

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

УДК 631.37

Надикто В., д-р техн. наук, член-кореспондент НААН України (Таврійський ДАТУ)

Методика визначення потужності двигуна сільськогосподарського трактора

Запропоновано методику визначення необхідної потужності двигуна сільськогосподарського колісного трактора відповідного тягового класу.

Ключові слова: типаж тракторів, трактор, тяговий клас, потужність, тягове зусилля, енергонасиченість.

Суть проблеми. Механічним об'єктом, який визначає ефективність сільськогосподарського виробництва, є не трактори або окремо взяті машини чи знаряддя, а їх взаємообумовлене поєднання у вигляді конструкцій, які прийнято називати машинно-тракторними агрегатами (МТА). Саме їм притаманні ті важливі характеристики, які у кінцевому висліді цікавлять споживача техніки: продуктивність праці, питомі витрати палива, якість роботи, експлуатаційні і сукупні витрати тощо.

Одна річ, коли фірма-виробник виготовляє і пропонує на ринку трактори разом з адаптованими до них машинами та знаряддями (тобто, по суті справи, – МТА). У цьому випадку названі вище показники їх роботи для визначених ґрунтово-кліматичних умов є, як правило, оптимізованими.

Зовсім інша справа там, де енергетичні засоби виробляють одні підприємства, а шлейф машин та знарядь до них – інші (як в Україні, наприклад). Тут не виключається ситуація, коли, маючи досить добрі енергетичні засоби та машини чи знаряддя, можна отримати не зовсім ефективні машинно-тракторні агрегати з усіма впливаючими звідси негативними наслідками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботах [1-3] вже наголошувалось, що виправити такий стан речей можна лише шляхом розроблення вітчизняного типажу тракторів. Його наявність гармонізуватиме діяльність тракторо- і сільгоспмашинобудівників. Адже перші на рівні відповідного ДСТУ задаватимуть той, заздалегідь обумовлений, діапазон зміни основних конструкційних параметрів енергетичних засобів, які при проектуванні машин чи знарядь зобов'язані будуть враховувати інші. Результатом такої погодженості їх дій буде створення Системи машин – базису для розроблення ефективних МТА.

Донедавна ми керувалися ГОСТ 27021-86 (СТ СЭВ 628-85), в якому визначальним параметром побудови типорозмірного ряду тракторів було їх номінальне тягове зусилля. Ще раніше для визначення класу трактора застосовувались як тягова (кінець 20-х років), так

і встановлена (1946 р.) потужність двигуна. Проте у загальному підсумку від такої класифікації енергетичних засобів відмовились. Як виявилось, обидва види потужності двигуна не характеризують набір машин та знарядь, з якими може працювати той чи інший трактор. Таку задачу можна вирішити, оперуючи лише його номінальним тяговим зусиллям [4].

До речі, офіційної класифікації закордонних тракторів за потужністю двигуна нині не існує. З цим твердженням погодилися ті російські вчені, які свого часу були причетні до розроблення ГОСТ 27021-86 [5]. Справа в тому, що вказані в цьому документі стандарти класифікують не самі закордонні трактори (причому лише колісні!), а регламентують розміри і вимоги до їх триточкових задніх навісних пристроїв або за величиною реалізовуваної потужності через ВВП (ISO 730-1:1977, ISO 730-2:1979, ISO 730-3:1982, ISO/DIS 730), або за величиною максимальної тягової потужності (PAES 118:2001).

Тому запропонована в ГОСТ 27021-86 (СТ СЭВ 628-85) система розподілу тракторів 10-ти тягових класів на аналогічні 4 групи за потужністю двигуна є хибною, а її використання може призводити до принципових помилок в системі агрегування енергетичних засобів [2,3].

Незважаючи на це, вперто відстоюється спроба перейти на класифікацію тракторів за потужністю двигуна, безсистемно поділяючи їх на незрозумілі ні для науковців, ні для практиків сегменти, класи тощо [6].

Якщо вже й приймати як оцінювальний параметр потужність, то слід чітко розуміти її взаємозв'язок з експлуатаційною масою трактора та його номінальним тяговим зусиллям. Інакше марно сподіватися на вдаль розв'язання проблеми ефективного агрегування будь-якого мобільного енергетичного засобу.

