_n і мас m_n реалізована в оцінюванні стійкості руху та експлуатаційно-технічних показників гусеничного трактора ХТЗ-200

(номінальна потужність двигуна 139,7 кВт) з гід्रोоб'ємним (безступінчастим) механізмом повороту [Лебедев А. Т., Лебедев С. А., 2013]. Експериментально доказано, що під час виконання трактором орних робіт завдяки забезпеченню стабільності центра мас агрегата його продуктивність за годину технологічного часу підвищилася на 3,5 % з одночасним зниженням потужності витрати палива на 7,0 %.

Процес руху МТА під час виконання технологічного процесу складається з трьох фаз: розгін, несталий рух, гальмування (рис. 3, 4) [Лебедев А. Т., Артёмов М. П., 2013].



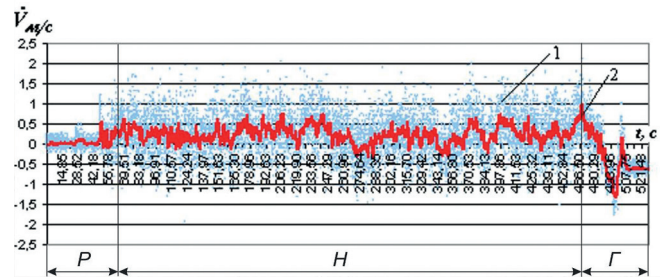
Рисунок 3 – Загальний вигляд ґрунтообробного агрегата John Deere 8430 + John Deere 637

Сили, прикладені до МТА, періодично змінюються. Якщо до того ж сума робіт усіх сил за період їхньої дії дорівнює нулю, то швидкість приведення також буде змінюватися періодично. Указані умови є необхідними і достатніми для підтримки сталого режиму. Період зміни швидкості точки приведення (узагальнені швидкості МТА) називається циклом, для якого виконується умова рівності нулю сумі робіт всіх сил. Рівність робіт буде виконуватися, якщо робота рушійних сил A_g^y за цикл дорівнює роботі всіх сил опору A_c^y (за модулем):

$$A_g^y = A_c^y. \quad (11)$$

Розглядаючи поздовжній рух агрегата John Deere 8430 + John Deere 637 (рисунок 4), можна відзначити його збурений рух на етапах розгону, несталого руху і гальмування.

У цьому випадку енерговитрати агрегата пропонується оцінювати за залежністю:



1 – масив експериментальних значень прискорень; 2 – відфільтровані значення прискорень. Режими руху: Р – розгін; Н – несталий; Г – гальмування

Рисунок 4 – Графік поздовжніх прискорень агрегата John Deere 8430 + John Deere 637 на довжині гону 1400 м

$$E_{ar} = \int_0^{\infty} N_{ar}(t) dt, \quad (12)$$

де $N_{ar}(t) = m_{ar} \frac{dV_{ar}}{dt} V_{ar}(t)$ – потуж-

ність, яка необхідна для руху агрегата;

m_{ar}, V_{ar} – відповідно маса та швидкість руху агрегата.

Доведено, що додаткові витрати енергії під час несталого руху агрегата John Deere 8430 + John Deere 637 на гоні складають 2-3 % (пасивна робота) від загальних енерговитрат.

Обговорення. Результати досліджень направлені в основному на підвищення активної (корисної) і зниження пасивної (не корисної) роботи трактора у складі ґрунтообробних агрегатів. Запропоновані нові залежності оцінки тягово-швидкісних характеристики трактора і метод їх оцінювання під час виконання трактором технологічного процесу. Доведено підвищення пасивної роботи трактора під час його несталого руху у складі ґрунтообробного агрегата. Обґрунтовано напрямок підвищення активної роботи трактора забезпеченням стабільності його центру мас в агрегуванні з різними сільгоспмашинами.

Закордонні вчені звертають увагу на те, що ефективність тракторів суттєво залежить від режимів роботи двигуна, де наявні відповідні резерви підвищення економічності.

