



Механізація, електрифікація

УДК 631.372

© 2017

*В.В. Адамчук,
академік НААН,
доктор технічних наук*

*Національний
науковий центр
«Інститут механізації
та електрифікації
сільського господарства»*

*В.М. Булгаков,
академік НААН,
доктор технічних наук*

*Національний
університет біоресурсів
і природокористування
України*

В.Т. Надикто,

*В.М. Кюрчев,
члени-кореспонденти НААН,
доктори технічних наук*

*Таврійський державний
агротехнологічний
університет*

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТИПАЖУ КОЛІСНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ ДЛЯ УКРАЇНИ

Мета. Розробити нові теоретичні основи визначення типажу і встановити діапазон зміни номінального тягового зусилля колісних сільськогосподарських тракторів.

Методи. Використано основні положення теорії трактора, вищої математики, зокрема закономірності геометричної прогресії і теорії рядів. **Результати.** На основі вдосконалених теоретичних підходів уперше розроблено типаж колісних сільськогосподарських тракторів для України. Для енергетичних засобів кожного тягового класу запропоновано методику визначення середнього значення і можливого (допустимого) діапазону зміни номінального тягового зусилля. **Висновки.** Новий типаж колісних сільськогосподарських тракторів для України мають становити енергетичні засоби основних 5-ти тягових класів: 0,6; 1, 1; 1,8; 3 і 5. Кожна із наведених цифр означає зменшене в 10 разів номінальне тягове зусилля трактора ($P_{кр.н}$), яке вимірюється у кН. Діапазон зміни цього параметра для кожного енергетичного засобу певного тягового класу має бути в межах $P_{кр.н}^{+20}$ – $P_{кр.н}^{-10}$.

Ключові слова: трактор, типаж, енергетичний засіб, номінальне тягове зусилля, експлуатаційна маса, швидкість руху.

Основним мобільним енергетичним засобом у сільськогосподарському виробництві будь-якої країни був і в найближчому майбутньому залишатиметься трактор. Тому Україна, де сільське господарство розглядається як локомотив усієї економіки, обов'язково повинна мати чітку тракторну політику, організаційною основою якої має бути типаж мобільних енергетичних засобів. Цей своєрідний керівний документ україні потрібен за

таких причин. Його наявність гармонізуватиме діяльність тракторо- і сільгоспмашинобудівників. Адже перші на рівні відповідних правил задаватимуть певним чином зумовлений діапазон зміни основних конструктивних параметрів енергетичних засобів, які за проектування машин/знарядь зобов'язані враховувати другі. Результатом такої погодженості їх конструктивних дій буде створення Системи машин, за відсутності якої

1. Типаж тракторів згідно з ГОСТ 27021 – 86
(СТ СЭВ 628 – 85)

Тяговий клас	Номінальне тягове зусилля, $P_{кр.н}$ (кН)
0,2	1,8–5,4
0,6	5,4–8,1
0,9	8,1–12,6
1,4	12,6–18
2	18–27
3	27–36
4	36–45
5	45–54
6	54–72
8	72–108

в принципі непогані енергетична (трактор) і технологічна (машини/знаряддя) частини машинно-тракторного агрегату (МТА) можуть виявитися непристосованими один до одного.

Нині Україна хоч і позиціонує себе як країна з потужним аграрним сектором, власного типажу тракторів, на жаль, не має. Нехай і формально, але науковці, конструктори і виробничники-експлуатаційники в сучасних умовах продовжують користуватися колишніми нормативними документами ГОСТ 27021–86 та/або СТ СЭВ 628–85, які передбачають типорозмірний ряд сільськогосподарських тракторів 10-ти тягових класів. За своєю суттю він є зростаючою послідовністю безрозмірних чисел від 0,2 до 8 (табл. 1). Кожне з них виражає значення номінального тягового зусилля трактора ($P_{кр.н}$) у тоннах, оскільки формування цього типажу зародилося ще за старої системи вимірювання фізичних величин.

Згідно із задумом величини $P_{кр.н}$ (в кН) мали представляти таку геометричну прогресію, знаменник якої (q) визначався б із такої залежності [1]:

$$q = \sqrt[n-1]{\frac{P_{кр.макс}}{P_{кр.мін}}} \quad (1)$$

де $P_{кр.макс}$, $P_{кр.мін}$ — верхнє та нижнє значення всього експлуатаційного діапазону тягових зусиль тракторів; n — число членів ряду (тягові класи).

