

НОВІ ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ТЯГОВОЇ ДИНАМІКИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ

Надикто В., член-кореспондент НААН України, **Кюрчев В.**, член-кореспондент НААН України (Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного)

У статті викладено нові елементи теорії тягової динаміки та експлуатації колісних тракторів. Запропоновано залежності для визначення максимально допустимого буксування рушіїв енергетичних засобів з урахуванням забезпечення збереження структури ґрунту. Розглянута природа тягового ККД трактора і нові залежності для розрахунку його маси та потужності двигуна за умови лінійного характеру залежності буксування енергетичного засобу від його тягового зусилля. Запропоновано новий алгоритм оцінювання можливості механічного баластування трактора. Виведено новий показник керованості енергетичного засобу під час руху МТА по нахилений до горизонту поверхні. Запропоновано проєкт нового типу колісних тракторів України.

Ключові слова: трактор, буксування, потужність двигуна, баластування, керованість руху, технологічні властивості трактора, тяговий клас.

Постановка проблеми. На думку всесвітньовідомого фахівця в галузі тракторобудування д.т.н. Кутькова Г.М. усю сукупність накопичених знань про трактор можна розділити за трьома напрямками [1]: 1) теорія трактора; 2) теорія конструювання трактора; 3) теорія експлуатації трактора.

Теорія трактора у класичному її розумінні передбачає установлення тих закономірностей і показників, які визначають його тягово-зчіпні властивості, стійкість, керованість, плавність руху тощо.

З допомогою методів *конструювання трактора*, підкреслює Г.М. Кутьков, створюють таку його конструкцію, яка б відповідала вимогам функціонального призначення, надійності, екологічності, безпеки роботи і художньої естетики.

Що стосується *теорії експлуатації* трактора, то вона, своєю чергою, поділяється на два різновиди, а саме: технічну і технологічну. Якщо технічна експлуатація – це наука про методи і способи підтримки роботоздатного стану трактора, то технологічна експлуатація – це наука про методи і способи визначення параметрів та показників енергетичного засобу на відповідність вимогам чинних і нових технологій сільськогосподарського виробництва [1].

Незупинна поява останніх закономірно формує **проблему**, суть якої полягає у необхідності оперативного удосконалення класичних і розроблення нових положень теорії трактора і його експлуатації. Вирішення цієї проблеми у нашій країні дозволить створювати мобільні енергетичні засоби із такими споживчими властивостями, які забезпечать їх (енергозасобів) вихід не тільки на внутрішній, але і на зовнішній ринки. І якщо не зараз, то принаймні у найближчому майбутньому.

З огляду на це **метою** даної статті є виклад тих нових положень теорії тягової динаміки і технологічної експлуатації трактора, які можуть бути використані для вирішення вищезначеної проблеми.

Основна частина. Трактор був і ще довго залишатиметься провідною ланкою машинно-тракторного агрегату (МТА). Його тягово-динамічні властивості мають забезпечувати МТА високу продуктивність роботи за низьких питомих витрат пального і задовільної якості виконання технологічного процесу.

За даними багаторічних досліджень найвищі тягово-динамічні властивості трактора мають місце за буксування його рушіїв на рівні 20-22% [2]. Водночас, цей процес, як відомо, не тільки потребує витрат пального на свій прояв і прогресує знос шин, але і руйнує структуру ґрунту. Такий результат обумовлений деформаціями зсуву та зрізу ґрунту під дією того тиску, який здійснює на нього бокова стінка останнього по ходу колеса ґрунтозачепу [1].

Нині достеменно відомо, що буксування рушіїв трактора у 20-22% значно перевищує той рівень, за якого можливе здійснення неприйнятної (ще гірше – не виправного!) руйнування ґрунтового середовища. Звідси випливає потреба у пошуку наступного **компромісу**: граничне буксування колісного рушія ($\delta_{\max}$) має бути таким, щоб за мінімально припустимого погіршення структури ґрунту розвинути максимально можливу дотичну силу тяги.

Проблема розв'язання цієї задачі полягає у тому, що на даний час відсутні агротехнічно обумовлені обмеження тиску рушіїв енергетичного засобу на ґрунт у горизонтальній площині. Водночас, такі обмеження існують для варіанту деформування агротехнічного фону рушіями мобільних енергетичних засобів у вертикальній площині. Так, нині діє ДСТУ 4521:2006 «Техніка сільськогосподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунти». Цей стандарт установлює норми допустимого максимального тиску ходових систем енергетичних засобів на ґрунт $[Q_{\max}]$ в залежності від його гранулометричного складу і вологості, а також строків проведення сільськогосподарських робіт у різних ґрунтово-кліматичних зонах.