Про це свідчать спрямованість методики випробування тракторів за процедурою Кодексу 2 ОЕСР в лабораторіях NTTL [Nebraska, 2015-2019] у США та Німеччині [DLG, 2015-2019]. При цьому найбільш узагальненими критеріями ефективності тракторів є ККД машинно-тракторного агрегата та близький за суттю до нього показник – середня питома витрата палива під час тягово-динамічних випробувань за циклами DLG PowerMix, які імітують повний комплекс сільськогосподарських операцій. В Україні випробування тракторів за ДСТУ 7462:2013 (підрозділи 4.3-4.6) базуються на гальмуванні їх через ВВП і на рухливій гальмівній установці.

Недолік методик випробувань тракторів в лабораторіях NTTL (США) і DLG (Німеччина) з оцінки тягово-енергетичних показників тракторів полягає у тому, що вони передбачають випробування під час сталого руху тракторних агрегатів без урахування циклів робочого і холостого ходу. Це не дає змоги оцінити повну роботу трактора у технологічній операції.

Результатами досліджень доведено, що максимальне значення активної роботи трактора загального призначення на енергоємних ґрунтообробних операціях досягається в його роботі з підвищеною силою тяги і на зниженій швидкості руху. Додаткові витрати енергії під час несталого руху агрегата на гоні складають 2-3 % (пасивна робота) від загальних енерговитрат.

Визначення зазначених додаткових енерговитрат не передбачене чинною нормативною документацією, внаслідок цього немає можливості обґрунтувати напрямки модернізації та ефективної експлуатації тракторів.

Вирішити цю проблему можна методом парціальних прискорень [Метод, 2012]. Цей метод реалізований у СОУ УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого і вимірювально-реєстраційному комплексі, який не має світових аналогів. Цим методом і вимірювально-реєстраційним комплексом оцінено ефективну потужність двигуна на гаку трактора і тяговий ККД тракторів вітчизняного і закордонного

виробництва.

Висновки. У статті викладено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової проблеми підвищення ефективності роботи трактора у складі ґрунтообробного агрегата, яке базується на зменшенні додаткових енергетичних витрат (пасивної роботи). За результатами досліджень сформулювали основні теоретичні та науково-практичні висновки.

1. Обґрунтовано використання методу парціальних прискорень, для оцінки тягових властивостей трактора і опору руху агрегованих машин під час технологічного процесу.

На основі методу парціальних прискорень за участі авторів статті розроблено стандарт з оцінювання тягових властивостей трактора СОУ-П 71.2-37-046043080-017:2015, рекомендований Міністерством аграрної політики та продовольства України для використання під час випробувань і модернізації тракторів.

2. Уточнена модель визначення роботи трактора у складі ґрунтообробного агрегата з урахуванням не корисної (пасивної) роботи на повороти в кінці гону і на підвертання на гоні. Доведено, що для забезпечення максимальної роботи агрегата необхідна його робота з підвищеною силою тяги і на пониженій швидкості руху.

3. Доведено та експериментально підтверджено, що додаткові витрати енергії під час несталого руху агрегата на гоні складають 2-3 % (пасивна робота) від загальних енерговитрат.

4. Модернізовано вимірювально-реєстраційний комплекс, розроблений за участю авторів статті, у напрямку програмного забезпечення оцінки опору агрегованих з трактором сільгоспмашин, тягового ККД трактора, поздовжніх прискорень агрегата.

Цей комплекс – призер Всеукраїнського конкурсу «Кращий вітчизняний товар 2013 року» в номінації «Наука».

5. Відкритим залишається питання критеріїв оцінювання технологічної адаптації тракторів. У більшості наукових праць трактори оцінюються за критеріями

тягового ККД трактора і середньої питомої витрати палива у тягово-динамічних випробуваннях без врахування специфіки виконаного технологічного процесу.

Перелік літератури

Александров Е. Е., Волонцевич Д. О., Карпенко В. А., Лебедев А. Т., Перегон В. А., Самородов В. Б., & Туренко А. Н. (2001). Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных машин. Харьков: Издательство ХГАДТУ (ХАДИ). 642.

