

**Ребров О.Ю.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
e-mail: alexrebrov0108@gmail.com

## ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ КОЛІСНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ

УДК 631.372

*В статті запропоновано теоретичне обґрунтування нового підходу до визначення основних параметрів колісних сільськогосподарських тракторів тягової концепції. Наведений підхід відрізняється від класичних уявлень і базується на врахуванні вирішального впливу тракторних шин на сумісний вибір маси трактора, номінальної сили тяги на гаку, потужності двигуна, розподіл маси по ведучим мостам. Критерієм якості вибору виступають техніко-економічні показники трактора і машино-тракторного агрегату.*

**Ключові слова:** колісний трактор, тракторна шина, параметри трактора.

### Вступ

Ефективність використання тракторної сільськогосподарської техніки на тягових технологіях багато в чому визначається основними параметрами трактора, такими як потужність двигуна, маса трактора, типорозмір шин, розподіл маси по ведучим мостам, передавальне число трансмісії. Поряд з перерахованими параметрами, істотний вплив на ефективність трактора також мають показники надійності, універсальності, здатності агрегування з широким спектром сільськогосподарських знарядь. У класичній теорії трактора при визначенні його основних параметрів маса вибирається в залежності від номінальної сили тяги на гаку, потужність двигуна - від необхідної дійсної швидкості руху, шини - по вантажопідйомності. Однак, при цьому не враховуються характеристики сільськогосподарського знаряддя, а трактор розглядається виключно як тяговий засіб, що характеризується тяговим ККД, який має бути максимальним при номінальній силі тяги на гаку. Зарубіжні трактори класифікуються не за тяговим класом або номінальним тяговим зусиллям, а за потужністю двигуна. Для обґрунтованого визначення основних параметрів колісного трактора тягової концепції необхідно проводити аналіз з урахуванням ряду факторів, у тому числі, показників сільськогосподарських знарядь, та розглядати трактор в складі машино-тракторного агрегату (МТА).

Задача обґрунтування і вибору основних параметрів новостворюваних колісних тракторів буде вельми актуальна протягом багатьох років. Це пов'язано з наявними передумовами різних концепцій розвитку трактора. В їх число входять тягова, тягово-енергетична і енергетична концепції розвитку трактора [1]. Зараз в сільськогосподарському виробництві переважають тягові технології, тому є необхідність у висвітленні низки питань, пов'язаних з обґрунтованим спільним вибором основних параметрів колісних тракторів, які використовуються на тягових сільськогосподарських операціях.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Одна зі спроб здійснити обґрунтування основних параметрів колісних сільськогосподарських тракторів була зроблена в серії публікацій Самсонова В. А. [3]. Ця серія публікацій пов'язана з вирішенням ряду завдань теорії трактора, в тому числі і чисельними методами. Однак, при вирішенні завдань дослідження, автор користується лише усередненими емпіричними залежностями між коефіцієнтами буксування і використання зчіпного ваги трактора. Але такий підхід не враховує типорозмір і характеристики застосованих шин, внутрішній тиск повітря, перерозподіл навантажень по ведучим мостам трактора при виконанні тягових технологій, а також зміну динамічного радіуса і

площі плями контакту ведучих коліс з опорною поверхнею. Визначення сукупності параметрів трактора пов'язано з його класифікаційною ознакою – номінальною силою тяги на гаку. Така класифікація періодично обговорюється в літературних джерелах [4, 5].

Встановити взаємозв'язки між основними параметрами трактора і його техніко-економічними показниками на основі просторово-топологічного підходу запропоновано в роботі [6]. Однак, у всіх цих роботах мало уваги приділено впливу параметрів шин на показники трактора. В роботі [7] розглянуті питання оптимізації тягово-зчіпних властивостей тракторних шин. Взаємодія тракторного колеса з ґрунтом і ущільнюючий вплив на ґрунт всебічно розглянуті в роботах [8-10]. Однак, цілісне теоретичне обґрунтування основних параметрів колісних сільськогосподарських тракторів з урахуванням показників і характеристик шин, як невід'ємного елемента взаємодії трактора із зовнішнім середовищем, в літературі відсутнє.

### **Постановка проблеми**

Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування нового підходу до визначення основних параметрів колісних сільськогосподарських тракторів тягової концепції. Запропонований новий підхід базується на відмінному від класичних уявлень спільному визначенні маси трактора, потужності двигуна, розподілу маси по осях та виборі типорозмірів шин з урахуванням взаємозв'язків цих параметрів. Критерієм якості вибору можуть служити техніко-економічні показники трактора і МТА.

### **Теоретичне обґрунтування основних параметрів колісних сільськогосподарських тракторів**

Недоліком класичного підходу до визначення основних параметрів колісного трактора є відсутність урахування взаємозв'язків технічних характеристик нової конструкції з показниками тягових опорів, технологічними режимами, тягово-енергетичними і техніко-економічними показниками МТА в цілому.

Так, наприклад, тяговий ККД характеризує досконалість трактора як тягового засобу, здатного розвивати певну силу тяги і потужність на гаку, хоча максимальні значення тягового ККД не завжди безпосередньо відповідають максимуму чистої продуктивності МТА. Яким би чином не були обрані основні параметри трактора, споживача більшою мірою цікавить ефективність використання техніки та її надійність, яка в кінцевому підсумку має грошовий еквівалент. Таким чином, критерієм якості вибору показників трактора можуть служити його продуктивність і витрата палива на типових тягових операціях.