Якщо априорі вважати, що процес пригнічення росту рослин не залежить від того, у якій площині здійснено руйнування структури ґрунту – вертикальній чи горизонтальній, – то розв'язання вищезначеного компромісу можна здійснити на основі врахування наступного співвідношення:

$$[Q_{\max}] \geq Q_d, \quad (1)$$

де $[Q_d]$ – тиск, який здійснює ґрунтозачеп колеса на ґрунт у горизонтальній площині.

Використовуючи теоретичні положення роботи [2] і запропоновану залежність (1), нами отримано аналітичне рівняння, яке дозволяє визначити значину параметра $\delta_{\max}$ в залежності від прийнятого обмеження тиску на ґрунт у вигляді величини $[Q_{\max}]$:

$$[Q_{\max}] \geq \left\{ \frac{f_{\text{ск}} \cdot G \cdot k_{\tau}}{\delta_{\max} \cdot L} \left[\ln ch C - f_{\text{пр}} \cdot \left(\frac{1}{ch C} - 1 \right) \right] + 2\tau_{\text{ср}} \frac{h_r \cdot L}{t_r} \right\} \cdot \frac{\sin^2 \alpha}{\text{Int}(L/t_r) \cdot b_m \cdot h_r}$$

де $C = \delta_{\max} L / k_{\tau}$.

Інформацію про параметри, що входять до рівняння (2), читач може знайти у роботі [3]. Розрахунки за цим рівнянням показали, що для запобігання руйнування структури ґрунту у весняний період польових робіт ($Q_{\max} = 160$ КПа) максимально допустиме буксування ($\delta_{\max}$) колісних рушіїв тракторів тягових класів 5, 3 і 1,4 повинно бути 15%, 12% і 9% відповідно.

Водночас, характерною ознакою залежності (2) є не стільки її складність, скільки присутність значної кількості характеристик ґрунту ($f_{\text{ск}}, k_{\text{т}}, f_{\text{пр}}, \tau_{\text{ср}}$) і конструктивних параметрів трактора ($G, L, h_{\text{г}}, t_{\text{г}}, b_{\text{ш}}, \alpha$). З огляду на це нами здійснено інший підхід до вирішення цієї проблеми. У підсумку отримано рівняння для визначення $\delta_{\max}$, до якого крім величини $Q_{\max}$ входять лише два параметри ґрунтового середовища (f – коефіцієнт опору коченню і k_0 – коефіцієнт об’ємної деформації ґрунту) і один параметр трактора у вигляді радіуса кочення його тягових коліс $R_{\text{к}}$:

$$\delta_{\max} = \frac{[Q_{\max}]}{k_0 \cdot R_{\text{к}} \cdot \left(\arctg \frac{f \cdot \sqrt{1 - f^2}}{0.5 - f^2} + 2 \cdot f^2 \right)}. \quad (3)$$

Розрахунками за цим рівнянням встановлено, що для ґрунтів середня значина коефіцієнта об’ємної деформації яких приблизно дорівнює 4000 кН/м^3 , середня значина коефіцієнта опору коченню – 0,16, а відношення $[Q_{\max}]/R_{\text{к}}$ знаходиться на рівні 222 КПа/м, максимально допустима значина буксування коліс трактора $\delta_{\max}$ не повинна перевищувати 15%. При цьому слід зазначити, що прийняті значини параметрів, що входять до рівняння (3), є типовими для ґрунтових умов принаймні півдня України.

Отриманий результат є принципово-визначальним. Пояснюється це наступним. За умови $\delta_{\max} \leq 15\%$ функцію буксування сучасних повнопривідних (як правило!) колісних тракторів δ від тягового зусилля $P_{\text{кр}}$ з досить високою для практики точністю можна представити не кривою (як донині), а прямою лінією:

$$\delta = A \cdot \varphi_{\text{кр}} + B, \quad (4)$$

де A і B – коефіцієнти апроксимації процесу буксування рушіїв колісного трактора прямою лінією; $\varphi_{\text{кр}} = P_{\text{кр}}/G_{\text{т}}$ – коефіцієнт використання зчіпної ваги трактора $G_{\text{т}}$.

А цей факт, своєю чергою, приводить до зміни природи тягового коефіцієнта корисної дії (ККД) трактора $\eta_{\text{т}}$. За умови (4) він описується відмінною від відомих наступною залежністю [4]:

$$\eta_{\text{т}} = \frac{\eta_{\text{тр}} \cdot \varphi_{\text{кр}} \cdot (1 - A \cdot \varphi_{\text{кр}} - B)}{\varphi_{\text{кр}} + f}. \quad (5)$$

де $\eta_{\text{тр}}$ – ККД трансмісії трактора. Для сучасних тракторів цей параметр знаходиться на рівні 0,93 [1].