Артемов Н. П., Лебедев А. Т., Подригало М. А., Полянський А. С., Клец Д. М., Коробко А. И., & Задорожная В. В. (2012). Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин. Харьков: Міськдрук. 220.

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

Лебедев А. Т., & Артемов М. П. (2013). Обґрунтування ефективності використання ґрунтообробних машинно-тракторних агрегатів моделюванням парціальних прискорень. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 17 (2). 280-292.

Лебедев А. Т., & Лебедев С. А. (2013). Устойчивость движения гусеничного трактора с гидрообъемным механизмом поворота при агрегатировании с плугом. Тракторы и сельхозмашины. 7. 24-27.

Надикто В., Кюрчев В. (2021). Нові елементи теорії тягової динаміки та експлуатації колісних тракторів. Техніка і технології АПК. 4 (117). 21-26.

Nebraska Tractor Test Laboratory [Електронне джерело]. Режим доступу до ресурсу: Test Reports | Tractor Test Lab | Nebraska (unl.edu).

ОЕСД Code 2 (2016). Кодекс стандартів Організацій економічного співробітництва і розвитку (ОЭСР) «Испытания эксплуатационных качеств сельскохозяйственных тракторов» (официальный перевод): информационное издание. Москва: ФГБНУ «Росинформатех». 104.

Тарг С. М. (1968). Краткий курс теоретической механики. М.: Наука. 480.

Тракторы: Теория (1988). Под общ. ред. Гуськова В. В. Москва: Машиностроение. 376.

DLGe.V. – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft [Електронне джерело]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.dlg.org/de/>

Donell (2001). Farm Power and Machinery Management, Wiley-Blackwer. 368.

Fluck R.C. (2014). Energy Analysis for Agricultural Systems. Energy in Farm Productions. 45-51.

Kalinin E., Shuliak M., & Koliesnik I. (2019) Optimization of machinery operation modes from the point of view of their dynamics. Current Problems of Transport: Proceedings of the 1-st International Scientific Conference, 211-222.

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.

Klets D., Korobko A., Podrigalo M., & Voronova E. (2009). Accelerometers application in the automobile dynamic testing. Active Processes in Higher Technical Education to Train Specialists for Transportation and Highway Engineering and Automobile Industry: collection of scientific works International Conference. Kharkiv. 51-54.

Hernandez W. (2006). Improving the response of a rollover sensor placed in a car under performance tests by using optimal signal processing techniques. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Montreal, Quebec, Canada. 2803-2808.

References

Aleksandrov E. E., Volontsevich D. O., Karpenko V. A., Lebedev A. T., Peregon V. A., Samorodov V. B., & Turenko A. N. (2001). Dynamics of transport and traction wheeled and tracked vehicles. Kharkiv: Publishing house KhGTANU (KhANI). 642.

Artemov N. P., Lebedev A. T., Podrigalo M. A., Polyanskiy A. S., Klets D. M., Korobko A. I., & Zadorozhnaya V. V. (2012).

Partial acceleration method and its applications in the dynamics of mobile machines. Kharkiv: Miskdruk. 220.

DLG e.V. – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft [Електронне джерело]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.dlg.org/de/>

Donell (2001). *Farm Power and Machinery Management*, Wiley-Blackwer. 368 p.

Fluck R. C. (2014). *Energy Analysis for Agricultural Systems*. *Energy in Farm Productions*/ 45-51.

Hernandez W. (2006). Improving the response of a rollover sensor placed in a car under performance tests by using optimal signal processing techniques. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Montreal, Quebec, Canada. 2803-2808.

Kalinin E., Shuliak M., & Koliesnik I. (2019) Optimization of machinery operation modes from the point of view of their dynamics. *Current Problems of Transport: Proceedings of the 1-st International Scientific Conference*, 211-222.

Klets D., Korobko A., Podrigalo M., & Voronova E. (2009). Accelerometers application in the automobile dynamic testing. *Active Processes in Higher Technical Education to Train Specialists for Transportation and Highway Engineering and Automobile Industry: collection of scientific works International Conference*. Kharkiv. 51-54.