Методика. Природу цього взаємозв'язку з'ясуємо з допомогою наступної методології. В загальному випадку потужність двигуна витрачається на виконання основного технологічного процесу, здійснення роботи в різних механізмах трактора і його взаємодію з опорною поверхнею руху. У розгорнутому вигляді

сучасний баланс потужностей енергетичного засобу має такий вигляд [7]:

$$N_e = N_{кр} + N_{тр} + N_d + N_f + N_i + N_j + N_{ввп} + N_{ком} + N_p + N_n + N_{п}, \quad (1)$$

де N_e – встановлена (ефективна) потужність двигуна; $N_{кр}$ – тягова потужність трактора; $N_{тр}$, N_d , N_f , N_i – потужності, які характеризують витрати енергії на тертя в трансмісії, буксування рушіїв, подолання опорів коченню і підйому трактора; N_j – потужність сил інерції; $N_{ввп}$ – потужність, яка передається через передній і/або задній вали її відбору; $N_{ком}$ – потужність, необхідна для створення комфортних умов роботи тракториста; N_p – потужність розсіювання, яка вибирається (поглинається) пружними елементами конструкції трактора; N_n – потужність, яка неповністю використовується двигуном енергетичного засобу через перемінний характер тягового навантаження; $N_{п}$ – потужність, яка витрачається на виправлення непрямолінійного робочого руху трактора у складі МТА.

Д-р техн. наук Кутьков Г.М. не без підстав стверджує, що «ступінь досконалості трактора як тягача і відповідність його функціональному призначенню характеризує зміну окремих складових енергетичного балансу в залежності від тягового зусилля на гаку $R_{кр}$ » [7]. Тому складові балансу потужностей (1) $N_{ввп}$ і $N_{ком}$, які безпосередньо не залежать від $R_{кр}$, із подальшого аналізу виключимо. Аналогічно поведёмось і з потужностями N_i та N_j через знакоперемінний характер їх дії. Тим паче, що на горизонтальних ділянках шляху складова N_i взагалі не проявляється, а N_j має місце лише під час розгону та гальмування машинно-тракторного агрегату. Але через відносно малі швидкості робочого руху сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів її вплив в загальному балансі потужностей можна вважати незначним.

Тепер кілька слів про такі динамічні складові балансу потужностей, як N_p , N_n та $N_{п}$. Основна частина дисипативних втрат енергії здійснюється у підвісці та пневматичних шинах трактора. У К-701, наприклад, потужність N_p становить майже 4 кВт [7].

Дослідженнями Г.М. Кутькова встановлено, що через нелінійність регуляторної характеристики двигуна і коливального характеру зовнішнього навантаження, яке діє на трактор у складі МТА, встановлена потужність повністю не може бути використана. Причому, недовикористання величини N_e не залежить від того, чи будуть втрати потужності, обумовлені зміною фізичних умов протікання процесів у двигуні через коливальний характер зовнішнього навантаження, чи таких втрат не буде. За наявності втрат вони, як підкреслює Г.М. Кутьков [7, 8], повинні визначатися окремо.

Величину складової N_n визначають з виразу [8]:

$$N_n = M_{кн} \cdot (\omega_n - \omega_{ср}),$$

де $M_{кн}$ – номінальне значення крутного моменту двигуна; ω_n , $\omega_{ср}$ – кутова швидкість обертання колінчастого вала двигуна трактора за постійного та перемінного характеру зовнішнього навантаження (моменту $M_{кн}$).

Складова $N_{п}$ відображає втрати енергії, обумовлені здійсненням підворотів трактора під час його робочого руху на гоні у складі МТА. І чим стійкіший до зовнішніх збурень останній, тим меншою є величина цих втрат.

Для подальшого аналізу залишаються перші чотири складові балансу (1), які, по суті справи, визна-

чають мінімально необхідну потужність двигуна трактора:

$$N_e = N_{кр} + N_{тр} + N_d + N_f. \quad (2)$$

Вираз (2) характеризує статичний баланс потужностей енергетичного засобу. У розкритому вигляді його можна представити так [9]:

$$N_e = f(MT) = \frac{D_1 \cdot MT^3 + D_2 \cdot MT^2}{MT^2 - D_3 \cdot MT - D_4} \cdot D_5, \quad (3)$$

де $D_1 = V_o \cdot f \cdot g$; $D_2 = V_o \cdot P_{кр,т} \cdot (1+3 \cdot V_x)$;