При обґрунтуванні основних параметрів трактора особливу увагу необхідно приділяти аналізу можливості комплектування відповідними типорозмірами шин, оскільки реалізація дотичної сили тяги суттєво обмежується ефективністю взаємодії шини з ґрунтом, а обмеження за потужністю двигуна і вагою трактора практично відсутні, хоча їх співвідношення для колісних тракторів тягової концепції не перевищує 2,0-2,2 кВт/кН. Починати аналіз і обґрунтування основних параметрів колісного трактора, як тягового засобу, необхідно з шин, виходячи з таких положень.

**Положення 1.** Кожен типорозмір тракторних шин (за умови правильної експлуатації) має відповідний, цілком певний інтервал граничної (з урахуванням обмеження за допустимим буксуванням) дотичної сили тяги.

Гранична (з урахуванням обмеження за буксуванням – 15%) дотична сила тяги залежить від радіального навантаження на колесо. Підвищити дотичну силу тяги при тому ж рівні буксування можна, збільшивши радіальне навантаження на колесо і скоре-

гувавши внутрішній тиск в шині. В ідеальному варіанті шина завжди повинна бути навантажена на 100% за вантажопідйомністю. При недовантаженні зростає буксування, а при перевантаженні знижується ресурс. Тому бажано підтримувати тиск в шині таким чином, щоб він завжди відповідав радіальному навантаженню. Іншими словами, радіальне навантаження повинно відповідати (або бути близьким) допустимому при данному тиску повітря в шині. В цьому випадку контурна площа плями контакту буде найбільшою, а ресурс шини відповідатиме нормативному.

Однак, навіть при виконанні умови правильного внутрішнього тиску в шині з урахуванням допустимих навантажень, тиск на ґрунт буде збільшуватися зі зростанням радіального навантаження. Тут слід мати на увазі той факт, що тиск на ґрунт меншою мірою залежить від радіального навантаження, ніж від внутрішнього тиску повітря в шині. Але з ростом радіального навантаження до допустимих значень необхідно підвищувати внутрішній тиск в шині, що призводить до негативних наслідків переущільнення ґрунту і зростання параметра ущільнюючого впливу на ґрунт (УВГ)  $U$ . Майже всі колісні трактори (за винятком тракторів, які оснащені широкопрофільними шинами низького тиску) досить далекі від допустимого значення показника УВГ  $[U] = 75$  кН/м.

Крім цього, з ростом радіального навантаження на колесо збільшується опір кохенню, більшу частину якого складають втрати на пресування ґрунту і створення колії [1]. Втрати, спричинені внутрішнім тертям і деформаціями каркаса шини для тракторних шин сільськогосподарського призначення з протектором типу R-1, R-1W, R-2 істотно нижче.

Тому, при заздалегідь відомій граничній (з урахуванням обмеження за буксуванням - 15%) дотичній силі тяги на типовому сільськогосподарському фоні, наприклад, стерні колосових на суглинку, вибір радіального навантаження не однозначний.

**Положення 2.** Радіальне навантаження на ведуче колесо трактора доцільно вибирати таким чином, щоб воно відповідало максимально допустимому при мінімально допустимому внутрішньому тиску повітря в шині.

В якості аргументів на користь висловленого положення 2 можна навести наступне.

По-перше, робота тракторного колеса при навантаженні, що відповідає мінімально допустимому тиску забезпечить мінімально можливий для даної шини тиск на ґрунт, а, отже, і ущільнюючий вплив. Цей аргумент має пріоритетне значення, оскільки, незважаючи на поширену думку про вирішальну роль тиску на ґрунт при весняно-польових роботах, навіть при основному обробітку, існує приблизно до однієї чверті ґрунтів України, у яких допустимий тиск на ґрунт, принаймні, не менше ніж при передпосівному обробітку. Опосередковано на це звернув увагу В. В. Медведєв у роботі [11], де показано, що частка площі ріллі, на якій можливий високоякісний основний обробіток, значно зменшується у порівнянні з умовами зволоження навесні (з 75,8% до 14,1%). Тобто ґрунто-технологічні умови навіть для традиційної оранки на 85% території України незадовільні.

Якщо при мінімально допустимому тиску повітря в шині радіальне навантаження буде менше (або суттєво менше) допустимого, тиск на ґрунт незначно зменшиться, але істотно погіршаться тягові показники шини. Тому такі режими експлуатації тракторної шини треба вважати недоцільними.

По-друге, при зазначеному виборі радіального навантаження з'являється вагомий запас вантажопідйомності шин, який може бути використаний на транспортних операціях або при переїздах з важким навішеним знаряддям по дорогах з твердим покриттям.