Коефіцієнт $\varphi_{\text{т}}$ залежить від компоновки і колісної формули енергетичного засобу, а також стану агротехнічного фону, на якому він працює. В теорії трактора існує поняття номінального тягового зусилля $P_{\text{кр.н}}$. Це класифікаційний параметр, який використовується вітчизняними науковцями для створення типорозмірного ряду (типажу) тракторів. Номінальному тяговому зусиллю $P_{\text{кр.н}}$ відповідає цілком конкретна значина $\varphi_{\text{кр.н}}$.

Нині не існує єдиної методики визначення параметра $P_{кр.н}$, хоча у минулому її варіантів було багато. Найпоширенішим є підхід, за якого номінальне тягове зусилля пропонувалося визначати або за максимальної значини тягового ККД трактора, або за заданого рівня буксування його рушіїв [5].

Аналіз великого масиву тягових характеристик колісних енергетичних засобів, отриманих різними науковими установами у різний час і у різноманітних ґрунтово-кліматичних умовах, показав, що їх $P_{кр.н}$, визначені за максимальної значини η_T і буксування $\delta \cong 15\%$, відрізняються дуже мало, а величина $\varphi_{кр.н}$ при цьому не перевищує позначки 0.45.

Аналіз розрахунків залежності (5) як $\eta_T = f(\varphi_{кр} = 0 \dots \varphi_{кр.н})$ свідчить, що вона уже не має оптимуму. Навіть за умови руху трактора на такому фоні, як «стерня» (рис. 1, крива 1).

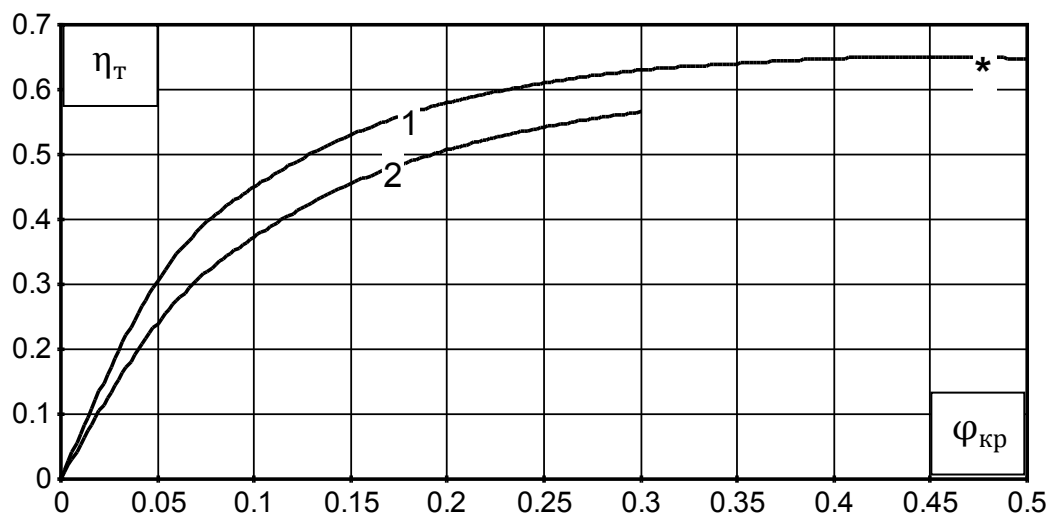


Рис.1. Залежність тягового ККД трактора від коефіцієнта використання його зчпної ваги

Для визначення при цьому зчпної маси трактора (M_T) і потужності його двигуна (N_e) пропонуються наступні вирази [5]:

$$M_T = \frac{P_{кр.н} \cdot (1 + 3 \cdot V_x)}{g} \cdot \sqrt{\frac{A}{f \cdot (1 + B)}}; \quad (6)$$

$$N_e = \frac{M_T^2 \cdot D_2 + M_T \cdot D_1 + D_0}{M_T \cdot \eta_{тр}} \quad (7)$$

де V_x – коефіцієнт варіації коливань тягового зусилля трактора; V – швидкість руху колісного енергетичного засобу;

$$D_2 = f \cdot g \cdot V \cdot (1 + B)$$

$$D_1 = P_{кр.н} \cdot (1 + 3 \cdot V_x) \cdot V \cdot (1 + B + f \cdot A)$$

$$D_0 = \frac{A \cdot [P_{кр.н} \cdot (1 + 3 \cdot V_x)]^2 \cdot V}{g}.$$

Практична значущість залежностей (6) і (7) полягає у тому, що вони через коефіцієнт варіації V_x враховують стохастичний характер впливу зовнішнього середовища на тягове зусилля енергетичного засобу.

