



Механізація, електрифікація

УДК 631.37

© 2023

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПРИДАТНОСТІ ТРАКТОРІВ ДЛЯ РОБОТИ У СКЛАДІ КОМБІНОВАНИХ МАШИННО- ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ

В.В. Адамчук¹, В.М. Булгаков², В.Т. Надикто³, В.М. Кюрчев⁴

^{1,2}доктори технічних наук, професори, академіки НААН

^{3,4}доктори технічних наук, професори, члени-кореспонденти НААН

¹Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України

вул. Вокзальна, 11, смт Глеваха Фастівського р-ну Київської обл., 08631, Україна

²Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

^{3,4}Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного
пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізької обл., 72312, Україна

e-mail: ¹vadamchuk@gmail.com, ²vbulgakov@meta.ua,

³nadyktonvt@meta.ua, ⁴radnik@tsatu.edu.ua

ORCID: ¹0000-0003-0358-7946, ²0000-0003-3445-3721,

³0000-0002-1770-8297, ⁴0000-0003-4377-1924

Надійшла 31.01.2023

Мета. Визначити конструктивно-технологічні умови придатності тракторів із розширеними технологічними властивостями для роботи у складі комбінованих машинно-тракторних агрегатів. **Методи.** Використано основні методи теорії конструювання і експлуатації тракторів сільськогосподарського призначення. Теоретичні розрахунки системи отриманих аналітичних залежностей здійснено на персональному комп'ютері у програмному середовищі Mathcad 15. **Результати.** Проаналізовано можливість і ефективність застосування переднього навісного механізму, переднього та заднього валів відбору потужності, реверсивності трансмісії поста керування, інших конструктивно-технологічних елементів тракторів на їх потенційну придатність для роботи у складі комбінованих машинно-тракторних агрегатів. **Висновки.** Розроблений інтегральний коефіцієнт ефективності розширених технологічних властивостей колісних енергетичних засобів може слугувати кількісною оцінкою їх технологічної придатності для функціонування у складі комбінованих машинно-тракторних агрегатів. Перш за все це стосується засобів, скомпонованих за конструктивною схемою Push-pull. Розрахунки з використанням отриманої системи аналітичних залежностей засвідчили, що за своїми технологічними властивостями вітчизняний орно-

просапний трактор ХТЗ-16131 потенційно має найвищий інтегральний показник технологічної придатності — 0,63. Це на 12,5–57,5% більше за значення цього самого показника у таких енергетичних засобів аналогічного призначення, як МТЗ-1523, ЛТЗ-155 і Fendt 711 Vario (Німеччина).

Ключові слова: трактор, універсальність, мобільні енергетичні засоби, технологічні властивості, схема агрегування Push-pull.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202303-09>

Останнім часом у науковій практиці все частіше оперують поняттям «технологічні властивості» енергетичних засобів [1–3]. Головним чином це стосується універсальності таких засобів. В Україні перші кроки зі створення методичних основ оцінювання універсальності були започатковані у ННЦ «ІМЕСГ» [4, 5].

Існуючі критерії універсальності енергетичних засобів передбачають визначення загальних прийомів агрегування сільськогосподарської мобільної техніки. При цьому вони не вирізняються чіткою системністю, направлені на врахування якомога більшої кількості оцінюваних техніко-технологічних властивостей тракторів (від конструктивних особливостей до ремонтпридатності) тощо. Через це застосовувати їх на практиці досить складно.

Варіанти підходу до розв'язання цієї проблеми здійснено і відображено у роботах [6, 7]. Запропонована методика оцінювання технологічних властивостей мобільних енергетичних засобів взагалі досягла рівня складових класичної теорії трактора [1]. Основні положення цієї методики потенційно придатні для аналізу технологічних властивостей мобільних енергетичних засобів, що зумовлені наявністю фронтального навісного механізму, переднього валу відбору потужності, реверсивної трансмісії і/або реверсивного посту керування, двигуна з двома рівнями потужності, системи гідравлічного відбору потужності тощо.

Слід зауважити, що енергетичні засоби такої комплектації потенційно придатні для використання у складі комбінованих машинно-тракторних агрегатів. Особливе місце серед них займають ті, що побудовані за схемою Push-pull [8]. Водночас методика кількісного оцінювання перспективи такого

використання мобільних енергетичних засобів наразі відсутня.