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., & Artomov M. P. (2013). Substantiation of efficiency of use of tillage machine-tractor units by modeling of partial accelerations. *Technical and technological aspects of development and testing of new technologies and technologies for the Ukrainian government*. 17 (2). 280-292.

Lebedev A. T. (2021). Current problems of the theory of the tractor. *Technics and technologies of agro-industrial complex*. 1 (118). 20-25.

Lebedev A. T., & Lebedev S.A. (2013). Stability of movement of a caterpillar tractor with a hydrostatic swing mechanism when aggregated with a plow. *Tractors and agricultural machinery*. 7. 24-27.

Nadikto V., & Kyurchev V. (2021). News of the theory of traction dynamics and operation of wheel tractors. *Technics and technologies of the agro-industrial complex*. 4 (117). 21-26.

Nebraska Tractor Test Laboratory [Electronic source]. Resource access mode: Test Reports | Tractor Test Lab | Nebraska (unl.edu).

Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) Code of Standards “Performance Testing for Agricultural Tractors” (official translation): information publication. Moscow: Federal State Budgetary Scientific Institution «Rosinformagrotech». 104.

Targ S. M. (1968). *A short course in theoretical mechanics*. M.: Science. 480.

Tractors: Theory (1988). Under total. ed. Guskova V.V. M.: Mechanical Engineering. 376.

UDC 631.37

ACTIVE AND PASSIVE WORK OF THE TRACTOR IN THE COMPOSITION OF TILLAGE UNITS

Lebedev A., D-r. Tech. Scs, prof.,

<https://orcid.org/000-0002-1975-3323>,

e-mail: tiaxntusg@gmail.com ,

P. Vasilenko Kharkov National Technical University of Agriculture

Lebedev S., Phd Tech. Scs,

<https://orcid.org/0000-0002-3067-5135>,

e-mail: hfukrndipvt@gmail.com

Kharkiv branch of L. Pogoriliy UkrNDIPVT

Summary

Purpose of the study. *Improving the efficiency of using a tractor as part of a tillage machine through scientific and technical substantiation of energy conservation. This goal is achieved by increasing the active (useful) and reducing the passive (not useful) work of the tractor.*

Research methods. *The method of partial accelerations based on the reverse transition from the vector sum in the space of forces acting on the tractor to the vector sum in the space of accelerations is the basis for assessing the traction-energy and dynamic parameters of tractors in the composition of tillage machines.*

The results of the study. *The unevenness of the movement significantly affects the decrease in the active work of the tillage unit and, accordingly, the increase in the passive work. A dependence is proposed for determining the additional energy consumption for oscillatory movements with an uneven movement of the tractor unit. It is proved that the additional energy consumption during the unstable movement of the tillage unit on the rut is 2-3 % (passive work) of the total energy consumption. The method of partial accelerations, which is based on the reverse transition from the vector sum in the space of forces acting on the tractor, to the vector sum in the space of accelerations, is the basis for assessing the traction-energy and dynamic parameters of tractors in the composition of tillage machines. On the basis of this method, the methodology for assessing the traction-energy and dynamic indicators of the tractor when performing the technological process without the use of dynamometric means has been substantiated. The modernized measuring and registration complex, developed with the participation of the authors of the article at the Kharkiv National Automobile and Highway University, P. Vasilenko Kharkiv National Technical University of Agriculture and the Kharkiv branch of L. Pogorilyy UkrNDIPVT in the direction of software for assessing the resistance of aggregated machines, traction efficiency of the tractor, longitudinal acceleration of the unit. The use of this complex when testing tractors is aimed at implementing the methodology of L. Pogorilyy UkrNDIPVT with the definition of traction indicators of tractors and standards of the Code 2 of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD).*

Conclusions. *The article contains a theoretical generalization and a new solution to the scientific problem of increasing the efficiency of a tractor as part of a tillage unit, based on a decrease in additional energy costs (passive work). The research results made it possible to formulate the main theoretical and scientific-practical conclusions. The scientific value of the study lies in clarifying the dependence of the tractor operation as part of the tillage machine in the direction of reducing the useless (passive) work on turns at the headland and on a turn on the rut. It has been proven that in order to ensure maximum operation of this unit, it must be operated with increased traction force and reduced travel speed. The dynamic model of the tractor as part of the tillage unit has been improved.*

The practical value of the study lies in the standard developed on the basis of the partial acceleration method for assessing the traction properties of the tractor SOU 71.2-37-046043080-017: 2015, which is recommended by the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine for use in testing and modernizing tractors.