Для тягової концепції трактора його енергонасиченість $E = N_e/M_T$ не повинна перевищувати 14...15 кВт/т [6]. За більшого рівня параметра E енергетичний засіб повинен моделюватися згідно вимог тягово-енергетичної концепції, основи якої досить предметно викладені у монографії [7].

Останнім часом науковцями і практиками вперто відстоюється думка щодо розв'язання низки проблем агрегування с.-г. техніки шляхом баластування енергетичних засобів. Причому уже не тільки тягової, а й тягово-енергетичної концепції. Проте, якщо до недавнього часу цю операцію рекомендувалося реалізовувати в межах 0...23% від експлуатаційної ваги трактора, то нині, за декларацією закордонних фірм, – до 100% і навіть більше. Тобто той чи інший трактор може бути забаластований масою, рівною або більшою за його експлуатаційну.

Та чи насправді це так? Загальновідомо, що баластування енергетичного засобу найбільш ефективно на твердій поверхні, у той час як потреба у такому конструктивному рішенні виникає саме на м'якому агротехнічному фоні. А останній, особливо у ранньовесняний період, більш схильний до такого негативного процесу, як ущільнення ґрунту. З огляду на це тиск на нього, створюваний тим чи іншим трактором (неважливо - забаластованим чи ні), не повинен перевищувати вищезгаданих норм $[Q_{\max}]$.

З іншої сторони, експлуатаційне навантаження на рушій $N_{\text{ек}}$ (далі будемо розглядати лише шину) має бути не більшим за його допустиму вантажопідйомність $P_{\text{ш}}$, установлену ГОСТ 7463-2003.

Об'єднавши ці дві вимоги у одну, отримаємо **умову екофільності** шини [8]:

$$\frac{N_{\text{ек}} \leq P_{\text{вш}}}{N_{\text{оп}}} \leq [Q_{\max}], \quad (8)$$

де $N_{\text{оп}}$ – площа опорної поверхні шини.

З виразу (8) однозначно випливає умова можливості баластування рушія:

$$\frac{N_{\text{ек}} < P_{\text{ш}}}{N_{\text{оп}}} < [Q_{\max}]. \quad (9)$$

Якщо вимога (9) виконується, то маса баласту M_B , яка припадає на одиничний рушій, може бути знайдена із виразу:

$$M_B = (P_{\text{ш}} - N_{\text{оп}})/g,$$

де g – прискорення вільного падіння.

У формалізованому вигляді процес установлення можливості механічного баластування того чи іншого колісного енергетичного засобу описується простим алгоритмом (рис.2).

Аналіз озрахунків за даною методикою показує, що баластування енергетичного засобу типу трактора серії ХТЗ-170 можливе лише за допустимого питомого тиску на ґрунт на рівні $[Q_{\max}] = 135$ кПа і більше [8]. Така вимога задовольняється на агрофоні щільністю 1,2...1,3 г/см³ і вологістю не більше 0,7НВ ($\approx 17\%$).

За пухкої будови шару ґрунту (щільність – 0,9 г/см³, вологість – 0,4НВ) баластування вказаного трактора за штатної його комплектації **взагалі неможливе**, тому що значина $[Q_{\max}]$ у цьому випадку дорівнює 120 кПа.

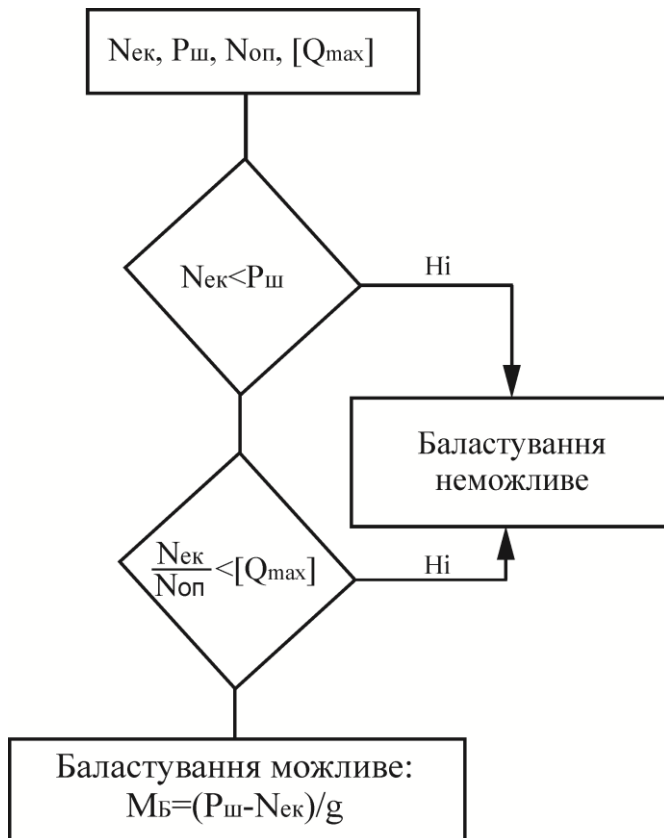


Рис. 2. Блок-схема алгоритму визначення можливості баластування рушія колісного енергетичного засобу