Значний відсоток експлуатації тракторних шин на дорогах з твердим покриттям є типовим для Європейських країн у порівнянні, наприклад, з північно-американським континентом, що обумовлено меншими розмірами окремих ділянок сільськогосподарських угідь. Це один із факторів, що визначає найбільшу ефективність використання протектора шини типу R-1W. Такий протектор має орієнтовно на 25% більшу висоту ґрунтозацепів у порівнянні з R-1, що забезпечує одночасно і більший ресурс на зношування і більшу ефективність на вологих під час обробітку ґрунтах, що розташовані як в Західній Європі, так і в Україні.

Єдиною вимогою при експлуатації тракторних шин на транспортних операціях по дорогах з твердим покриттям є відповідність радіальних навантажень і внутрішнього тиску з урахуванням швидкісного режиму руху. При інтенсивному використанні на транспортних операціях виробники шин рекомендують додатково підвищити тиск на 40 кПа відносно необхідного для даного радіального навантаження і швидкісного режиму.

Для швидкого регулювання внутрішнього тиску в крупногабаритних тракторних шинах при зміні умов експлуатації в режимі "дорога - сільськогосподарський фон - дорога" створюються інноваційні системи, наприклад Mitas Air Cell. Такі системи дозволяють підвищувати і зменшувати тиск повітря в шині в межах 80-180 кПа (0,8-1,8 кгс/см<sup>2</sup>) за 12-15 секунд.

По-третє, небезпека перевантаження ведучих коліс трактора при підйомі важких знарядь навісною системою в транспортне положення при маневрах на сільськогосподарському фоні відсутня. Це пов'язано з тим, що всі шини під час практичного застосування в умовах тривалої експлуатації при високих значеннях крутного моменту повинні навантажуватись згідно даних для вантажопідйомності і тиску, які відносяться до індексу швидкості А6 (30 км/год). Оскільки маневрування на полі з піднятим сільськогосподарським знаряддям відбувається при малих значеннях крутного моменту і швидкості руху, то шини мають істотний запас вантажопідйомності, який для швидкості в межах 10 км/год може досягати 50% і більше від навантаження, яке відповідає індексу швидкості А6 [12].

По-четверте, при такому виборі радіального навантаження є всі передумови для отримання максимально можливої чистої продуктивності для одиночного колеса, що справедливо має бути і для трактора в цілому.

Таким чином, прийнявши положення 2, вантажопідйомність шин, що відповідає індексу швидкості А6 і мінімально допустимому тиску, дозволяє визначити масу трактора і розподіл навантажень по ведучим мостам трактора при виконанні технологічного процесу обробітку ґрунту.

**Положення 3.** Маса трактора спільно з обраними типорозмірами шин переднього та заднього мостів визначають номінальну силу тяги на гаку.

Номінальна сила тяги на гаку визначається за відомим сумарним по всім ведучим колесам інтервалом граничної дотичної сили тяги і опором коченню, які залежно від обраної ваги трактора (з урахуванням положення 2) приймають конкретні певні значення. При такій номінальній силі тяги на гаку забезпечується буксування в межах 15% (положення 1), мінімальний шкідливий вплив на ґрунт (положення 2). За номінальною силою тяги на гаку і питомим опором ґрунту вибирається ширина захвату сільськогосподарського знаряддя.

Слід відзначити, що на відміну від класичних положень теорії трактора номінальна сила тяги на гаку визначається не тільки вагою трактора, а й типорозміром обраних шин. Наведені положення напруму не свідчать про те, що абсолютно всі параметри тра-

ктора необхідно визначати залежно від типорозміру шин, виходячи з їх технічних параметрів. Але й не брати до уваги показники шин при визначенні параметрів трактора було б не коректно, особливо, враховуючи сучасні інноваційні тракторні шини, такі як IF (Increased Flexion – шини підвищеної еластичності), VF (Very High Flexion – шини високої еластичності), або технології Michelin Ultraflex, AD<sup>2</sup> (Advanced Deflection Design, Firestone), R+ (Advanced Flexion Technology, GoodYear), LSW (Low Side Wall, GoodYear), NRO (Narrow Rim Option, Bridgestone), SVT (Super Volume Tires, Mitas), Blue Tire (Trelleborg). Загалом сучасні інноваційні технології виготовлення тракторних сільськогосподарських шин дозволяють їм скласти гідну конкуренцію гусеничним ходовим системам під час весняного і осіннього обробітку ґрунту завдяки високим тяговим властивостям і низькому максимальному тиску на ґрунт  $q_{\max}$  в межах 90-100 кПа для найкращих зразків.

**Положення 4.** Потужність, що підводиться до ведучого колеса трактора, обмежується допустимим або раціональним швидкісним режимом технологічної операції механічного обробітку ґрунту.

Вирішення задачі положення 1 визначає цілком певний інтервал граничної дотичної сили тяги, що робить відомим крутний момент на колесі, оскільки його динамічний радіус теж визначається радіальним навантаженням і внутрішнім тиском в шині. Таким чином, положення 1 обумовлює силову складову потужності, що підводиться до колеса. Кінематична складова потужності у вигляді кутової швидкості колеса визначається необхідною дійсною швидкістю руху трактора, яка обмежена вимогами до швидкісного режиму технологічного процесу механічного обробітку ґрунту. Кожен технологічний процес обробітку ґрунту має свій інтервал швидкості руху, порушення якого в більшу або меншу сторону призводить до суттєвого погіршення якості та енергоефективності обробітку.

