

Техніка і обладнання для АПК: дослідження, експертиза, прогноз розвитку

УДК 631.37

Адамчук В., академік НААН України (ННЦ "ІМЕСГ"), Булгаков В., академік НААН України (НУБіП України), Надикто В., член-кореспондент НААН України, Ігнат'єв Є., інженер (Таврійський ДАТУ)

Розроблення нової методики визначення основних параметрів сільськогосподарського трактора

Запропоновано нову методику визначення необхідної мінімальної потужності двигуна сільськогосподарського колісного трактора відповідного тягового класу, а також його експлуатаційної маси та енергонасиченості з урахуванням лінійного характеру залежності буксування рушіїв енергетичного засобу від розвинутого ним тягового зусилля.

Ключові слова: трактор, тяговий клас, потужність, тягове зусилля, експлуатаційна маса, енергонасиченість

Суть проблеми. У роботі [1] на основі використання сучасного балансу потужностей трактора [2] запропоновано методику визначення його мінімально необхідних значень експлуатаційної маси (W_{tr} , кг) та потужності двигуна (N_e , кВт). Характерною ознакою цієї методики є врахування нею нелінійної залежності буксування рушіїв енергетичного засобу (δ) від реалізованого ним тягового зусилля (P_{dp}).

Зауважимо, що така точка зору щодо функції $\delta = f(P_{dp})$ була і нині поки що залишається класичною у теорії трактора як країн пострадянського простору [2, 3], так і за його межами [4]. Максимальне буксування рушіїв трактора обмежується при цьому тим значенням, яке обумовлює його найвищі тягово-енергетичні показники. Зазвичай це становить 22...24% [3].

Водночас, для забезпечення збереження структури ґрунту величина буксування колісного енергетичного засобу, принаймні у весняно-літній період польових робіт, не повинна перевищувати, як наголошується у роботі [5], величини 9 - 15% . Урахування того

факту, що переважна більшість сучасних тракторів є повнопривідними з притаманними їм більш високими тягово-зчпними властивостями, змушує переглянути чинну точку зору щодо характеру залежності $\delta = f(P_{dp})$. На підставі постулатів, викладених у статті [5], пропонується розглядати її виключно у лінійній інтерпретації, а саме:

$$\delta = A \cdot \frac{P_{dp}}{W_{tr} \cdot g} + B, \quad (1)$$

де А, В - константи апроксимації процесу буксування рушіїв трактора прямою;

g - прискорення вільного падіння.

За такого підходу змінюється природа тягового коефіцієнта корисної дії трактора. Виявляється, що за певних обставин на практиці його максимальне (оптимальне) значення може бути взагалі недосяжним [6]. Водночас, чинні нині наукові положення передбачають, що максимум продуктивності машинно-тракторного агрегата досяжний за максимуму тягового

© Адамчук В., Булгаков В., Надикто В., Ігнат'єв Є., 2016

коефіцієнта корисної дії трактора. Продуктивність машинно-тракторного агрегата, у свою чергу, обумовлюється такими показниками енергетичного засобу, як експлуатаційна маса та установлена потужність його двигуна. Звідси випливає, що за лінійного характеру залежності $\delta = f(P_{dp})$ методика визначення цих основних параметрів трактора буде іншою. Висвітленню основної суті цієї методики і присвячена дана стаття.

Методика. Як і в роботі [1], з урахуванням методичних підходів, сформульованих у [2], для подальшого аналізу залишаємо основні чотири складові балансу потужностей енергетичного засобу:

$$N_e = N_{dr} + N_{tr} + N_{\delta} + N_{mr}, \quad (2)$$

де N_{dr} – тягова потужність трактора; N_{tr} , N_{δ} , N_{mr} – потужності, які характеризують витрати енергії на тертя в трансмісії, буксування рушіїв і подолання опорів кочення енергетичного засобу.

Кожну із складових виразу (2) можна виразити так:

$$\left. \begin{aligned} N_{dr} &= P_{dp} \cdot V = P_{dp,n} \cdot (1 + 3 \cdot V_x) \cdot V; \\ N_{tr} &= (1 - \eta_{tr}) \cdot N_e; \\ N_{mr} &= f \cdot W_{tr} \cdot g \cdot V; \\ N_{\delta} &= (f \cdot W_{tr} \cdot g + P_{dr}) \cdot \delta \cdot V. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

У системі рівнянь (3) прийнято такі позначення: V – швидкість робочого руху трактора у складі того чи іншого машинно-тракторного агрегата; $P_{dp,n}$ – номінальне тягове зусилля трактора; V_x – коефіцієнт варіації коливань тягового навантаження енергетичного засобу; η_{tr} – коефіцієнт корисної дії трансмісії трактора; f – коефіцієнт опору коченню енергетичного засобу.