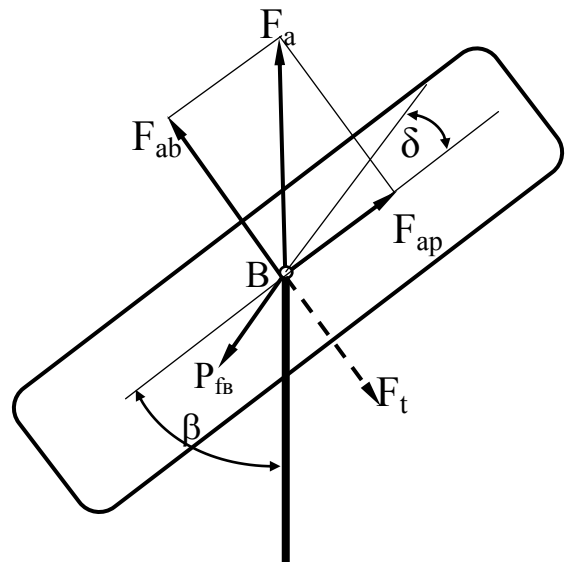


Рис. 4. Схема сил, які діють на керований рушій у горизонтальній площині

Довести баластування трактора ХТЗ-170 до рівня 100% можна лише при застосуванні подвоєння шин. Але і то тільки за умови, якщо допустимий питомий тиск на ґрунт може бути більшим за 120 кПа. Весною таке можливо за його щільності 0,9...1,0 г/см³ і вологості, яка не перевищує 0,6НВ. Улітку та восени – за рівноважного стану в шарі 0...10 см (1,2...1,3 г/см³) і вологості, меншій за 0,7НВ. За згадуваної вище пухкої будови ґрунту умова (9) **не виконується навіть при застосуванні подвоєння шин** рушіїв трактора ХТЗ-170.

Насамкінець підкреслимо, що правильно виконане баластування колісного трактора є одним із факторів підвищення керованості його руху у складі того чи іншого МТА. Науковцями запропоновано кілька варіантів оцінювання цього процесу. Один із найбільш вживаних, яким у теорії експлуатації трактора керуються і нині, знайшов таке відображення у ГОСТ 12.2.019 «Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности»: «...нагрузка на управляемые колеса должна быть не менее 0,2 эксплуатационной массы трактора...». Аналітично це можна виразити наступним чином

$$\lambda = N_B / G_t \geq 0,2, \quad (10)$$

де λ – показник керованості МТА; N_B – вертикальне навантаження на керовані колеса трактора; G_t – експлуатаційна сила ваги енергетичного засобу.

Те, що виконання умови (10) унеможливило перекидання трактора у поздовжньо-вертикальній площині, є обставиною зрозумілою і незаперечною. Але, за певних обставин цього може виявитися замало для забезпечення задовільної ке-

рованості МТА. Особливо це актуально під час непрямолінійного руху останніх по поверхні, яка розташована під певним кутом (позначимо його α) до горизонту (рис.3). Під непрямолінійним рухом машинно-тракторних агрегатів мається на увазі траєкторія їх переміщення у вигляді реакції на керуючий вплив – кут повороту керованих коліс енергетичного засобу (β , рис. 4). Наголосимо, що саме такий рух машинно-тракторного-агрегату найчастіше зустрічається у реальних умовах його експлуатації.