Оскільки інтервал дотичної сили тяги, що відповідає буксуванню 15%, відомий із положення 1, то максимальна потужність на колесі обмежується максимальною швидкістю виконання трактором відповідного технологічного процесу. Отже, перевищення зазначеної потужності не має сенсу, оскільки буде порушена допустима межа або за буксуванням, або за швидкістю технологічного процесу. Визначена таким чином максимальна потужність на тракторному колесі буде забезпечувати максимальну чисту продуктивність, оскільки вони безпосередньо пов'язані.

Однак, необхідно зазначити, якщо орієнтуватися на оранку, як найбільш енергоємний технологічний процес, вибір максимальної або раціональної швидкості руху не однозначний. З одного боку підвищення швидкості забезпечує приріст чистої продуктивності оранки, з іншого боку зростає енергоємність процесу внаслідок зростання тягового опору плуга. Якщо узагальнити дані щодо типу і форми лемешів та робочих поверхонь полиць, плуги мають корпуси для роботи на швидкостях: 1,7-2,5 м/с, 1,7-2,8 м/с, 2,2-3,0 м/с. Для таких плугів рекомендована швидкість складає 1,9-2,0 м/с, 1,9-2,2 м/с, 2,2-2,8 м/с відповідно.

Таким чином, сумарна по всім ведучим колесам потужність, що підводиться з урахуванням ККД приводів ведучих мостів і трансмісії в цілому визначає необхідну потужність тракторного двигуна.

Крім цього, стає визначеним необхідний розподіл потоку потужності по ведучим мостам, що актуально для тракторів класичної компоновки, виконаних за схемою 4К4а.

**Положення 5.** Номінальна сила тяги на гаку і розподіл маси по ведучим мостам при її реалізації дозволяють визначити конструктивне положення центра ваги трактора в статичному положенні.

Висота прикладання сили тяги на гаку і її значення визначають момент, що перерозподіляє навантаження по ведучим мостам при реалізації трактором тягового технологічного процесу. Величина цього моменту і поздовжня база трактора дозволяють знайти конструктивне положення центру мас трактора в статичному положенні. Для тракторів класичної компоновки, що виконані за схемою 4К4а, на передній міст в статичному стані приходиться від 33% до 45% ваги, і для тракторів 4К4б – від 55% до 63%. Це положення повною мірою відповідає класичній теорії трактора.

**Положення 6.** Передавальне число ступінчастої механічної трансмісії або передавальне відношення безступінчастої трансмісії має трансформувати силову і кінематичну складові потоку потужності від двигуна до ведучих коліс трактора таким чином, щоб забезпечити необхідну швидкість виконання технологічної операції і максимальну за допустимим буксуванням дотичну силу тяги трактора.

Величина силової складової потоку потужності, підведеної до ведучих коліс, повинна відповідати номінальній силі тяги на гаку і забезпечуватися шириною захвату сільськогосподарського знаряддя при відповідному питомому опорі.

Таким чином, викладені положення призводять до поетапного визначення основних параметрів трактора, починаючи з типорозміру шин. Наведена послідовність може неодноразово повторюватися з метою уточнення значень параметрів трактора.

Реалізація наведеного алгоритму з використанням викладених положень вимагає адекватної математичної моделі тракторної шини і її взаємодії з ґрунтом. Математична модель тракторної шини, що отримана за результатами багаторазових статичних випробувань наведена в роботах [13, 14]. Перевірка адекватності цієї моделі може бути проведена з використанням технічних даних і характеристик шин. Ці дані публікуються в каталогах всесвітньо відомих виробників тракторних шин, що випускають такі бренди, як Michelin, Firestone, Goodyear, Trelleborg, Mitas, Continental, ВКТ, Alliance, Cultor. На жаль каталоги вітчизняного виробництва та країн СНД містять вкрай мало технічної інформації щодо характеристик шин. Це відноситься до таких виробників, як Dneproshina, Rosava (Україна), Belshina (Білорусь), Tyrex, Voltyre (Росія).

### Аналіз результатів дослідження

Для апробації запропонованої методики на першому етапі була побудована універсальна характеристика тракторної шини в координатах "тиск повітря  $p_{ш}$  – радіальне навантаження  $G_k$ " з використанням математичної моделі шини, наведеної в роботах [13, 14]. Для подальших розрахунків введемо кілька коефіцієнтів. Коефіцієнт деформації шини:

$$\lambda_r = \frac{r_k}{r_c}, \quad (1)$$

де  $r_k$  – динамічний радіус шини, визначений з урахуванням її радіальної деформації;

$r_c$  – статичний радіус шини, обумовлений стандартом або вказаний в технічних даних на шину.

Коефіцієнт навантаження шини (%):

$$k_n = \frac{G_k}{Q_d} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де  $G_k$  – радіальне навантаження на шину;

$Q_d$  – допустиме навантаження на шину при даному тиску.