При цьому передбачалося, що за раціонально складеного типорозмірного ряду проміжки між тяговими діапазонами сусідніх класів тракторів мають бути відсутніми, самі діапазони — має однаковими, а знаменник прогресії q — має дорівнювати

співвідношенню максимального ($P_{макс}$) та мінімального ($P_{мін}$) тягових зусиль одного і того самого тягового діапазону. Тобто

$$q = P_{макс} / P_{мін} \quad (2)$$

Зазначимо, що впродовж усього періоду практичного застосування цього типажу тракторів він був неефективним для умов України, і тому науковці його постійно критикували [2, 3]. Причому не лише стосовно необхідної кількості тягових класів, а й методики визначення діапазону зміни номінального тягового зусилля енергетичного засобу.

Мета статті — подання нового варіанта типажу сільськогосподарських колісних тракторів. При цьому авторами не ставиться завдання, щоб він був обов'язково кращим за чинний, оскільки не має (і не може бути) єдиного алгоритму його розроблення. Важливо, аби він був певним чином методично обґрунтованим і його практична реалізація була можливою на матеріально-технічній базі України.

Методика досліджень. По-перше, вважатимемо типажем тракторів типорозмірний ряд сільськогосподарських мобільних енергетичних засобів певної кількості тягових класів у вигляді зростаючої послідовності безрозмірних чисел, кожне з яких виражає зменшення у 10 разів значення номінального тягового зусилля трактора ($P_{кр.н}$). Саме його (тягове зусилля), а не встановлену потужність двигуна приймаємо за класифікаційний параметр зазначеного вище типорозмірного ряду. Переваги такого підходу досить переконливо, на нашу думку, викладено в наукових працях [4–6].

По-друге, основними теоретичними постулатами, необхідними для розроблення нового типажу тракторів, вважатимемо залежності (1) і (2). Прирівнявши їх праві частини, після перетворень отримаємо вираз для розрахунку числа тягових класів тракторів (n):

$$n = \text{Integer} \left[1 + \frac{\lg \left(\frac{P_{кр.макс}}{P_{кр.мін}} \right)}{\lg \left(\frac{P_{макс}}{P_{мін}} \right)} \right] \quad (3)$$

Результати досліджень. Невідомі величини $P_{кр.макс}$ і $P_{кр.мін}$ виразу (3) знайдемо з таких міркувань. Найенергоємнішим тяговим знаряддям є плуг. Його тяговий опір ($P_{кр}$) розраховується з виразу:

$$P_{кр} = n_k \cdot b_k \cdot h \cdot K_o, \quad (4)$$

де n_k — число корпусів плуга; b_k — ширина захвату одного корпусу орного знаряддя, м;

h — глибина оранки, м; K_0 — коефіцієнт питомого тягового опору плуга, кН/м^2 .

Ширину захвату одного корпусу плуга приймемо за $b_k = 0,40$ м. Це, як свідчить практика, дає змогу отримати краще розпушення орного шару ґрунту і застосовувати в борозні широко розповсюджені шини типорозміру 16,9R38, ширина профілю яких становить 0,43 м. Шини цього типорозміру в борозні, сформованій корпусом плуга з шириною захвату 0,35 м і менше, з відомих причин розташувати досить проблематично.

За В.Р. Вільямсом [7], максимальна глибина оранки з обов'язковим використанням передплужника (без нього ця технологічна операція щодо збереження структури ґрунту є неможливою) не має перевищувати $h = 0,30$ м.

Крім того, за нормальних умов проведення оранки питомий тяговий опір плугів, як свідчать багаторічні дослідження, зазвичай не перевищує 55 кН/м^2 . На пересушеному ґрунті (вологість — менше 10%) показник K_0 може досягати позначки $60\text{--}66 \text{ кН/м}^2$, але оранка за таких умов є занадто енергоємним процесом, а тому швидше небажана, ніж можлива.

Приймаючи нижнє значення всього експлуатаційного діапазону тягових зусиль тракторів $P_{\text{кр. min}} = P_{\text{кр}}$, з урахуванням викладеного вище, маємо:

$$P_{\text{кр. min}} = 1 \cdot 0,4 \cdot 0,30 \cdot 55 = 6,6 \text{ кН.}$$

Практика підтверджує, що за умови ширини захвату одного корпусу плуга 0,40 м максимальна їх кількість не повинна перевищувати 8. Інакше конструкція орного знаряддя через значну його довжину може незадовільно копіювати повздовжній профіль оброблюваного поля. Зарубіжний досвід свідчить про те, що раму плуга при цьому слід робити шарнірною. А це не лише ускладнює його конструкцію, а й призводить до істотного подорожчання.