$D_3 = A \cdot P_{кр,н} \cdot (1+3 \cdot V_x)/g$; $D_4 = B \cdot [P_{кр,н} \cdot (1+3 \cdot V_x)/g]^2$;

$D_5 = K_v/\eta_{тр,т}$; MT – експлуатаційна маса трактора; V_o – робоча швидкість руху МТА; f – коефіцієнт опору коченню коліс трактора; $P_{кр,т}$, A , B – номінальне тягове зусилля і коефіцієнти апроксимації кривої буксування енергетичного засобу; V_x – коефіцієнт варіації коливань тягового навантаження трактора; K_v – коефіцієнт кінематичної невідповідності в приводі мостів енергетичного засобу; $\eta_{тр,т}$ – ККД трансмісії трактора.

Оптимальне значення експлуатаційної маси трактора визначають з виразу (3) шляхом розв'язання частинної похідної $dN_e/dMT = 0$. В результаті отримано [9]:

$$MT = \sqrt[3]{-q/2 - \sqrt{D}} + \sqrt[3]{-q/2 + \sqrt{D}}, \quad (4)$$

де $D = (p/3)^3 + (q/2)^2$; $p = (3 \cdot s - r^2)/3$; $q = (2 \cdot r^3/27) - r \cdot s/3 + t$; $r = -2 \cdot D_3$; $s = -(D_2 \cdot D_3 + 3 \cdot D_1 \cdot D_4)/D_1$; $t = -2 \cdot D_2 \cdot D_4/D_1$.

А далі, визначивши експлуатаційну масу трактора з (4) і підставивши її у (3), можна розрахувати мінімально необхідну потужність його двигуна.

Для здійснення конкретних розрахунків задамося значеннями тих величин, які входять до виразу (3). У першу чергу це стосується верхньої межі робочих швидкостей руху машинно-тракторних агрегатів. Практикою встановлено, що для більшості сучасних ґрунтообробних і посівних сільськогосподарських МТА перехід на робочі швидкості вище 10 км/год недоцільний, тому що відбувається зниження продуктивності праці і підвищення погектарної витрати палива [10]. Зазначена швидкісна межа практично дорівнює середньому значенню, яке рекомендується для всіх інших технологічних операцій. У Білорусії, наприклад, МТА задовільно працюють на оранці зі швидкістю 8-10 км/год, на культивациі – 7-9 км/год, на лущенні стерні – 8-9 км/год, на боронуванні – 9-10 км/год. Приблизно такі ж швидкісні режими характерні агрегатам, що працюють у нечорноземній зоні Росії, на півдні України тощо [11]. У зв'язку з цим дійсну швидкість руху модульного енергетичного засобу, яка відповідає номінальній потужності його двигуна, можна прийняти рівною 10 км/год.

Після збирання врожаю сільгоспкультур практично всіма технологічними регламентами передбачено проведення лущення або дискування стерні. В подальшому саме по такому агротехнічному фону проводяться найбільш енергоємні операції, пов'язані з основним обробітком ґрунту. В процесі їх здійснення коефіцієнт опору кочення колісних енергетичних засобів, як показує практика досліджень, становить 0,10-0,14, а коефіцієнт варіації тягового навантаження трактора змінюється в діапазоні 2-6%. Тому для подальших розрахунків приймемо $f = 0,12$ і $V_x = 0,04$.

Для прикладу розглянемо досить розповсюджені в господарствах України колісні енергетичні засоби тягового класу 3 (серії ХТЗ-170). Ці трактори мають інтегральну компоновальну схему, блокований привід коліс переднього та заднього мостів і такі характеристики: $N_e = 128,7...132,4$ кВт; $M_t = 8,59...8,98^1$ т; $P_{кр.н} = 32$ кН^{*}; $K_v = 1,03$ [9]; $A = -0,07^*$; $B = 0,7^*$; $\eta_{тр.т} = 0,92$ [8].