Тиск в шині і радіальне навантаження визначають не тільки коефіцієнт деформації  $\lambda_r$  і навантаження  $k_{п}$ , але і параметри площі контакту з опорною поверхнею. Номінальна контурна площа плями контакту шини з жорсткою опорною поверхнею вказується в технічній інформації деякими виробниками. Ця площа вказана при максимальному навантаженні і відповідному тиску для швидкісного режиму руху – 30 км/год. Дані для індексу швидкості А6 (30 км/год) рекомендуються виробниками шин при роботі тракторних коліс з високим значенням крутного моменту. У зв'язку з цим введемо поняття коефіцієнта площі плями контакту шини:

$$\lambda_f = \frac{F_k}{F_n}, \quad (3)$$

де  $F_k$  – контурна площа плями контакту;

$F_n$  – номінальна контурна площа плями контакту.

На універсальній характеристиці шини значення введених коефіцієнтів дорівнює 1 або 100% на прямій **1** (рис. 1,а), що з'єднує точки допустимих навантажень в інтервалі тиску повітря в шині від мінімального до максимального. В області **А**, вище лінії **1**, шини перевантажені ( $k_{п} > 100$ ), динамічний радіус менше значення статичного, наведеного в стандарті або технічній інформації виробника ( $\lambda_r < 1$ ), контурна площа плями контакту більше номінальної ( $\lambda_f > 1$ ). В області **В**, навпаки, шини недовантажені, динамічний радіус більше статичного, контурна площа плями контакту менше номінальної.

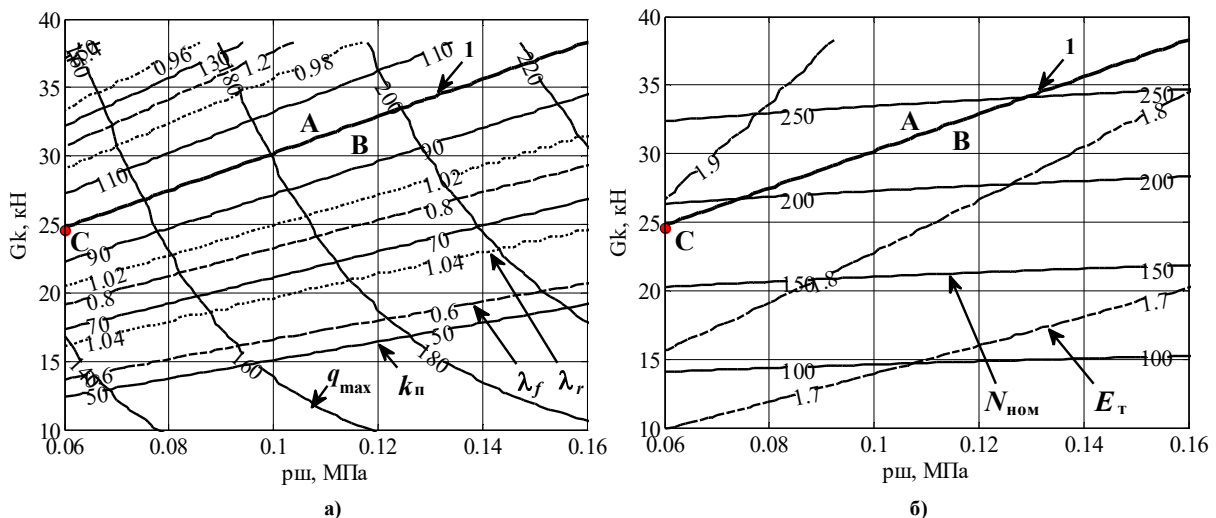


Рис. 1 - Показники тракторної шини 23,1 R26 (153 А8) залежно від тиску повітря  $p_{ш}$  і радіального навантаження  $G_k$   
 а – універсальна характеристика шини; б – поле параметрів при буксуванні шини 15% і дійсній швидкості 10 км/год

При підвищенні радіального навантаження на колесо або внутрішнього тиску зростає негативний вплив ходової системи трактора на ґрунт. При будь-якому підвищенні зазначених величин зростає максимальний тиск колеса на ґрунт ( $q_{max}$ , кПа, рис. 1.а). Тому, для зниження шкідливого впливу на ґрунт бажано знижувати радіальне навантаження на колесо, а тиск в шині встановлювати на рівні необхідного для даного навантаження, тобто здійснювати експлуатацію шини по лінії **1** (рис. 1.а).

Розглянемо обґрунтування параметрів колісного сільськогосподарського трактора 4К4б на прикладі використання шини 23,1 R26 (153 А8, Dneproshina).

Відповідно до положення 1, визначаємо граничну дотичну силу тяги таким чином, щоб буксування становило 15% у всьому полі значень тиску в шині та радіального навантаження. В якості стандартних ґрунтових умов приймаємо середній суглинок вологості 18-21%, фон – стерня зернових.

Відповідно до положення 2, вибираємо радіальне навантаження на колесо 24,5 кН при мінімальному тиску в шині 0,06 МПа (рис. 1. а-б, точка С). Тоді для трактора 4К46 з колесами однакового розміру вага  $G$  повинна складати 98 кН.

Допустимому значенню буксування для шини 23,1 R26 при радіальному навантаженні 24,5 кН відповідає дотична сила тяги 12,65 кН (для трактора сумарна дотична сила тяги  $P_k = 50,6$  кН). Відповідно до положення 3, визначаємо номінальну силу тяги на гаку для одиночного колеса, яка становить  $P_{кр} = 10,98$  кН. Отже, для трактора номінальна сила тяги на гаку складе  $P_{кр,ном} = 43,9$  кН.