Звідси виходить, що

$$P_{\text{кр. max}} = 8 \cdot 0,4 \cdot 0,30 \cdot 55 = 52,8 \text{ кН.}$$

У виразі (3) невідомими залишаються максимальне (P_{max}) та мінімальне (P_{min}) значення тягового зусилля трактора певного тягового класу. На практиці ці величини зручно представляти їх безрозмірними аналогами — коефіцієнтами використання зчпної ваги енергетичного засобу, тобто $\varphi_{\text{кр. max}}$ і $\varphi_{\text{кр. min}}$ відповідно.

Перший із цих коефіцієнтів обмежується максимально допустимим ($\delta_{\text{доп}}$) буксуванням рушіїв трактора (у цьому разі — колісного). Для збереження структури ґрунту величина $\delta_{\text{доп}}$ у весняно-літній період польових робіт не має перевищувати 9; 12 і 15% для тракторів тягових класів, за старою класифікацією — 1,4; 3 і 5% [8]. За таких умов залежність буксування (δ) рушіїв енергетичного засобу від розвиненого ним тягового зусилля, вираженого через широковідомий безрозмірний коефіцієнт використання зчпної ваги трактора ($\varphi_{\text{кр}}$), є лінійною:

$$\delta = a \cdot \varphi_{\text{кр}} + b, \quad (5)$$

де a і b — константи апроксимації.

З урахуванням цього залежність тягового коефіцієнта корисної дії трактора ($\eta_{\text{т}}$) від коефіцієнта $\varphi_{\text{кр}}$ є такою [9, 10]:

$$\eta_{\text{т}} = \frac{\eta_{\text{тр}} \varphi_{\text{кр}} (1 - a \cdot \varphi_{\text{кр}} - b)}{\varphi_{\text{кр}} + f}, \quad (6)$$

де f — коефіцієнт опору коченню енергетичного засобу.

Усереднена графічна інтерпретація закономірності (6) для колісних тракторів за їх функціонування на агротехнічних фонах «поле, підготовлене до сівби» і «стерня» з буксуванням рушіїв не більше 15% зображена кривою 1 (рисунку). Як свідчить аналіз, за лінійного характеру залежності $\delta = f(\varphi_{\text{кр}})$ тяговий коефіцієнт корисної дії трактора оптимуму не має. Максимальне його значення сягає позначки 0,62 за $\varphi_{\text{кр. max}} = 0,4$.

Мінімальне значення тягового зусилля трактора P_{min} або його безрозмірного аналога — коефіцієнта використання зчпної ваги трактора ($\varphi_{\text{кр. min}}$) — буде обмежене коефіцієнтом швидкості μ , який визначається з виразу (1):

$$\mu = V_i / V_o, \quad (7)$$

де V_i — швидкість руху трактора за певним значенням коефіцієнта $\varphi_{\text{кр}}$; V_o — швидкість руху трактора за $\varphi_{\text{кр. max}}$.

При цьому слід зазначити, що в діапазоні значень $\varphi_{\text{кр}}$ від 0 до $\varphi_{\text{кр. max}}$ значення $V_i \geq V_o$. З урахуванням цього за $\varphi_{\text{кр}} = \varphi_{\text{кр. max}}$ коефіцієнт швидкості μ є мінімальним і дорівнює 1.

Максимальний його рівень визначимо з таких міркувань. Аналіз технічних характеристик більшості сучасних сільськогосподарських машин/знарядь свідчить про те, що діапазон їх робочих швидкостей змінюється в середньому приблизно від $V_{\text{min}} = 7$ до $V_{\text{max}} = 16 \text{ км/год}$. Співвідношення

цих величин (тобто $V_{\max} \cdot V_{\min}$), яке становить 2,2, прийmemo за максимальне значення коефіцієнта швидкості μ .

Усереднена залежність тягового коефіцієнта корисної дії колісних тракторів від його зміни показана кривою 2 (див. рисунок). Як свідчить аналіз, за $\mu=2,2$ мінімальне значення коефіцієнта використання зчпної ваги колісного трактора $\varphi_{\text{кр. min}}=0,24$.

За своєю суттю співвідношення $\varphi_{\text{кр. max}}/\varphi_{\text{кр. min}}$ є не що інше, як співвідношення $P_{\text{max}}/P_{\text{min}}$ і водночас зазначений вище знаменник типорозмірного ряду типажу тракторів q . У цьому разі:

$$\varphi_{\text{кр. max}}/\varphi_{\text{кр. min}} = P_{\text{max}}/P_{\text{min}} = q = 0,4/0,24 = 1,67. \quad (8)$$

З урахуванням (8) і встановлених вище величин $P_{\text{кр. min}}$ і $P_{\text{кр. max}}$ із виразу (3) визначаємо, що типорозмірний ряд типажу тракторів має містити 5 членів (тобто $n=5$). Знаменник цього ряду (q) округлимо до значення 1,7. Саме таке число за класифікацією французького інженера Шарля Ренара входить до переважних у ряду з 5-ти його значень.