Мета досліджень — визначити конструктивно-технологічні умови придатності тракторів із розширеними технологічними властивостями для роботи у складі комбінованих машинно-тракторних агрегатів.

Методи досліджень. Використані основні методи теорії конструювання та експлуатації тракторів сільськогосподарського призначення. Теоретичні розрахунки системи отриманих аналітичних залежностей здійснені на персональному комп'ютері у програмному середовищі Mathcad 15.

Результати досліджень та їх обговорення. Функціональну залежність показника технологічної придатності $K_{тп}$ трактора сільськогосподарського призначення для роботи у складі комбінованих машинно-тракторних агрегатів від технологічних властивостей енергетичного засобу можна представити у такому вигляді:

$$K_{тп} = f(K_{пнм}, K_{пвп}, K_{звп}, K_{рр}, K_{гв}, K_a, K_{пк}, K_{тв}), \quad (1)$$

де $K_{пнм}, K_{пвп}, K_{звп}, K_{рр}, K_{гв}, K_a, K_{пк}, K_{тв}$ — безрозмірні показники ефективності використання відповідно переднього навісного механізму, переднього валу відбору потужності, заднього валу відбору потужності, реверсивності руху, гідровідбору потужності, ефективності агрегування трактора, використання трактора для вирощування просапних культур, наявності технологічних просторів для монтажу знарядь/машин і вмістищ.

У кількісному вираженні запропоновану функціональну залежність (1) можна представити так:

$$K_{тп} = (K_{пнм} + K_{пвп} + K_{звп} + K_{рр} + K_{гв} + K_a + K_{пк} + K_{тв}) \cdot 8^{-1}. \quad (2)$$

Загалом, тим більше є значення показника $K_{тп}$, тим той або інший енергетичний

засіб придатніший для використання у складі комбінованих машинно-тракторних агрегатів. Насамперед за схемою Push-pull.

Розглянемо методику визначення кожного із показників виразу (2). Попри те, що наявність переднього навісного механізму передбачена конструкціями багатьох сучасних тракторів, прикладів ефективного його використання на практиці не так і багато. У більшості випадків на місці переднього навісного механізму розташовують баластні вантажі.

Величину $K_{пнм}$ ми пропонуємо визначати з урахуванням умови «екофільності» шини. Суть і природа цього поняття досить предметно викладена у роботі [9]. У трансформованому для нашого аналізу вигляді цей показник має задовольняти такій умові:

$$K_{пнм} = \frac{N_{ек} \leq P_{ш}}{F_{ш} \cdot [Q_{д}]} \leq 1, \quad (3)$$

де $N_{ек}$ — вантажопідйомність переднього навісного механізму трактора, кН; $P_{ш}$ — допустима вантажопідйомність шин його передніх рушіїв (кН), яка регламентована ДСТУ 4140:2020 «Шини пневматичні для сільськогосподарських транспортних засобів та причепів до них»; $F_{ш}$ — площа опорної поверхні шини, м²; $[Q_{д}]$ — максимально допустимий тиск на ґрунт, регламентований ДСТУ 4521:2006 «Техніка сільськогосподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунт».

Площу опорної поверхні шини з достатньою для розрахунків точністю можна знайти із виразу:

$$\Gamma_{ш} = B_{ш} \cdot L, \quad (4)$$

де $B_{ш}$ — ширина шини трактора, м; L — довжина її опорної поверхні, м.

Останній параметр можна подавати як функцію, що залежить від двох параметрів: радіуса колеса R_k і коефіцієнта опору коченню f_k [10, 11]:

$$L = R_k \cdot \left(\arctg \frac{f_k \cdot \sqrt{1 - f_k^2}}{0,5 - f_k^2} + 2 \cdot f_k^2 \right). \quad (5)$$

З урахуванням (4) та (5) вираз (3) набуває вигляду:

$$K_{пнм} = \frac{(N_{ек} \leq P_{ш}) \cdot (B_{ш} R_k [Q_{д}])^{-1}}{\left(\arctg \frac{f_k \sqrt{1 - f_k^2}}{0,5 - f_k^2} + 2 f_k^2 \right)} \leq 1. \quad (6)$$

З позиції бажаності значення показника $K_{пнм}$ має бути якомога більшим. Водночас воно не повинне перевищувати одиницю, оскільки у цьому випадку відбуватиметься перевантаження шин. У практичному сенсі такий стан є неприпустимим, тому для нашого подальшого аналізу приймаємо, що коли умова (6) виконується, то $K_{пнм}$ набуває розрахункового значення, інакше, — $K_{пнм} = 0$.