Відповідно до положення 4, визначаємо потужність, що підводиться до ведучого колеса за умови обмеження по швидкісному режиму руху, яке для оранки рекомендується 2,0 м/с, 2,2 м/с, 2,8 м/с (7,2 км/год, 8,0 км/год, 10,0 км/год) для різних конструкцій полиць плугів. При дотичній силі тяги  $P_k = 12,65$  кН максимальна потужність, що підводиться до ведучого колеса  $N_k$  при дійсній швидкості 2,0 м/с, 2,2 м/с, 2,8 м/с, становить 30 кВт, 33 кВт, 41 кВт відповідно.

Тоді, обґрунтована максимальна потужність тракторного двигуна, що надходить на трансмісію дорівнює:

$$N_{ном} = \frac{4 \cdot N_k}{\eta_{тр}}, \quad (4)$$

де  $\eta_{тр}$  – ККД трансмісії трактора.

Енергонасиченість трактора  $E_t$  (кВт/кН) визначається як відношення номінальної потужності двигуна  $N_{ном}$  до ваги трактора  $G$ . Для колісних тракторів тягової концепції, або, взагалі для тягової операції механічного обробітку ґрунту, енергонасиченість тягового засобу, тобто трактора не може перевищувати 2,0-2,2 кВт/кН. Перевищення цього граничного значення не може бути реалізоване без порушення норм за буксуванням або за швидкісним режимом в тяговому процесі. Для оранки, як найбільш енергоємного процесу, максимально можлива дійсна швидкість технологічного процесу складає 3,0-3,3 м/с (10,8-12 км/год), що відповідає енергонасиченості тягового засобу 2,0-2,2 кВт/кН. Для шини 23,1 R26 (153 A8) поле параметрів номінальної потужності двигуна  $N_{ном}$  та енергонасиченості  $E_t$  при буксуванні шини 15% і дійсній швидкості 10 км/год наведені на рис. 1.б.

Відповідно до положення 5, відстань від центру ваги до передньої осі трактора визначається зі співвідношення:

$$l_1 = \frac{0,5 \cdot G \cdot L - P_{кр,ном} \cdot h_{кр}}{G}, \quad (5)$$

де  $L$  – поздовжня база трактора;

$h_{кр}$  – висота прикладання сили тяги на гаку.

Прийнявши  $L = 2,86$  м і  $h_{кр} = 0,5$  м, отримуємо  $l_1 = 1,21$  м,  $l_2 = 1,65$  м. Тоді оптимальний розподіл ваги по ведучим мостам в статичному положенні: 57,7% – на передній міст і 42,3% – на задній.

Відповідно до положення 6, необхідне передавальне число ступінчастої механічної трансмісії можна визначити з використанням виразів:

$$u_{тр} = \frac{\omega_{ном} \cdot r_c \cdot (1 - \delta_{15\%})}{V}; \quad u_{тр} = \frac{P_k \cdot r_c \cdot \omega_{ном}}{N_{ном} \cdot \eta_{тр}}, \quad (6)$$

де  $\omega_{ном}$  – номінальна кутова швидкість колінчастого вала двигуна.



Прийнявши  $\omega_{\text{ном}} = 220$  рад/с, отримуємо передавальне число трансмісії.

На основі раціональної формули В. П. Гарячкіна для сили тяги трактора, агрегованого плугом, визначається його ширина захвату  $B_v$  (м), чиста продуктивність  $S_v$  (га/год) та витрата пального  $W_v$  (кг/га) за питомою ефективною витратою палива двигуном  $q_e$  (г/(кВт·год)) при роботі в номінальному режимі.

Енергоємність тягової опереції  $E_v$  (МДж/га) можна оцінити за співвідношенням:

$$E_v = \frac{3,6 \cdot N_e}{S_v} = \frac{3600 \cdot W_v}{q_e}, \quad (7)$$

де  $N_e$  – ефективна потужність двигуна.

Витрата пального пропорційна енергоємності технологічного процесу:

$$W_v = \frac{G_t}{S_v} = \frac{q_e \cdot N_e}{S_v \cdot 1000} = \frac{q_e \cdot E_v}{3600}, \quad (8)$$

де  $G_t$  – погодинна витрата палива двигуном, кг/год.

ККД найбільш енергоємного орного МТА без урахування ефективного ККД двигуна можна оцінити за співвідношенням [15]:

$$\eta_{\text{МТА}} = \frac{k \cdot B_v \cdot h \cdot V}{N_e}, \quad (9)$$

де  $k$  – питомий опір ґрунту при оранці, середнє значення якого для ґрунто-кліматичних умов України дорівнює 57 кПа;

$h$  – глибина оранки, приймається рівною 0,29 м.

Польові культури, що вирощуються на Україні, згідно вимог до глибини оранки підрозділяються на дві великі групи: перша – льон, ярові і озимі зернові та зернобобові, круп'яні та багаторічні трави (для них достатній основний обробіток на глибину 20-22 см), і друга – сахарний буряк, картопля, кукурудза та соняшник, що потребують більш глибокого основного обробітку – до 28-30, а іноді до 35 см.