Keywords: tractor, unit, work, acceleration, measuring complex, traction efficiency, energy consumption

УДК 631.37

АКТИВНАЯ И ПАССИВНАЯ РАБОТА ТРАКТОРА В СОСТАВЕ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА

Лебедев А., д-р техн. наук, проф.,
<https://orcid.org/0000-0002-1975-3323>;
e-mail: lebedev@khntusg,

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

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

Харьковский филиал УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого

Аннотация

Цель исследования. Повышение эффективности использования трактора в составе почвообрабатывающего агрегата путем научно-технического обоснования энергосбережения. Эта цель достигается повышением активной (полезной) и снижением пассивной (не полезной) работы трактора.

Методы исследования. В основу оценки тягово-энергетических и динамических параметров тракторов в составе почвообрабатывающих агрегатов положен метод парциальных ускорений, основанный на обратном переходе от векторной суммы в пространстве сил, действующих на трактор к векторной сумме в пространстве ускорений.

Результаты исследования. На снижение активной работы почвообрабатывающего агрегата и, соответственно, на повышение пассивной работы существенно влияет неравномерность движения. Предложена зависимость для определения дополнительных затрат энергии на осцилляционные движения при неравномерном движении тракторного агрегата. Доказано, что дополнительные затраты энергии во время неустойчивого движения почвообрабатывающего агрегата на гоне составляют 2-3 % (пассивная работа) от общих энергозатрат. На основе метода парциальных ускорений обоснована методология оценки тягово-энергетических и динамических показателей трактора при выполнении технологического процесса без применения динамометрических средств. Модернизированный измерительно-регистрационный комплекс, разработанный при участии авторов статьи в Харьковском национальном автомобильно-дорожном университете, Харьковском национальном техническом университете сельского хозяйства им. Петра Василенко и Харьковском

філіалі УкрНІИПІТ ім. Л. Погорелого, в напрямленні програмного забезпечення оцінки со-
протилення агрегатируемых машин, тягового КПД трактора, продольних ускорений агрегата.
Применение данного комплекса при испытаниях тракторов направлено на реализацию методики
УкрНІИПІТ ім. Л. Погорелого с определением тяговых показателей тракторов и нормативов Ко-
декса 2 Организации экономического сотрудничества и развития по эксплуатационным испыта-
ниям тракторов (ОЭСР).

Выводы. В статье выполнено теоретическое обобщение и новое решение научной проблемы
повышения эффективности работы трактора в составе почвообрабатывающего агрегата, осно-
ванный на уменьшении дополнительных энергетических затрат (пассивной работы). Результа-
ты исследований позволили сформулировать основные теоретические и научно-практические
выводы. Научная ценность исследования заключается в уточнении зависимости работы трактора
в составе почвообрабатывающего агрегата в направлении снижения не полезной (пассивной)
работы на повороты в конце гона и на подвороты на гоне. Доказано, что для обеспечения макси-
мальной работы данного агрегата необходима его работа при повышенной силе тяги и понижен-
ной скорости движения. Усовершенствована динамическая модель трактора в составе почвоо-
брабатывающего агрегата. Практическая ценность исследования заключается в разработанном
на основе метода парциальных ускорений стандарта по оценке тяговых свойств трактора СОУ
71.2-37-046043080-017:2015, который рекомендован Министерством аграрной политики и продо-
вольствия Украины для использования при испытаниях и модернизации тракторов.

Ключевые слова: трактор, агрегат, работа, ускорение, измерительный комплекс, тяговый
КПД, расход энергии