Ефективність застосування переднього і заднього валів відбору потужності можна виразити через кількість режимів його незалежного приводу. Слід також враховувати наявність синхронного приводу. Світова практика свідчить, що сучасний трактор повинен мати вал відбору потужності принаймні із трьома незалежними режимами роботи: $N_{пн1} = N_{зн1} = 540 \text{ об.} \cdot \text{хв}^{-1}$; $N_{пн2} = N_{зн2} = 750 \text{ об.} \cdot \text{хв}^{-1}$; $N_{пн3} = N_{зн3} = 1000 \text{ об.} \cdot \text{хв}^{-1}$. Наявність синхронного приводу валу відбору потужності оцінюватимемо за умови $N_{пн} = N_{зн}$ одиницю, а його відсутність — нулем. Причому нижні індекси «ПН» і «ПС» відносяться до переднього, а «ЗН» і «ЗС» — до заднього навісного механізму енергетичного засобу.

Таким чином, маємо:

$$K_{пвп} = \frac{N_{пн1} + N_{пн2} + N_{пн3} + N_{пс}}{4}. \quad (7)$$

$$K_{звп} = \frac{N_{зн1} + N_{зн2} + N_{зн3} + N_{зс}}{4}. \quad (8)$$

Реверсивний пост керування дає змогу здійснювати основний рух трактора заднім ходом. Інколи він забезпечує збільшення оглядовості робочих органів агрегатованих машин [3]. Водночас значно більші можливості для ефективнішого агрегування енергетичного засобу у складі комбінованих машинно-тракторних агрегатів дає реверсивна трансмісія $N_{рт}$. Її наявність ми оцінюватимемо 1 балом, а наявність реверсивного посту керування $N_{рп}$ — 0,5 бала. За відсутності у трактора цих властивостей приймаємо, що $N_{рт} = N_{рп} = 0$.

У підсумку отримуємо:

$$K_{пп} = \frac{N_{рт} + N_{рп}}{2}. \quad (9)$$

Гідравлічний відбір потужності у тракторі потрібний для його агрегування з машинами, які мають гідрофікований активний

привід робочих органів. У сучасних моделях тракторів застосовують кілька винесених силових гідравлічних ліній $N_{гн}$ і принаймні одну лінію підвищеного гідравлічного відбору $N_{гв}$. За її наявності вважатимемо, що $N_{гв} = 1$, інакше, — $N_{гв} = 0$. Загалом маємо:

$$K_{гв} = \frac{N_{гн} + N_{гв}}{2 N_{гн, \max}}, \quad (10)$$

де $N_{гн, \max}$ — максимальна кількість установлених на тракторі силових гідравлічних ліній.

Що ж стосується показника ефективності агрегування трактора K_a , то його можна представити як середнє значення двох параметрів. Один із них виражається відношенням дійсної енергонасиченості трактора E_t до еталонної $E_{ет}$. Своєю чергою, E_t — це відношення номінальної потужності двигуна N_e (кВт) до експлуатаційної маси трактора M_t (т). Величину параметра E_t пропонується приймати приблизно рівним $20 \text{ кВт} \cdot \text{т}^{-1}$ [12].

Другий параметр стосується агрегування трактора з плугом. Відомо, що на базі тракторів із переднім і заднім навісними механізмами орні агрегати можна компонувати за схемою Push-pull [8]. При цьому слід враховувати, що плуг — практично єдине знаряддя, тяговий опір якого дуже залежить від співвідношення його ширини захвату до конструктивних параметрів ходової системи енергетичного засобу.