Результати розрахунків показників трактора наведені в табл. 1, де вказані також найближчі (принаймні за потужністю двигуна) трактори-аналоги 4К46 виробництва АТ "ХТЗ".

Таблиця 1

Показники колісних тракторів з шинами 23,1 R26 (153 A8)

Трактор-аналог	$P_k$ , кН	$P_{\text{кр.ном}}$ , кН	$V$ , км/год	$G$ , кН	$N_{\text{ном}}$ , кВт	$B_v$ , м	$W_v$ , кг/га	$S_v$ , га/год	$E$ , кВт/кН	$u_{\text{тр}}$	$E_v$ , МДж/га	$\eta_{\text{МТА}}$
ХТЗ-17021	12,65	43,9	7,2	98	133	2,10	19,4	1,51	1,36	67	316,8	0,521
ХТЗ-17221-19	12,65	43,9	8	98	148	2,03	20,1	1,62	1,51	60	327,6	0,503
ХТЗ-17221-21	12,65	43,9	10	98	184	1,84	22,1	1,84	1,89	48	360,0	0,457

### Висновки

У статті викладено новий підхід до визначення основних параметрів колісних сільськогосподарських тракторів, який базується на врахуванні вирішального впливу тракторних шин, типорозмір і характеристики яких є вихідними даними для подальшого розрахунку.

На прикладі комплектації трактора 4К46 шинами 23,1 R26 (153 A8) визначена його

номінальна сила тяги на гаку 43,9 кН та вага 98 кН, яка забезпечує мінімально можливий для даної шини максимальний тиск на ґрунт в межах  $q_{\max} = 147-150$  кПа (рис. 1.а). Такі високі значення максимального тиску на ґрунт у порівнянні з кращими світовими зразками шин (з  $q_{\max} = 90-100$  кПа) свідчать про те, що за своїми характеристиками шини 23,1 R26 (153 A8) слід віднести, скоріш за все до комбайнових шин, ніж до тракторних. Використання такої шини, наймовірніше, призведе до порушення агроекологічних вимог допустимого тиску на ґрунт при весняному передпосівному і осінньому основному обробітку. Вона потребує заміни на більш перспективну модель тракторної шини для лінійки тракторів АТ "ХТЗ".

Підвищення робочої швидкості трактора вимагає більшої потужності двигуна і, наприклад, для оранки супроводжується зростанням чистої продуктивності та енергоємності технологічного процесу, і, як наслідок, погектарної витрати палива. При цьому зростання необхідної потужності більш інтенсивне, ніж підвищення чистої продуктивності, що спричинено ростом енергоємності оранки (табл. 1). Для безвідвального обробітку ґрунту внаслідок меншого росту тягового опору з підвищенням швидкості руху, енергоємність технологічного процесу буде зростати не так інтенсивно. Тому питання вибору потужності двигуна і швидкісного режиму обробітку ґрунту не є однозначним і може вирішуватись за критеріями максимуму продуктивності або мінімуму витрати палива.

### **Перспективи подальших досліджень**

Наведений підхід до теоритичного обґрунтування параметрів сільськогосподарських колісних тракторів може бути в подальшому уточнений з урахуванням ґрунто-кліматичних умов України.

### **Література**

1. Кутьков Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. – М.: Колос, 2004. – 504 с.: илл.
2. Кацыгин В. В. Перспективные мобильные энергетические средства (МЭС) для сельскохозяйственного производства / В. В. Кацыгин, Г. С. Горин, А. А. Зенькович и др. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 272 с., ил.
3. Самсонов В. А. Численные методы в теории трактора / В. А. Самсонов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – № 10; – 2005. – № 8; – 2005. – № 9; – 2005. – № 11; – 2006. – № 4; – 2006. – № 8.
4. Андрианов В. М. Классификация сельскохозяйственных тракторов / Андрианов В. М. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. -2006. -№ 6. –с. 13-15.
5. Новиков Г. В. О некоторых проблемах в отечественной теории и практике проектирования тракторов / Г. В. Новиков // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 4. – С. 19 – 20.
6. Коваль А. А. Пространственно-топологический подход при определении основных технико-экономических показателей колесных тракторов / А. А. Коваль, В. Б. Самоходов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. -2008. -№ 3. –с. 20-23.
7. Гуськов А. В. Оптимизация тягово-сцепных качеств тракторных шин / А. В. Гуськов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. -2007. -№ 7. –с. 19-21.
8. Русанов В. А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. – М.: ВИМ, 1998, –368 с., илл.
9. Водяник И. И. Воздействие ходовых систем на почву (научные основы). – М.: Агропромиздат, 1990. –172 с.: ил. ISBN 5-10-000783-4.

