



Механізація, електрифікація

УДК 624.138:631.3

© 2022

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО БУКСУВАННЯ РУШІЇВ КОЛІСНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ

В.М. Булгаков¹, В.В. Адамчук², В.Т. Надикто³, В.М. Кюрчев⁴,
В.Ф. Камінський⁵, О.О. Дубровіна⁶

^{1, 2}доктори технічних наук, професори, академіки НААН

^{3, 4}доктори технічних наук, професори, члени-кореспонденти НААН

⁵доктор сільськогосподарських наук, академік НААН

^{1, 6}Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

²Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН
вул. Вокзальна, 11, смт Глеваха Фастівського р-ну Київської обл., 08631, Україна

^{3, 4}Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
просп. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь Запорізької обл., 72312, Україна

⁵ННЦ «Інститут землеробства НААН»

вул. Машинобудівників, 2 б, смт Чабани Києво-Святошинського
р-ну Київської обл., 08162, Україна

e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²vvadamchuk@gmail.com, ³nadyktonvt@meta.ua,

⁴radnik@tsatu.edu.ua, ⁵iznaan@ukr.net, ⁶olyadubrovina17@gmail.com

ORCID: ¹0000-0003-3445-3721, ²0000-0003-0358-7946, ³0000-0002-1770-8297,

⁴0000-0003-4377-1924, ⁵0000-0002-9668-6742

Надійшла 15.09.2022

Мета. Визначити максимально допустиме буксування колісних рушіїв за умови відсутності зрізу ґрунту і прояву такого рівня його зсуву ґрунтозацепами шин, який не перевищує заданої межі міцності. **Методи дослідження** ґрунтуються на основі використання розділів теорії тягової динаміки трактора, які розглядають процес кочення еластичного тягового колеса по деформованій ґрунтовій поверхні. Теоретичні розрахунки отриманих аналітичних закономірностей здійснені у програмному середовищі MathCad 15.0. Вихідними даними були параметри типового ґрунту Півдня України і конструктивні параметри найбільш розповсюджених у цій зоні тракторів тягових класів 1,4 і 3. **Результати.** Розроблено аналітичну залежність, яка дає змогу визначити максимально допустимий рівень буксування рушіїв колісних енергетичних засобів з урахуванням межі міцності ґрунтового середовища на зсув. За даними розрахунків встановлено, що максимально допустиме значення буксування колісних рушіїв істотно залежить від стану агротехнічного фону, по якому рухається трактор. Кількісною характеристикою цього стану є

коефіцієнт опору коченню колісного рушія. Не менш істотний вплив на значення максимально допустимого буксування рушіїв колісних енергетичних засобів здійснює кут положення ґрунтозачепу на шині щодо її поздовжньої осі симетрії. Висновки. Теоретичними дослідженнями встановлено, що чим більший коефіцієнт опору кочення колісного рушія по тому чи іншому агро-технічному фоні, тим меншим має бути максимально допустиме значення його буксування за більш ощадного при цьому впливу на ґрунтове середовище. Порівняно з трактором тягового класу 1,4 (МТЗ-892) використання енергетичного засобу тягового класу 3 (ХТЗ-17221) можливе за більших значень максимально допустимого буксування. Результати математичного моделювання свідчать, що зі збільшенням значення кута розміщення (нахилу) ґрунтозачепу до поздовжньої осі симетрії колісного рушія максимально допустимий рівень його буксування має бути меншим.

Ключові слова: трактор, ґрунтозачеп, дотична рушійна сила, деформація зсуву ґрунту, коефіцієнт опору коченню.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202212-06>

Збереження і підвищення родючості ґрунту було і завжди буде однією із найактуальніших проблем сільськогосподарського виробництва. Оскільки визначальною у цьому є структура ґрунтового середовища, то на її систематичне поліпшення має бути спрямований увесь потенціал аграрної науки. Насамперед це стосується інженерного напрямку, оскільки негативний техногенний вплив на ґрунт є одним із визначальних чинників зниження його родючості [1].