Експериментально доведено, що за дотримання певних правил агрегування можна добитися лівостороннього поперечного зміщення орного знаряддя d_n відносно поздовжньої осі трактора. У підсумку таке конструктивне рішення однозначно приводить до позитивних результатів, а саме до зменшення: а) тягового опору плуга; б) буксування рушіїв енергетичного засобу; в) питомих витрат пального орним машинно-тракторним агрегатом [3].

Виходячи із цього, можна записати:

$$K_a = \frac{E_t + \frac{d_n}{d_{л, \max}}}{2 E_{ет}}, \quad (11)$$

де $d_{л, \max}$ — максимально допустима величина лівостороннього зміщення плуга відносно поздовжньої осі трактора, м.

Далі йде показник ефективності використання трактора для вирощування просапних культур $K_{пк}$. Передусім він залежить від можливості регулювання ширини колії $N_{пк}$, типу рами $T_{рТ}$ (жорстка чи шарнірно-зчленована), агротехнічного просвіту $H_{ар}$ (м) та вписуваності рушіїв трактора у міжряддя просапних культур.

В Україні просапні культури вирощують за різних міжрядь. Тому трактор буде технологічно найпридатнішим тоді, коли його конструкція допускати безступінчасте регулювання колії. У цьому випадку $N_{пк} = 1$. Якщо колія регулюється ступінчасто, то $N_{пк} = 0,5$. За відсутності такого регулювання $N_{пк} = 0$.

Теоретичними й експериментальними дослідженнями встановлено, що при вирощуванні просапних культур трактор бажано обладнати жорсткою рамою $T_{рТ} = 1$ [3]. Загалом енергетичний засіб шарнірно-зчленованої компоновки також можна використовувати для обробітки міжрядь просапних культур. Але у такому разі він, за даними ННЦ «ІМЕСГ» [13], має бути обладнаний спеціальним корегувальним пристроєм, що призводить до ускладнення конструкції трактора та його відповідного подорожчання. Тому для цього випадку приймаємо $T_{рТ} = 0,5$.

Уписуваність рушіїв трактора у міжряддя просапних культур передбачає, що його колеса рухаються по центру і не ущільнюють (не порушують) захисну зону рядка.

У кінцевому рахунку матимемо:

$$K_{пк} = \frac{N_{пк} + T_{рТ} + \frac{H_{ар}}{H_{ар, \max}} + \frac{C - 2B_{33}}{B_{ш}}}{4}, \quad (12)$$

де $H_{ар, \max}$ — максимальне значення агротехнічного просвіту, м; C — ширина міжряддя, м; B_{33} — мінімальна ширина односторонньої захисної зони, м.

Показник $K_{тв}$ враховує технологічні простори енергетичного засобу, придатні для монтажу на них знарядь/машин і технологічних вмістищ поза зонами переднього та заднього навісних механізмів. Такими можуть бути майданчик спереду $N_{мс}$ або позаду $N_{мз}$ кабіни трактора, простір під його рамою між переднім і заднім мостами $N_{мм}$. Фактична наявність такого майданчика оцінюється одиницею, а відсутність — нулем. Показник $K_{тв}$ при цьому можна знайти із виразу:

$$K_{\text{ТВ}} = \frac{N_{\text{МС}} + N_{\text{МЗ}} + N_{\text{ММ}}}{3} \quad (13)$$