10. Wong, J. Y. (Jo Yung) Theory of ground vehicles / J. Y. Wong.-3rd ed. 2001. 528 p. ISBN 0-471-35461-9.
11. В. В. Медведев. Физические свойства и обработка почв в Украине. – Харьков. Изд-во. "Городская типография", 2013. -224 с.
12. ГОСТ 30191-96 (ИСО 8664-92) Шины ведущих колес сельскохозяйственных тракторов. Шины с маркировкой эксплуатационных характеристик (индекс нагрузки, символ скорости). Основные параметры и размеры. – Минск, 1996. –6 с.
13. Ксенович И. П. Ходовая система – почва – урожай / И. П. Ксенович, В. А. Скотников, М. И. Ляско. – М.: Агропромиздат, 1985. – 304 с.
14. Гуськов В. В. Тракторы: теория / Гуськов В. В., Велев Н. Н., Атаманов Ю. Е. и др.; под общ. ред. В. В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 377 с.
15. Ребров А. Ю. Мощностной баланс и КПД пахотного МТА при работе в тяговом режиме / А. Ю. Ребров // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Транспортне машинобудування. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2012. – № 20. – С. 67–72.

### Summary

**Rebrov O. Yu.** Theoretical justification of the basic parameters of wheeled farm tractors

*This article presents the theoretical justification of a new approach to defining basic parameters of wheeled farm tractors of traction concept. A new approach differences from the classical concepts is based on decisive influence of tires on choice of tractor mass, drawbar performance, engine power, weight distribution on the driving axles. A technical and economic indicator of tractors and machinery tractor unit is selected as the criterion of choice quality. It is shown, that the choice of engine power and speed mode tillage is not straightforward and can be resolved by criteria of maximum productivity or minimum fuel consumption. The approach to theoretical justification of wheeled agricultural tractors parameters can be further refined on a base of soil-climatic conditions of Ukraine.*

**Keywords:** wheeled tractor, tractor tire, tractor parameters

### References

1. Kutkov G. M. Traktory i avtomobili. Teoriya i tehnologicheskie svoystva. – М.: Kolos, 2004. – 504 s.: ill.
2. Katsyigin V. V. Perspektivnyie mobilnyie energeticheskie sredstva (MES) dlya selskohozyaystvennogo proizvodstva / V. V. Katsyigin, G. S. Gorin, A. A. Zenkovich i dr. – Mn.: Nauka i tehnika, 1982. –272 s., il.
3. Samsonov V. A. Chislennyye metody v teorii traktora / V. A. Samsonov // Traktory i selskohozyaystvennyie mashiny. – 2004. – # 10; – 2005. – # 8; – 2005. – # 9; – 2005. – # 11; – 2006. – # 4; – 2006. – # 8.
4. Andrianov V. M. Klassifikatsiya selskohozyaystvennyih traktorov / Andrianov V. M. // Traktory i selskohozyaystvennyie mashiny. -2006. -# 6. –s. 13-15.
5. Novikov G. V. O nekotoryih problemah v otechestvennoy teorii i praktike proektirovaniya traktorov / G. V. Novikov // Traktory i selhozmashiny. – 2011. – # 4. – S. 19 – 20.
6. Koval A. A. Prostranstvenno-topologicheskii podhod pri opredelenii osnovnyih tehniko-ekonomicheskikh pokazateley kolesnyih traktorov / A. A. Koval, V. B. Samorodov //

- Traktory i selskohozyaystvennyie mashinyi. -2008. -# 3. -s. 20-23.
7. Guskov A. V. Optimizatsiya tyagovo-stsepnyih kachestv traktornyih shin / A. V. Guskov // Traktory i selskohozyaystvennyie mashinyi. -2007. -# 7. -s. 19-21.
  8. Rusanov V. A. Problema pereuplotneniya pochv dvizhitelyami i effektivnyie puti ee resheniya. – M.: VIM, 1998, –368 s., ill.
  9. Vodyanik I. I. Vozdeystvie hodovyih sistem na pochvu (nauchnyie osnovy) . – M.: Agropromizdat, 1990. –172 s.: il. ISBN 5-10-000783-4.
  10. Wong, J. Y. (Jo Yung) Theory of ground vehicles / J. Y. Wong.-3rd ed. 2001. 528 p. ISBN 0-471-35461-9.
  11. V. V. Medvedev. Fizicheskie svoystva i obrabotka pochv v Ukraine. – Harkov. Izd-vo. "Gorodskaya tipografiya", 2013. -224 s.
  12. GOST 30191-96 (ISO 8664-92) Shinyi veduschih koles selskohozyaystvennyih traktorov. Shinyi s markirovkoy ekspluatatsionnyih harakteristik (indeks nagruzki, simvol skorosti). Osnovnyie parametry i razmeryi. – Minsk, 1996. –6 s.
  13. Ksenevich I. P. Hodovaya sistema – pochva – urozhay / I. P. Ksenevich, V. A. Skotnikov, M. I. Lyasko. – M.: Agropromizdat, 1985. – 304 s.
  14. Guskov V. V. Traktory: teoriya / Guskov V. V., Velev N. N., Atamanov Yu. E. i dr.; pod obsch. red. V. V. Guskova. – M.: Mashinostroenie, 1988. – 377 s.
  15. Rebrov A. Yu. Moschnostnoy balans i KPD pahotnogo MTA pri rabote v tyagovom rezhime / A. Yu. Rebrov // VIsnik NTU "HPI". ZbIrnik naukovih prats. Tematichniy vi-pusk: Transportne mashinobuduvannya. – HarkIv: NTU "HPI". – 2012. – # 20. – S. 67–72.