Після підставлення залежностей (1), (3) у рівняння (2) і відповідних перетворень отримуємо:

$$N_e = \frac{W_{tr}^2 \cdot D_2 + W_{tr} \cdot D_1 + D_0}{W_{tr} \cdot D_3}, \quad (4)$$

$$\text{де } D_2 = f \cdot g \cdot V \cdot (1 + B);$$

$$D_1 = P_{dp,n} \cdot (1 + 3 \cdot V_x) \cdot V \cdot (1 + B + f \cdot A);$$

$$D_0 = \frac{A \cdot [P_{dp,n} \cdot (1 + 3 \cdot V_x)]^2 \cdot V}{g};$$

$$D_3 = \eta_{tr}.$$

Оптимальне значення експлуатаційної маси трактора може бути визначене шляхом розв'язання частинної похідної $N'_e / W'_{tr} = 0$. У підсумку маємо:

$$W_{tr} = \frac{P_{dp,n} \cdot (1 + 3 \cdot V_x)}{g} \cdot \sqrt{\frac{A}{f \cdot (1 + B)}}. \quad (5)$$

Визначивши експлуатаційну масу трактора з (5) і підставивши її у (4), розраховується мінімально необхідна потужність його двигуна.

Результати дослідження та їх обговорення. На перший погляд із аналізу формули (5) випливає, що зі збільшенням коефіцієнта опору коченню трактора f його експлуатаційна маса має зменшуватися. У дійсності це не так і ось чому. Зростання коефіцієнта f означає погіршення умов зчеплення рушіїв енергетич-

ного засобу з ґрунтом. За нормальної вологості останнього це має місце за його більшого розпушення. Ось чому на твердішому агротехнічному фоні (стерні, наприклад) коефіцієнт опору кочення трактора завжди менший, ніж на обробленому (скажімо, поле, підготовлене до сівби).

Рух трактора з одним і тим же тяговим зусиллям по твердому і розпушеному фонах у останньому випадку характеризуватиметься більшим буксуванням рушіїв. Аналітично це знайде своє відображення у значенні коефіцієнтів апроксимації A і B .

Як показують результати аналізу тягових характеристик низки вітчизняних тракторів, зростання коефіцієнта A є таким, яке перевищує вплив на величину W_{tr} зростання коефіцієнтів f і, особливо, B . Причому інтенсивність зростання коефіцієнта A є настільки переважуючою, що у підсумку, за незмінності параметрів $P_{dp,n}$ і V_x виразу (5), зі збільшенням значення коефіцієнта опору коченню трактора f його експлуатаційна маса W_{tr} зростає.

Бажаний рівень достовірності використання виразів (4) і (5) для конкретних розрахунків буде забезпечений за достатньої кількості даних щодо значень коефіцієнтів лінійної апроксимації (A і B) процесу буксування рушіїв колісних тракторів за умови їх функціонування на різних агротехнічних фонах. Нині такі їхні тягові характеристики поки ще ніким не отримані.

Проте, незважаючи на таке, спробуємо застосувати вирази (4) і (5) для конкретних обчислень. Для цього спочатку задамо значення тих величин, які входять у ці вирази. У першу чергу це стосується верхньої межі робочих швидкостей руху машинно-тракторних агрегатів. Практикою встановлено, що для більшості сучасних ґрунтообробних і посівних сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів середнє значення цього параметра нині становить приблизно 9 км/год. Коефіцієнт варіації тягового навантаження трактора може становити 12...18% [3]. З урахуванням цього для розрахунків приймемо $V_x = 0,15$.