Загалом функцію (1) можна виразити такою системою рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} K_{\text{ПНМ}} &= \frac{(N_{\text{ЕК}} \leq P_{\text{Ш}}) \cdot (B_{\text{Ш}} R_{\text{К}} [Q_{\text{Д}}])^{-1}}{\left(\arctg \frac{f_{\text{К}} \sqrt{1 - f_{\text{К}}^2}}{0,5 - f_{\text{К}}^2} + 2f_{\text{К}}^2 \right)} \leq 1. \\ K_{\text{ПВП}} &= \frac{N_{\text{ПН1}} + N_{\text{ПН2}} + N_{\text{ПН3}} + N_{\text{ПС}}}{4}. \\ K_{\text{ЗВП}} &= \frac{N_{\text{ЗН1}} + N_{\text{ЗН2}} + N_{\text{ЗН3}} + N_{\text{ЗС}}}{4}. \\ K_{\text{РР}} &= \frac{N_{\text{РТ}} + N_{\text{РН}}}{2}. \\ K_{\text{ГВ}} &= \frac{\frac{N_{\text{ГЛ}}}{N_{\text{ГЛ,MAX}}} + N_{\text{ГВ}}}{2}. \\ K_{\text{А}} &= \frac{\frac{E_{\text{Т}}}{E_{\text{ЕТ}}} + \frac{d_{\text{Л}}}{d_{\text{Л,MAX}}}}{2}. \\ K_{\text{ПК}} &= \frac{N_{\text{РК}} + T_{\text{РТ}} + \frac{H_{\text{АГ}}}{H_{\text{АГ,MAX}}} + \frac{C - 2B_{\text{ЗЗ}}}{B_{\text{Ш}}}}{4}. \\ K_{\text{ТВ}} &= \frac{N_{\text{МС}} + N_{\text{МЗ}} + N_{\text{ММ}}}{3}. \\ K_{\text{ТП}} &= (K_{\text{ПНМ}} + K_{\text{ПВП}} + K_{\text{ЗВП}} + K_{\text{РР}} + K_{\text{ГВ}} + \\ &+ K_{\text{А}} + K_{\text{ПК}} + K_{\text{ТВ}}) \cdot 8^{-1}. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Скориставшись отриманою системою рівнянь (14), розрахуємо показник технологічної

придатності кількох тракторів, потенційно придатних для використання у складі комбінованих машинно-тракторних агрегатів за схемою Push-pull. Згідно з результатами досліджень [3, 8, 9], із вітчизняних енергетичних засобів для цього найкраще підходить орно-просапний трактор марки ХТЗ-16131 (рисунок).

Порівнювані енергетичні засоби представлені показниками тракторів марок МТЗ-1523, ЛТЗ-155 та Fendt 711 Vario (Німеччина), наведеними в таблиці.

Усі порівнювані трактори, за винятком вітчизняного, належать до тягового класу 2 і за своїм призначенням є універсально-просапними енергетичними засобами.

Як впливає із розрахунків системи (14) за даними таблиці, найбільший показник технологічної придатності — $K_{\text{ТП}} = 0,63$ — має вітчизняний енергетичний засіб ХТЗ-16131. Отриманий результат є цілком логічним і зумовлений унікальними конструктивно-технологічними особливостями цього трактора. За тягово-енергетичними властивостями ХТЗ-16131 належить до тягового класу 3. Водночас, за параметрами ходової системи, — це універсально-просапний трактор тягового класу 2. Поєднання таких альтернативних параметрів в одній конструкції надає низку переваг.

По-перше, як показує багаторічна експлуатаційна практика, на основі трактора серії ХТЗ-160 можна реалізувати ефективну



а



б

Трактор ХТЗ-16131 (а) і його сучасна модель ХТЗ-160У (б)

Вихідні дані для розрахунку показника $K_{тн}$

Показник	ХТЗ-16131	МТЗ-1523	ЛТЗ-155	Fendt 711 Vario
Вантажопідйомність переднього навісного механізму, кН	25	21	25	44
Вантажопідйомність передніх шин трактора, кН	50	38	44	45
Наявність (1)/відсутність (0) переднього валу відбору потужності, об./хв:				
550	0	0	0	0
750	0	0	0	0
1000	1	1	1	1
синхронний режим	0	0	0	0
Наявність (1)/відсутність (0) заднього валу відбору потужності, об./хв:				
550	1	1	1	1
750	0	0	0	1
1000	1	1	1	1
синхронний режим	0	1	0	0
Наявність (1)/відсутність (0) реверсивної трансмісії	1	0	0	0
Наявність (0,5)/відсутність (0) реверсивного посту керування	0,5	0,5	0	0
Наявність (1)/відсутність (0) гідравлічного відбору потужності	1	1	0	1
Кількість силових гідравлічних ліній	6	4	4	6
Кількість виносних гідравлічних ліній	4	4	3	4
Енергонасиченість трактора, кВт · т ⁻¹	16,6	19,0	18,8	12,5
Лівостороннє поперечне зміщення плуга, м	0,215	0,085	0,04	0,04
Максимальне лівостороннє зміщення плуга, м	0,40	0,35	0,35	0,35
Безступінчасте (1)/ступінчасте (0,5)/відсутнє (0) регулювання ширини колії	0,5	1	0,5	0,5
Жорстка (1)/шарнірно-зчленована (0,5) рама	1	1	1	1
Агротехнічний просвіт, м	0,53	0,38	0,45	0,33
Радіус колеса переднього мосту, м	0,77	0,54	0,68	0,58
Ширина шин передніх коліс, м	0,43	0,52	0,43	0,42
Ширина односторонньої захисної зони, м	0,08			
Ширина міжряддя, м	0,70			
Наявність (1)/відсутність (0) технологічного простору:				
спереду кабіни	0	0	0	0
позаду кабіни	1	0	1	0
у просторі між мостами трактора	0	0	0	0
Значення показника $K_{тн}$	0,63	0,56	0,47	0,40