З урахуванням викладеного вище визначення типажу тракторів алгоритм його розрахунку є таким:

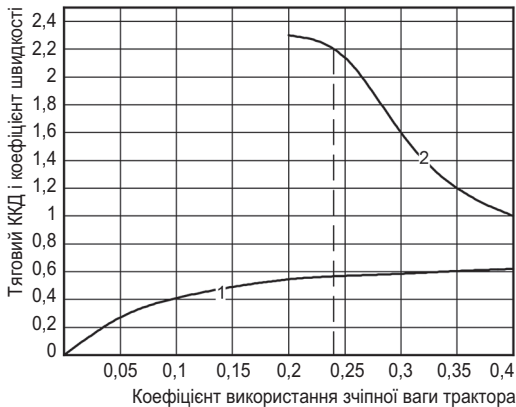
$P_{\text{кр. max}} = 52,8$ кН — це клас 5; номінальне тягове зусилля трактора — $P_{\text{кр. н}} = 50$ кН;

$P_{\text{кр. max}}/q = 52,8/1,7 = 31$ кН — клас 3; номінальне тягове зусилля — $P_{\text{кр. н}} = 30$ кН;

$P_{\text{кр. max}}/q = 31/1,7 = 18,2$ кН — клас 1,8; номінальне тягове зусилля — $P_{\text{кр. н}} = 18$ кН;

$P_{\text{кр. max}}/q = 18,2/1,7 = 10,7$ кН — клас 1,1; номінальне тягове зусилля — $P_{\text{кр. н}} = 11$ кН;

$P_{\text{кр. max}}/q = 10,7/1,7 = 6,3 \approx P_{\text{кр. min}}$ — клас 0,6; номінальне тягове зусилля — $P_{\text{кр. н}} = 6$ кН.



Залежність коефіцієнта швидкості (2) і тягового коефіцієнта корисної дії трактора (1) від коефіцієнта використання його зчпної ваги

Знаючи номінальне тягове зусилля трактора певного класу, можна розрахувати його експлуатаційну масу $M_{\text{тр}}$ [10]:

$$M_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{кр. н}}(1 + 3V_x)}{g} \cdot \sqrt{\frac{a}{f(1+b)}}, \quad (9)$$

де V_x — коефіцієнт варіації коливань тягового навантаження енергетичного засобу; g — прискорення вільного падіння.

Із виразу (9) визначаємо, що

$$P_{\text{кр. н}} = K \cdot M_{\text{тр}},$$

$$\text{де } K = \frac{g}{1 + 3V_x} \cdot \sqrt{\frac{f(1+b)}{a}}. \quad (10)$$

Вираз (10) дає можливість установити допуск на номінальне тягове зусилля трактора. Тобто такий діапазон значень цієї величини, який дає змогу певний енергетичний засіб віднести саме до того тягового класу, а не до іншого.

Як показав аналіз розрахунків за виразом (10), номінальне тягове зусилля трактора певного тягового класу за його функціонування на агротехнічних фонах «стерня» і «поле, підготовлене до сівби» в переважній більшості змінюється в межах $P_{\text{кр. н}} \pm 20\%$. Значення $P_{\text{кр. н}}$ при цьому дорівнює помноженому на 10 тяговому класу енергетичного засобу.

З урахуванням викладеного вище наведено варіант нового типажу сільськогосподарських тракторів для України (табл. 2).

Аналіз цієї таблиці свідчить про те, що новий типаж тракторів у переважній більшості може бути реалізований на вітчизняній матеріально-технічній базі. Основою її є Харківський тракторний і Південний машинобудівний (м. Дніпро) заводи. Певні надії можна поклати і на ТОВ «Укравтозапчастина» (м. Київ).

Виняток типажу становить лише тяговий клас 5. Хоча певною мірою він може бути представлений гусеничними тракторами вітчизняного виробництва ХТЗ-181 або ХТЗ-280Т, результати практичних випробувань підтверджують принаймні технічну здійсненість такого рішення.