Одним із найбільш руйнівних процесів структури ґрунту є його ущільнення і деформування внаслідок буксування рушіїв енергетичних засобів [2, 3], насамперед колісних. Вивченню цих явищ світовою наукою спільнотою приділено значну увагу [4–7]. У результаті науковцями і практиками розроблено досить інформативну систему рекомендацій щодо зменшення негативного впливу буксування ходових систем енергетичних засобів машинно-тракторних агрегатів на структуру ґрунту.

Проте ці рекомендації обходять проблему визначення максимально допустимого рівня буксування рушіїв тракторів, а така інформація аграріям украй потрібна. З одного боку, за науковими даними відомо, що трактор у складі того чи іншого машинно-тракторного агрегату найвищі тягово-зчіпні показники має за буксування рушіїв на рівні 20–22% [8]. З другого боку, апріорі можна

стверджувати про неприйнятність такого техногенного впливу на ґрунт з погляду збереження його структури. До того ж зазначимо, що свідоме застосування нами терміну «апріорі» виправдане відсутністю нині будь-яких обмежувально-законодавчих документів щодо допустимого рівня буксування рушіїв енергетичних засобів сільськогосподарського призначення.

Чинним документом подібного призначення в Україні є ДСТУ 4521:2006 «Техніка мобільна сільськогосподарська. Норми дії ходових систем на ґрунт». Він регламентує норми максимального вертикального тиску рушіїв сільськогосподарської техніки на агротехнічний фон [$Q_{\max}$] залежно від його гранулометричного складу і вологості, а також строків проведення сільськогосподарських робіт у різних ґрунтово-кліматичних зонах.

Параметр [$Q_{\max}$] використано нами для встановлення максимально допустимого рівня буксування $\delta_{\max}$ колісних рушіїв з урахуванням їх деформувального впливу на ґрунт [9, 10]. Водночас, практичне застосування цього параметра як обмежувального є досить проблематичним в основному через відсутність методичних основ практичного застосування вимог зазначеного вище ДСТУ. Насамперед це стосується практичного визначення питомого тиску рушіїв колісних енергетичних засобів на ґрунт

(у кПа). Проблема полягає у тому, що значення такого показника залежить не тільки від експлуатаційної ваги енергетичного засобу, а й від тиску повітря в шинах, їхньої ширини і діаметра, а найголовніше — від твердості ґрунту і його вологості. Тобто у кожному конкретному випадку використання того чи іншого трактора питомий тиск його рушіїв на ґрунт буде різним. До того ж все ускладнюється проблематичністю вимірювання цього показника у польових умовах при визначенні площі опорної поверхні рушіїв трактора.

З огляду на це виникає потреба у знаходженні компромісного варіанта визначення максимально допустимого буксування колісних рушіїв. Цей процес, як відомо, призводить до 2-х форм деформації ґрунту: зсуву і зрізу. Зрозуміло, що для збереження структури ґрунтового середовища буксування рушіїв має бути обмежене лише зсувом. Нормувальним показником при цьому може бути межа міцності ґрунту σ_0 за такої його деформації. Фізична суть цього показника є досить зрозумілою, а методика практичного визначення — широко відомою у наукових колах [11].

Мета досліджень — визначення максимально допустимого буксування колісних рушіїв за умови відсутності зрізу ґрунту і прояву такого рівня його зсуву ґрунтозацепами шин, який не перевищує заданої межі міцності.

Методи дослідження ґрунтуються на основі використання розділів теорії тягової динаміки трактора, які розглядають процес кочення еластичного тягового колеса по деформованій ґрунтовій поверхні.

Теоретичні розрахунки отриманих аналітичних залежностей здійснено у програмному середовищі MathCad 15.0. Вихідними даними були параметри типового ґрунту Півдня України і конструктивні параметри найбільш розповсюджених у цій зоні тракторів тягових класів 1,4 і 3.

Результати досліджень і їх обговорення. Як уже згадувалося вище, процес буксування колісних рушіїв зумовлений зсувом і зрізом ґрунтозацепами шин ґрунту у напрямку, протилежному руху мобільного енергетичного засобу. Ці деформації ґрунтового середовища є його реакцією на дію

з боку дотичної сили тяги колісного рушія F_k (рис. 1).