12-рядну систему вирощування просапних культур з міжряддями 70 см [3]. Для Півдня України, де зосереджені значні площі таких культур і їх вирощування здійснюється щонайбільше за 8-рядною системою,

вітчизняний комплекс у складі трактора ХТЗ-16131 та 12-рядкових сівалки Leda-12 і просапного культиватора КРНВ-8,4 (Elvorti, м. Кропивницький) вважається досить перспективним.

По-друге, трактор ХТЗ-16131 краще за інші засоби агрегатується з плугами (у тому числі і фронтальними). Тягово-енергетичні показники та параметри його ходової системи допускають значне (до 21,5 см) ліворостороннє поперечне зміщення плуга. А таке агрегування орного знаряддя, як доведено дослідженнями [14], дає змогу істотно зменшити питомі витрати пального, що є важливим чинником для розв'язання проблеми енергоощадного обробітку ґрунту.

По-третє, енергетичний засіб серії ХТЗ-16131 найкраще вписується у перспективні технології точного та колійного землеробства [15].

На завершення підкреслимо, що перелік показників, які були використані у вихідній функціональній залежності (1), не є постійним. Він може змінюватися як у напрямі врахування інших показників, так і в напрямі обґрунтованого виключення прийнятих у запропонованій методиці.

Висновки

Розроблений інтегральний коефіцієнт ефективності розширених технологічних властивостей колісних енергетичних засобів може слугувати кількісною оцінкою їх технологічної придатності для функціонування у складі комбінованих машинно-тракторних агрегатів. Насамперед це стосується агрегатів, скомпонованих за конструктивною схемою Push-pull.

Розрахунками отриманої системи ана-

літичних залежностей (14) було встановлено, що за своїми технологічними властивостями вітчизняний орно-просапний трактор ХТЗ-16131 потенційно має найвищий інтегральний показник технологічної придатності, значення якого сягає 0,63. Це на 12,5–0,57,5% більше порівняно зі значеннями цього самого показника для таких енергетичних засобів аналогічного призначення, як МТЗ-1523, ЛТЗ-155 і Fendt 711 Vario (Німеччина).

Adamchuk V.¹, Bulgakov V.², Nadykto V.³, Kyurchev V.⁴

¹Institute of Mechanics and Automation of Agricultural Production of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, 11 Vokzalna Str., Glevakha stl, Fastiv district, Kyiv Region, 08631, Ukraine, ²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroyiv Oborony Str., Kyiv, 03041, Ukraine, ³⁴Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, 18 B. Khmelnytsky Ave., Melitopol, 72310, Zaporozhye Region, Ukraine; e-mail: ¹vvadamchuk@gmail.com; ²bulgakov@meta.ua; ³volodymyr.nadykto@tsatu.edu.ua; ⁴office@tsatu.edu.ua; ORCID: ¹0000-0003-0358-7946, ²0000-0003-3445-3721, ³0000-0002-1770-8297, ⁴0000-0003-4377-1924

Study of technological suitability tractors for work in the warehouse combined machine and tractor units

Goal. Determination of structural and technological conditions of suitability of tractors with advanced technological properties for work as part of combined machine-tractor units. **Methods.** The basic methods of the theory of construction and operation of agricultural tractors are used. Theoretical calculations of the system of obtained analytical dependencies were carried out on a personal computer in the Mathcad 15

software environment. **Results.** The possibility and effectiveness of the use of the front hinged mechanism, front and rear power take-off shafts, reversibility of the transmission of the control post and other structural and technological elements of tractors for their potential suitability for work as part of combined machine-tractor units are analyzed.