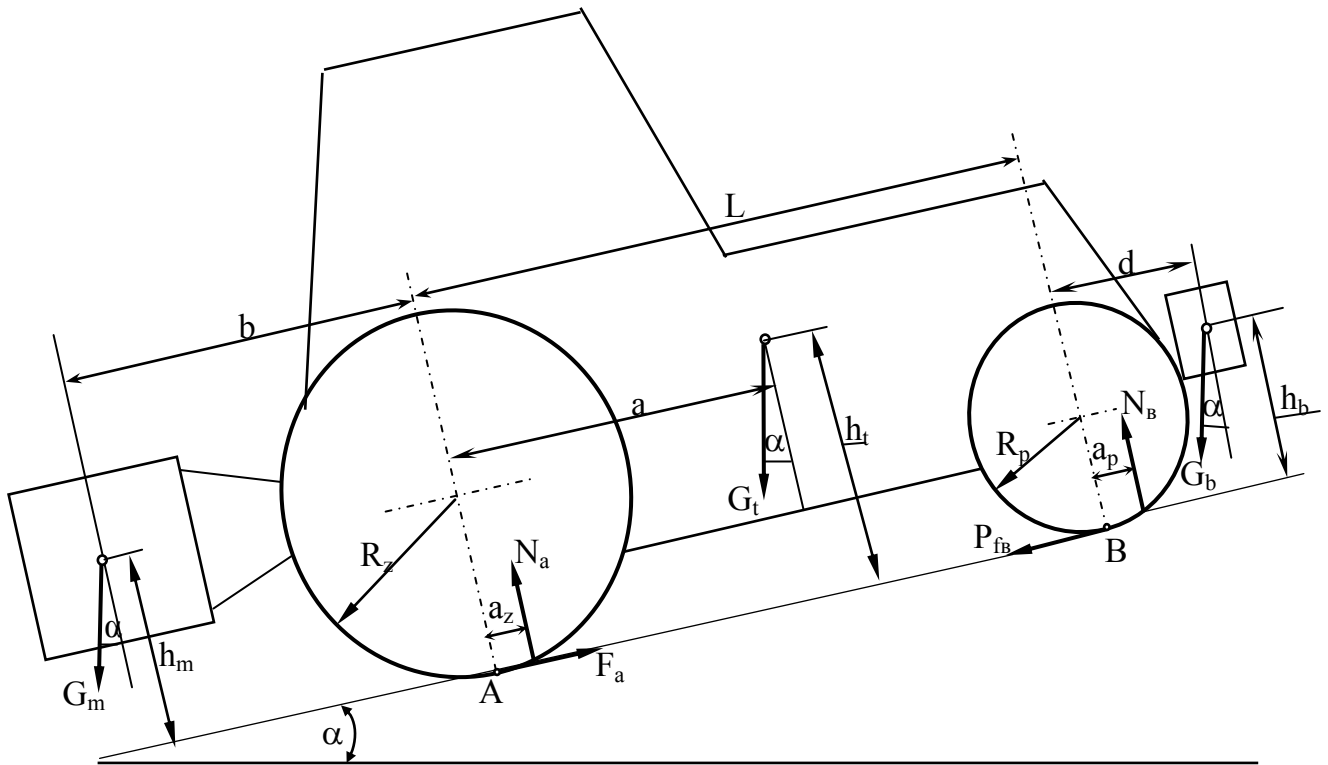


Рис. 3. Схема сил, які діють на МТА, нахилений у поздовжньо-вертикальній площині

За даними досліджень, які досить предметно висвітлені у роботі [9], показник керованості МТА λ у супереч виразу (10) має відповідати більш точній, хоча і більш складній умові:

$$0 < \lambda = \frac{\sum K - \sum G \cdot \cos \alpha \cdot f \cdot R_z}{[L - f \cdot (R_z - R_p)] \cdot G_t} \geq \frac{\sum G \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta}{[f_t - f \cdot (\sin \beta - \sin \delta)] \cdot G_t}, \quad (11)$$

де $\sum K = K_1 + K_2 + K_3$; $\sum G = G_t + G_m + G_b$; $K_1 = G_t \cdot (\cos \alpha \cdot a - \sin \alpha \cdot h_t)$; $K_2 = -G_m \cdot (\cos \alpha \cdot b + \sin \alpha \cdot h_m)$; $K_3 = G_b \cdot (\cos \alpha \cdot d - \sin \alpha \cdot h_b)$; f_t – коефіцієнт тертя гуми по ґрунту; f – коефіцієнт опору коченню. Інші позначення, що входять до залежності (11), цілком зрозумілі із рис. 3 та рис. 4.

Цілком зрозуміло, що задовільна керованість МТА є запорукою зростання продуктивності його роботи. А цей показник, як відомо, можна підвищувати за рахунок: 1) збільшення ширини захвату МТА (B_p); 2) збільшення робочої швидкості руху агрегату (V_p); 3) підвищення коефіцієнту використання часу зміни роботи МТА ($\tau_{зм}$).

Нині досить актуальним залишається наступне питання: якому із двох перших напрямів зростання продуктивності роботи машинно-тракторного агрегату слід віддавати перевагу.

У роботі [10] це питання розв'язане шляхом аналізу процесів збільшення потужності двигуна трактора, по-перше, за рахунок збільшення ширини захвату технологічної частини МТА $[N_e = f(B_p)]$ і за рахунок підвищення швидкості його робочого руху $[N_e = f(V_p)]$, – по-друге:

$$N_{e(B_p)} = V_p \cdot B_p \cdot \left(0.28 \cdot \frac{K_a}{\eta_T} + \frac{g \cdot f \cdot \Delta K_a}{K} \right). \quad (12)$$

$$N_{e(V_p)} = V_p \cdot K_a \cdot \left(0.28 \cdot \frac{B_p}{\eta_T} + \frac{g \cdot f \cdot \Delta B_p}{K} \right). \quad (13)$$

Аналітичний аналіз залежностей (12) і (13) показав, що на сучасному етапі розвитку аграрного виробництва більш перспективним є перший напрямок. Практична його реалізація за умови двократного збільшення значин параметрів V_p і B_p потребує у 1,5 рази меншого рівня збільшення номінальної потужності двигуна трактора і у два рази меншого збільшення його експлуатаційної маси.