Розрахунки показують, що оптимальна експлуатаційна маса тракторів тягового класу 3 повинна становити 9,0 т, мінімальна потужність двигуна – 158 кВт (215 к.с.), а мінімальна енергонасиченість – 17,5 кВт/т. Як бачимо, насправді енергетичні засоби серії ХТЗ-170 за практично оптимальної експлуатаційної маси мають приблизно на 26-30 кВт меншу потужність двигуна. І це зонайменше, адже з урахуванням згаданих вище складових N_p , N_n , $N_{п}$ і $N_{ком}$ дійсне, розраховане за виразом (3), значення N_e має бути збільшене приблизно на 15-20 кВт. Потенціальна енергонасиченість трактора становитиме при цьому 19-20 кВт/т. А це на 23-40% більше, ніж реальна, яка для енергетичних засобів серії ХТЗ-170 нині становить 14,3-15,4 кВт/т.

Між іншим, згідно із залежностями (3) і (4), трактор тягового класу типу К-701 повинен мати експлуатаційну масу 14,5 т, мінімальну потужність двигуна 252 кВт (356 к.с.) і мінімальну енергонасиченість 18,0 кВт/т. Реальні його характеристики були такими: $M_t = 13,7$ т; $N_e = 198,5$ кВт (270 к.с., тобто на 86 к.с. менша!), а енергонасиченість – 14,5 кВт/т.

Висновки. Таким чином, знаючи необхідну експлуатаційну масу трактора (а, значить, і його приблизне номінальне тягове зусилля), можна, використовуючи вираз (3), визначити необхідну потужність двигуна. Використовуючи ці дані, досить просто встановити той шлейф сільськогосподарських машин та знарядь, який необхідний для агрегування трактора з такими основними конструкційними параметрами. Принаймні найпростіший алгоритм цього процесу відомий всім випускникам вищої технічної аграрної школи.

Натомість, оперуючи лише потужністю двигуна, досить проблематично визначити ефективні варіанти використання того чи іншого енергетичного засобу, тим паче на сучасному етапі, який характеризується впровадженням нової, тягово-енергетичної концепції розвитку трактора. Згідно з її положеннями енергонасиченість останнього може становити не 14-18 кВт/т, а 30-40 кВт/т і навіть більше. І тут виникає запитання: яку інформацію щодо технологічних властивостей такого енергетичного засобу несе потужність двигуна? Адже може виявитися, що один трактор з $N_e = 184$ кВт (250 к.с.) відноситься до енергетичних засобів тягового класу 2, а другий – з цією ж потужністю двигуна, – до представників тягового класу 3 або 4. Але ж системи машин для їх агрегування, як відомо, різні.

Звідси випливає, що чітке упорядкування правил експлуатації мобільних енергетичних засобів можливе лише за наявності їх типажу, основним класифікаційним параметром якого має бути номінальне тягове зусилля (тяговий клас). Додатковим (причому обов'язковим) параметром повинна виступати енергонасиченість трактора як така, що органічно пов'язує його експлуатаційну масу з потужністю двигуна. Методологічні основи розрахунку останньої викладено вище.

Список літератури

1. Безуглий М.Д., Булгаков В.М., Кюрчев В.М., Надикто В.Т. Україна повинна мати власний типаж тракторів // Вісник аграрної науки. – 2010. – №11.
2. Надикто В.Т. Енергонасиченість тракторів та шляхи її реалізації // Техніка і технології АПК. – 2011. – № 9.
3. Надикто В.Т. Роль енергонасиченості тракторів в формуванні їх типажу // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 3.
4. Трепененков И.И. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963. – 272 с.
5. Мининзон В.И., Парфенов А.П. О перспективной системе классификации с.-х. тракторов // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 4.
6. Метьолкін В. Ринок колісних тракторів // The Ukrainian Farmer, грудень, 2012.
7. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. – М.: Колос, 2004. – 504 с.
8. Кутьков Г.М. Тяговая динамика тракторов.- М.: Машиностроение, 1980. – 321 с.
9. Надикто В.Т. Основы агрегатирования модульных энергетических средств. – Мелитополь: КП «ММД», 2003. – 240 с.
10. Юдкин В.В. Оптимизация скорости движения и ширины захвата почвообрабатывающих агрегатов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1988. – №4.
11. Перспективные мобильные энергетические средства (МЭС) для сельскохозяйственного производства; под ред. М.М. Севернева. – Минск: Наука и техника, 1982. – 272 с.

Аннотация. Предложена методика определения необходимой мощности двигателя сельскохозяйственного трактора соответствующего тягового класса.

Summary. The method determination necessary engine of agricultural tractor of the proper hauling class power is offered.

¹ – в залежності від марки встановленого двигуна

* – з розрахункових тягових характеристик