Conclusions. The developed integral coefficient of efficiency of the extended technological properties of wheeled power tools can serve as a quantitative assessment of their technological suitability for functioning as part of combined machine-tractor units. First of all, this applies to those that are arranged according to the «push-pull» construction scheme. Calculations of the obtained system of analytical dependencies established that, according to its technological properties, the domestic row tractor KhTZ-16131 potentially has the highest integral index of technological suitability, the value of which reaches the mark of 0.63. This is 12,5–57,5% more compared to the values of the same indicator for such power tools of a similar purpose, such as MTZ-1523, LTZ-155 and Fendt 711 Vario (Germany).

Key words: tractor, versatility, mobile power tools, technological properties, Push-pull aggregation scheme

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202302-09>

Бібліографія

1. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. Выдавецтво: КолосС, 2004. 504 с.
2. Антощенко В.М., Антощенко Р.В., Артьомов М.П., Лебедев А.Т. Трактори та автомобілі. Ч. 7. Технологічні основи мобільних енергетичних засобів. Харків: Факт, 2013. 232 с.
3. Надикто В.Т., Крижачківський М.П., Кюрчев В.М., Абдула С.Л. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок «ММД», 2006. 337 с.
4. Евтенко В.Г. Технологические основы универсализации сельскохозяйственных тракторов и самоходных комбайнов. *Техника в сельском хозяйстве*, 1995. №1. С. 16–19.
5. Шкарівський Г.В. Дослідження впливу загальної конструкції МЕЗ на показники його універсальності при створенні машинно-тракторних агрегатів. *Механізація та електрифікація сільськогосподарства: міжвід. темат. наук. зб. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2004. Вип. 88. С. 70–77.*
6. Суботін В.М., Філонов О.В., Князькова Л.М. Визначення ефективності використання універсальних сільськогосподарських тракторів за допомогою граничного аналізу. Концептуальні проблеми розвитку сучасної гуманітарної та прикладної науки: матеріали V Всеукраїнського науково-практичного симпозіуму (м. Івано-Франківськ, 14 травня 2021 року). Івано-Франківськ: Редакційно-видавничий відділ Університету Короля Данила, 2021. 388 с.
7. Голка Є., Камінський Я. Необхідність дослідження експлуатаційних показників тракторів та сільськогосподарських машин. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2016. № 23. С. 212–221.
8. Bulgakov V., Adamchuk V., Nadykto V. et al. Theoretical research into the stability of motion of the ploughing tractor-implement unit operating on the 'push-pull' principle. *Agronomy Research*. 2017. V. 15. P. 1517–1529. doi: 10.15159/AR.17.069
9. Bulgakov V., Gadzalo J., Ivanovs S. et al. Analysis of the State and Assessment of Possible Ways of Preservation of Soil Fertility During its Mechanical Treatment. *J. of Ecological Engineering*. 2022. V. 23. P. 128–136. doi: 10.12911/22998993/146334
10. Bulgakov V., Nadykto V., Kyurchev S. et al. Theoretical background for increasing grip properties of wheeled tractors based on their rational ballasting. *Agraarteadus*. 2019. V. 30. P. 78–84. doi: 10.15159/jas.19.07
11. Nadykto V., Arak M., Olt J. Theoretical research into the frictional slipping of wheel-type undercarriage taking into account the limitation of their impact on the soil. *Agronomy Research*. 2015. V. 13. P. 148–157.
12. Надикто В.Т., Величко О.В. Прогноз розвитку енергонасиченості сільськогосподарських тракторів. *Механізація та електрифікація сільськогосподарства*. 2015. Вип. № 1 (100). Глеваха, С. 147–151.
13. Пожидаєв С.П. Дослідження копіювання рядків просапних культур начіпним агрегатом. *Вісник сільськогосподарської науки*. 1980. № 2. С. 54–58.
14. Булгаков В.М., Кравчук В.І., Надикто В.Т. Агрегування плугів. Київ: Аграрна наука. 2008. 152 с.
15. Надикто В.Т., Улексін В.О. Колійна та мостова системи землеробства. Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2008. 270 с.