Для зменшення транспортних габаритів широкозахватних МТА конструкції останніх пропонується створювати на основі напівнавісних дво- або три машинних зчіпок. Польові випробування таких агрегатів показали на технічну здійсненість і доцільність їх упровадження у сільськогосподарське виробництво [11].

Третій напрямок підвищення продуктивності роботи МТА реалізується шляхом поліпшення організації виробничого процесу. Основними оцінювальними показниками останнього є експлуатаційно-технологічні, нову методику визначення яких можна знайти за посиланням (<http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/11518>).

Теорія експлуатації трактора органічно пов'язана із його технологічними властивостями. На загал, визначаючи рівень універсальності, ці властивості обумовлені наявністю фронтального навісного механізму, переднього валу відбору потужності, реверсивної трансмісії і/або реверсивного посту керування, двигуна з двома рівнями потужності, наявності системи гідравлічного відбору останньої тощо. Слід підкреслити, що трактор такої комплектації потенційно придатний для його використання у складі комбінованих МТА за схемою «push-pull». Водночас, оцінити таку придатність можна лише за наявності відповідної методики.

Виведена нами нова функціональна залежність показника технологічної придатності трактора до роботи у складі комбінованих МТА ($K_{ТП}$) від технологічних властивостей енергетичного засобу є наступною [12]:

$$K_{ТП} = (K_{ПНМ} + K_{ПВП} + K_{ЗВП} + K_{РР} + K_{ГВ} + K_a + K_{ПК})/7, \quad (14)$$

де $K_{ПНМ}$, $K_{ПВП}$, $K_{ЗВП}$, $K_{РР}$, $K_{ГВ}$, K_a , $K_{ПК}$ – безрозмірні показники ефективності використання відповідно переднього навісного механізму, переднього валу відбору потужності, заднього валу відбору потужності, реверсивності руху, гідровідбору потужності, показники ефективності агрегування трактора та використання його на вирощуванні просапних культур.

Принципово говорячи, номенклатура показників, які входять до вихідної функціональної залежності (14), не є постійною. Вона може змінюватися як в напрямку урахування інших, так і в напрямку обґрунтованого виключення прийнятих у даній методиці.

Насамкінець підкреслимо, що технологічне призначення трактора визначається його тяговим класом. У нашій країні цей показник є основою типорозмірного ряду (або типу) енергетичних засобів. Саме за тяговим класом трактора розробляється уся система його ефективного агрегування.

Цей своєрідний керівний документ украй потрібен із-за наступних причин. Його наявність гармонізує діяльність тракторо- і сільгоспмашинобудівників. Адже перші на рівні відповідних правил задають той, заздалегідь відповідним чином обумовлений діапазон зміни основних конструктивних параметрів енергетичних засобів, які при проектуванні машин/знарядь зобов'язані враховувати другі. Результатом такої погодженості їх конструктивних є створення Системи машин, за відсутності якої у принципі непогані енергетична (трактор) і технологічна (машини/знаряддя) частини машинно-тракторного агрегату можуть виявитися непристосованими один до одного з усіма впливаючими звідси негараздами.

Нині Україна хоча і позиціонує себе як країна із потужним аграрним сектором, власного типу тракторів не має. Нехай і формально, але науковці, конструктори і виробничники-експлуатаційники в сучасних умовах продовжують користуватися колишніми ГОСТ 27021-86 та/або СТ СЭВ 628-85, типорозмірний ряд сільськогосподарських тракторів яких включає 10 тягових класів.

Наголосимо, що протягом усього періоду практичного застосування вказаного типу тракторів він був не ефективним для умов України, а тому піддавався постійній і ретельній критиці збоку її науковців.

З огляду на це, на підставі застосування нових методичних підходів до визначення мінімальної і максимальної значин усього експлуатаційного діапазону тягових зусиль тракторів, лінійного характеру зміни їх буксування від розвинутого тягового зусилля нами встановлено, що новий типаж колісних тракторів для України мають складати енергетичні засоби п'яти тягових класів (таблиця 1).