Навняість типажу тракторів із номінальними тяговими зусиллями 6–50 кН не означає відсутність потреби в енергетичних засобах з іншими тяговими можливостями. Вочевидь для власників присадибних ділянок будуть потрібні мотоблокові конструкції з тяговим зусиллям на рівні 2–4 кН. Попри свій позасистемний статус вони також потребують розроблення відповідної системи агрегування. Проте це завдання

2. Типаж сільськогосподарських колісних тракторів для України

Тяговий клас	Номінальне тягове зусилля, $P_{кр.н}$ (кН)	Допуск на номінальне тягове зусилля, кН	Базова модель трактора	Виробник
0,6	6	5,4–7,2	КИЙ-440	ТОВ «Укравтозапчастина»
1,1	11	9,9–13,2	ХТЗ-3512	ХТЗ
1,8	18	16,2–21,6	ЮМЗ-8040/8240	ПМЗ
3	30	27,0–36,0	КИЙ-14800	ТОВ «Укравтозапчастина»
			ХТЗ-17221	ХТЗ
5	50	45,0–60,0	ХТЗ-16131	–
			–	–

з урахуванням його важливості, є другорядним порівняно з проблемою створення вітчизняної

Системи машин на основі наведеного вище типу тракторів для України.

Висновки

На підставі застосування нових методичних підходів до визначення мінімального ($P_{кр.мін}$) і максимального ($P_{кр.мах}$) значень усього експлуатаційного діапазону тягових зусиль тракторів, лінійного характеру зміни їх буксування від розвиненого тягового зусилля встановлено, що новий типаж колісних тракторів для України мають становити енергетичні засоби 5-ти тягових класів: 0,6; 1,1; 1,8; 3 і 5. Збільшення кожної з цих цифр рівно в 10 разів показує номінальне тягове зусилля трактора ($P_{кр.н}$) у кН. Діапазон зміни цього параметра для кожного енергетичного засобу певного тягового класу змінюється

в межах $P_{кр.н}^{+20}_{-10}$

Запропонований типаж тракторів, за винятком тягового класу 5, практично реалізовується на основі тих моделей енергетичних засобів, які виготовляються на Харківському тракторному і Південному машинобудівному (м. Дніпро) заводах та збираються ТОВ «Укравтозапчастина» (м. Київ).

Проблемне питання тракторів тягового класу 5 може бути вирішене або придбанням таких енергетичних засобів за рубежом, або використанням (там, де це доцільно і можливо) гусеничних тракторів вітчизняного виробництва марок ХТЗ-181 і ХТЗ-280Т.

Бібліографія

1. Трепененков И.И. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов/И.И. Трепененков. — М.: Гос. науч.-техн. изд. машиностр. лит-ры, 1963. — 272 с.
2. Юшин О. Перспективи розвитку тракторної енергетики/О. Юшин//Механізація сільського господарства. — К.: Урожай, 1979. — Вип. 7. — С. 14–15.
3. Пожидаев С.П. До удосконалення методики віднесення тракторів до тягових класів/С.П. Пожидаев//Механізація сільського господарства. — К.: Урожай, 1994. — Вип. 79. — С. 12.
4. Надикто В. Енергонасиченість тракторів та шляхи її реалізації/В.Т. Надикто//Техніка і технології АПК. — 2011. — № 9. — С. 25–27.
5. Тракторы. Конструкция/И.П. Ксенович, В.М. Шарипов, Л.Х. Арустамов и др.; под ред. И.П. Ксеновича, В.М. Шарипова. — М.: МГТУ «МАМИ», 2001. — 821 с.
6. Україні потрібен власний типаж тракторів/В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто//Аграрний тиждень. — 2014. — № 14. — С. 52–53.
7. Вильямс В.Р. Почвоведение. Земледелие с основами почвоведения/В.Р. Вильямс. — М.: ОГИЗ-СЕЛЬХОЗГИЗ, 1940. — 448 с.
8. Гапич Д. С. Теоретическая оценка тягово-сцепных характеристик колесных тракторов/Д.С. Гапич, И.А. Несмиянов, Е.В. Ширяева//Тракторы и сельхозмашины. — 2012. — № 7. — С. 19–22.
9. Investigation of draft coefficient of wheeled tractor/V. Bulgakov, V. Nadykto, I. Velichko, S. Ivanovs// Engineering of rural development (Proceedings). — Jelgava, 2016. — V. 15. — P. 1036–1041.
10. Theoretical research into the power and energy performance of agricultural tractors/V. Adamchuk, V. Bulgakov, V. Nadykto et al.//Agronomy Research. — 2016. — V. 14. № 5. — P. 1511–1518.

Надійшла 21.11.2016.