Далі для прикладу розглянемо досить розповсюджені в господарствах України колісні енергетичні засоби типу Т-150К-09, ХТЗ-17021 тощо. У нашій країні, на жаль, немає власного типу тракторів. На її теренах і нині хоча і формально, але ще діє ГОСТ 27021, згідно з яким вказані енергетичні засоби відносяться до тягового класу 3. Вони мають інтегральну компоновальну схему, блокований привід коліс переднього та заднього мостів. За даними тягових випробувань на злученому стерньовому фоні за коефіцієнта опору коченню $f = 0,11$ і максимального буксування рушіїв 12% середнє значення їхнього номінального тягового зусилля $P_{dp,n} = 32$ кН. Коефіцієнти апроксимації процесу буксування цих тракторів прямою лінією є такими: $A = 0,301$; $B = 0,001$. Коефіцієнт корисної дії трансмісії $\eta_{tr,t} = 0,93$ [2].

Розрахунки виразу (5) за таких вихідних даних показують, що оптимальна експлуатаційна маса тракторів тягового класу 3 повинна становити 7,8 т. Це щонайменше на 0,3 т менше за ту експлуатаційну масу, яку у дійсності мають нині енергетичні засоби,

вказаних вище марок.

Для порівняння, автори роботи [3] пропонують експлуатаційну масу трактора, позначаючи її - $m_э$, розраховувати за такою формулою:

$$m_э = \frac{\Delta_{lim} \cdot F_{кр.н}}{(\varphi_{доп} - f) \cdot g}, \quad (6)$$

де Δ_{lim} - коефіцієнт можливого перевантаження трактора за тяговим зусиллям. У цьому випадку $\Delta_{lim} = 1 + 3 \cdot V_x \cdot F_{кр.н}$ - номінальне тягове зусилля енергетичного засобу, тобто $P_{др.н}$; $\varphi_{доп}$ - допустимий за агротехнічними умовами коефіцієнт зчеплення рушіїв трактора з ґрунтом. Прийmemo запропоновану авторами [3] максимальну величину цього параметра, тобто $\varphi_{доп} = 0,75$.

За вихідних даних $V_x = 0,15$; $F_{кр.н} = P_{др.н} = 32$ кН; $\varphi_{доп} = 0,75$ і $f = 0,11$ із виразу (6) отримуємо, що експлуатаційна маса трактора тягового класу 3 має дорівнювати 7,4 т. Це лише на 400 кг менше за те значення, яке отримане нами із виразу (5).

Що стосується потужності двигуна, то, як впливає з розрахунків за формулою (4), її мінімальний рівень має становити майже 174 кВт, тобто 237 к.с. Методика вибору повного рівня потужності трактора викладена у роботі [1].

Наголосимо, що нині цей показник за максимальною своєю величиною у тракторів тягового класу 3 дорівнює лише 175...180 к.с., тобто на 26% менший. Як показує практика експлуатації Т-150К-09, ХТЗ-17021, ХТЗ-17031 тощо, саме дефіцит потужності їхніх двигунів обмежує швидкісний режим роботи цих енергетичних засобів із сучасними ґрунтообробними і посівними комплексами. А це відповідним чином негативно відбивається як на продуктивності, так і на економічності їхньої роботи.

Крім експлуатаційної маси та потужності двигуна ще одним важливим конструкційним параметром трактора є його енергонасиченість (E_{tr}). За своєю аналітичною природою вона така:

$$E_{tr} = \frac{N_e}{W_{tr}} = \frac{W_{tr}^2 \cdot D_2 + W_{tr} \cdot D_1 + D_0}{W_{tr}^2 \cdot D_3} \quad (7)$$

Згідно з виразом (7) енергонасиченість трактора має розмірність [кВт/т]. Останнім часом низка авторів розглядає цей параметр як відношення потужності двигуна трактора до його експлуатаційної ваги [2, 7]. Її розмірність при цьому є [кВт/кН]. Читач може сам пересвідчитися, що у кінцевому вигляді вона репрезентує швидкість руху трактора - тобто [м/с].

На наш погляд, розмірність енергонасиченості у вигляді [кВт/т] краще розкриває її суть, показуючи яка потужність двигуна трактора припадає на одиницю його маси. Розмірність [м/с] мало про що інформує, оскільки швидкість роботи трактора у складі того чи іншого машинно-тракторного агрегата може обмежуватися не потенційними можливостями двигуна енергетичного засобу, а агротехнічними і (або іншими) вимогами.