Таблиця 1. Проект типу колісних тракторів для України

№ з/п	Тяговий клас	Номінальне тягове зусилля, $P_{крн}$ (кН)	Допуск на номінальне тягове зусилля, кН
1	0,6	6	від 5,4 до 7,2
2	1,1	11	від 9,9 до 13,2
3	1,8	18	від 16,2 до 21,6
4	3	30	від 27,0 до 36,0
5	5	50	від 45,0 до 60,0

Збільшення кожного із показників тягового класу рівно у 10 разів показує номінальне тягове зусилля трактора ($P_{крн}$) у кН. Діапазон зміни цього параметра для кожного енергетичного засобу того чи іншого тягового класу змінюється у межах $P_{крн}^{+20\%}_{-10\%}$ [13].

Висновок. За умови офіційного прийняття запропонованого типу тракторів України перед науковцями постає задача розроблення для них нових тягових характеристик з урахуванням викладених вище елементів теорії. Оновлені за рахунок цього тягові характеристики енергетичних засобів першою чергою мають бути використані викладачами закладів вищої освіти аграрного спрямування у навчальному процесі. Їх правильне використання дозволить майбутнім інженерам компонувати високоефективні МТА на базі не закордонного, а вітчизняного парку тракторів і с.-г. машин/знарядь.

Список літератури

1. Kutkov G.M. Tractors and Automobiles. Theory and Technological Properties. Moscow: INFRA-M (in Russian), 2014. 506 p.
2. Guskov V.V. et al. Tractory: Theory. Moscow: Mashinostroeniye (in Russian), 1988. 376 p.
3. 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 // Agron. Res. 2015. Vol. 13, № 1. P. 148–157.
4. Bulgakov V.V. et al. Investigation of draft coefficient of efficiency of wheeled tractor // 15th International scientific conference “Engineering for rural development”: proceedings, Jelgava, Latvia. 2016. Vol. 2016-Janua. P. 1036–1041.
5. Adamchuk V. et al. Theoretical research into the power and energy performance of agricultural tractors // Agron. Res. Estonian Research Institute of Agriculture, 2016. Vol. 14, № 5. P. 1511–1518.
6. Надикто В.Т. Роль енергонасиченности тракторов в формировании их типажа // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 3. С. 16–21.
7. Nadykto V.T. The foundations of modular energetic devices applying. Melitopol: KP “MMD” (in Russian), 2003. 240 p.
8. Bulgakov V. et al. Theoretical background for increasing grip properties of wheeled tractors based on their rational ballasting // Agraarteadus. 2019. Vol. 30, № 2. P. 78–84.
9. Bulgakov V. et al. Theoretical consideration of the controllability indicator of machine-tractor unit movement // Acta Technol. Agric. 2017. Vol. 20, № 1. P. 11–18.
10. Надикто В., Кюрчев В. Перспективи зростання продуктивності роботи машинно-тракторного агрегата // Техніка і технології АПК. 2018. № 7. С. 26–31.
11. Ivanovs S. et al. Theoretical investigation of turning ability of two-machine sowing aggregate // Eng. Rural Dev. 2018. Vol. 17. P. 314–322.
12. Кюрчев В. Методика оцінки технологічної придатності тракторів для роботи у складі комбінованих МТА // Техніка і технології АПК. 2012. № 03(30).
13. Адамчук В.В. та ін. Теоретичне обґрунтування типу тракторів колісних сільськогосподарських тракторів для України // Вісник аграрної науки. 2017. № 1. С. 43–47.
14. Надикто В.Т. Роль енергонасиченности тракторов в формировании их типажа // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2012. №3. С. 16-21.
15. Надикто В.Т. Агрегатирование МЭС с передненавесным плугом // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1994. №7.

Аннотация. В статье изложены новые элементы теории тяговой динамики и эксплуатации колесных тракторов. Предложены зависимости для определения максимально допустимого буксования движителей энергетических средств с учетом обеспечения сохранения структуры почвы. Рассмотрена природа тягового КПД трактора и новые зависимости для расчета его массы и мощности двигателя при линейном характере зависимости буксования энергетического средства от его тягового усилия. Предложен новый алгоритм оценки возможности механического балластирования трактора. Выведен новый показатель управляемости энергетического средства при движении машинно-тракторного агрегата по наклонной к горизонту поверхности. Предложен проект нового типа тракторов Украины.

Summary. The article presents new theory elements of the traction dynamics and operation of wheeled tractors. Dependencies are proposed to determine the wheels' maximum permissible slipping of power means, taking into account the maintenance of the soil structure. The nature of the tractor traction efficiency and new dependencies for calculating its mass and engine power with a linear character of the dependence of the slipping of power means on its draft traction is considered. A new algorithm for assessing the possibility of tractor's mechanical ballasting is proposed. A new indicator of the tractor's controllability is derived when a machine-tractor unit moves along a surface inclined to the horizon. A project of a new type of tractors in Ukraine has been proposed.