У роботі [8] підкреслюється, що за енергонасиченості трактора 14...15 кВт/т він є енергетичним засобом тягової концепції, а за більшої - тягово-енергетич-

ної. Остання вимагає від конструктора трактора розроблення системи реалізації у складі машинно-тракторного агрегата тієї потужності двигуна, яка не може бути реалізована через тягове зусилля. Як показують розрахунки виразу (7), реалізація трактором тягового зусилля 32 кН у складі того чи іншого машинно-тракторного агрегату за робочої швидкості 9 км/год і лінійного характеру залежності буксування рушіїв від тягового зусилля можливе за його енергонасиченості на рівні 22,3 кВт/т. Трактор при цьому стає енергетичним засобом тягово-енергетичної концепції. Натомість, енергетичні засоби Т-150К-09 та ХТЗ-17021 і нині практично залишаються представниками тягової концепції, оскільки їх енергонасиченість не перевищує 16 кВт/т.

Так як параметр E_{tr} визначається відношенням встановленої потужності двигуна трактора до його експлуатаційної маси, то протягом усього періоду експлуатації енергетичного засобу він залишається постійним. Принаймні на тому відрізку часу, на якому величина N_e залишається постійною.

За перемінного характеру тягового навантаження трактора (що в дійсності завжди має місце) установлена потужність його двигуна, як справедливо стверджує автор роботи [2], повністю практично не може бути реалізована. З огляду на це енергонасиченість трактора - це потенційна характеристика і вона не залежить, як стверджують автори роботи [7], від режиму руху машинно-тракторного агрегата. Змінити її можна встановленням двигуна іншої потужності, баластуванням енергетичного засобу або першим і другим заходами одночасно. З точки зору ущільнювального впливу на ґрунтове середовище перспективи баластування трактора навіть за умови конструювання його згідно з принципами тягово-енергетичної концепції цілком обмежені. Досить предметно ця проблема розглянута у роботі [9].

Висновки. Задаючись бажаним тяговим зусиллям трактора ($P_{др.н}$), режимом (V, V_x) і умовами (f, A, B) роботи, із виразу (5) можна визначити його експлуатаційну масу, а із виразу (4) - мінімально необхідну потужність двигуна.

Використовуючи ці дані, досить просто встановити той шлейф сільськогосподарських машин/знарядь, який необхідний для агрегування трактора з такими основними конструкційними параметрами за умови лінійного характеру зміни його буксування від розвинутого тягового зусилля. Принципи вибору складу машинно-тракторного агрегата за номінальним тяговим зусиллям трактора відомі усім випускникам вищої технічної аграрної школи.

Рівень енергонасиченості, як відношення встановленої потужності двигуна до експлуатаційної ваги енергетичного засобу, є ознакою його приналежності або до тягової, або до тягово-енергетичної концепції, кожній із яких притаманна своя система агрегування сільськогосподарської техніки.

Список літератури:

1. Надикто В. Методика визначення потужності двигуна с.-г. трактора // Техніка і технології АПК, 2014,

- №1.
2. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства.- М.: КолосС, 2004. – 504 с.
 3. Тракторы: Теория: Учебник для студентов вузов по спец. «Автомобили и тракторы» /В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др.- М.: машиностроение, 1988. - 376 с.
 4. Nastasoiu M., Padureanu V. Tractoare. - Editura Universitatii Transilvania, Brasov, 2012. - 240 p.
 5. Надикто В. Визначення максимального буксування колісних рушіїв з урахуванням обмеження їх тиску на ґрунт // Техніка і технології АПК, 2014, №7.
 6. Bulgakov V., Nadykto V., Velichko I., Ivanovs S. Investigation of draft coefficient of wheeled tractor // Engineering of rural development (Proceedings), 2016. – Volume 15.
 7. Ребров А.Ю., Самородов В.Б. Энергонасыщенность и технико-экономические показатели колесных сельскохозяйственных тракторов // Вісник НТУ «ХПІ», 2010, №33.
 8. Надикто В.Т. Роль энергонасыщенности тракторов в формировании их типажа // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2012, №3.
 9. Надикто В. Проблеми баластування колісних тракторів // Техніка і технології АПК, 2013, №2.

Аннотация. Предложена новая методика определения необходимой минимальной мощности двигателя сельскохозяйственного колесного трактора соответствующего тягового класса, а также его эксплуатационной массы и энергонасыщенности с учетом линейного характера зависимости буксования двигателей энергетического средства от развиваемого им тягового усилия.

Summary. A new method determining required minimum engine power of agricultural wheeled tractors of the corresponding drawbar category, as well as its operating weight and energy intensity, taking into account the linear dependence slipping tractor with its drawbar .

Стаття надійшла до редакції 2 вересня 2016 р.