Вважаємо, що найбільш повний зв'язок між цією силою і зумовленими нею деформаціями зсуву та зрізу ґрунту відтворює аналітична залежність, запропонована В.В. Гуськовим [8]:

$$F_{tq} = \frac{f_{cl} \cdot k_{\tau} \cdot G}{\delta \cdot L} \cdot \left[\ln ch \frac{\delta \cdot L}{k_{\tau}} - f_{sup} \left(\frac{1}{ch \frac{\delta \cdot L}{k_{\tau}}} - 1 \right) \right] + 2\tau_{sh} \cdot \frac{h_q \cdot L}{t_q}, \quad (1)$$

де f_{cl} — коефіцієнт тертя ковзання між частинками ґрунту; k_{τ} — коефіцієнт одно-вісного деформування ґрунту, м; G — вертикальне навантаження на колісний рушій, Н; δ — коефіцієнт буксування колісного рушія; L — довжина площі контакту рушія із опорним ґрунтом, м; f_{sup} — приведений коефіцієнт тертя; τ_{sh} — напруження зрізу ґрунту, Па; h_q , t_q — висота і крок ґрунтозацепу відповідно, м.

Сила F_k може бути наведена сумою двох її складових P_k (див. рис. 1). Кожна із них має дотичну і нормальну N_k складові. Остання (тобто сила N_k) здійснює зсув ґрунту ґрунтозацепом, розташованим на шині під кутом α .

Залежність (1) використано нами у роботах [9, 10] для визначення максимально допустимого буксування δ_{max} колісного рушія. Обмежувальним чинником при цьому був згадуваний вище нормативний параметр $[Q_{max}]$, використання якого передбачено не у вертикальному (за вимогами ДСТУ

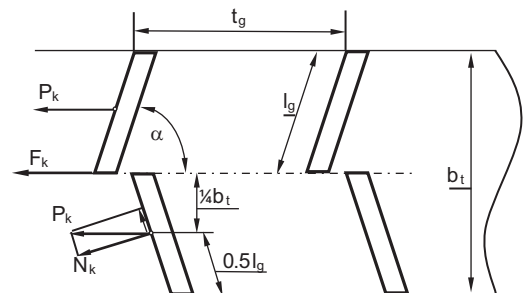


Рис. 1. Схема сил, які діють на ґрунтозацепи шини колісного рушія

4521:2006), а в горизонтальному напрямку деформування ґрунту ґрунтозацепами, розміщеними на шині під кутом α :

$$[Q_{\max}] \leq \left\{ \frac{f_{cl} \cdot G}{k_{\delta}} \cdot \left[\ln \operatorname{ch} k_{\delta} - f_{\sup} \left(\frac{1}{\operatorname{ch} k_{\delta}} - 1 \right) \right] + 2\tau_{sh} \cdot \frac{h_q \cdot L}{t_q} \right\} \cdot \frac{\sin^2 \alpha}{\operatorname{Integer} \left(\frac{L}{t_q} \right) \cdot b_t \cdot h_q} \quad (2)$$

У рівнянні (2):

$$k_{\delta} = \frac{\delta \cdot L}{k_{\tau}}, \quad (3)$$

і

$$L = R_k \cdot \left(\arctan \frac{f_k \cdot \sqrt{1 - f_k^2}}{0,5 - f_k^2} + 2 \cdot f_k^2 \right), \quad (4)$$

де R_k — радіус кочення колісного рушія, м; f_k — коефіцієнт опору коченню.

Предметний аналіз аналітичної залежності (2) дає змогу встановити 2 важливих моменти. Згідно з першим доданок виразу у фігурних дужках $2\tau_{sh} \cdot h_q \cdot L \cdot t_q^{-1}$ відповідно деформації зрізу ґрунту, яку, в принципі, за визначення максимально допустимого буксування колісного рушія слід унеможливити, а отже, у подальшому аналізі немає потреби розглядати.

Другий момент пов'язаний з параметром k_{δ} . Після аналізу рівнянь (3) і (4) для тракторів тягових класів 1,4; 3 та 5 виявлено, що значення гіперболічного косинуса k_{δ} відрізняється від одиниці на 5–6%. З огляду на це з достатньою для практики точністю можна зазначити, що:

$$\operatorname{ch} k_{\delta} = \operatorname{ch} \frac{\delta \cdot L}{k_{\tau}} = \frac{e^{\frac{\delta \cdot L}{k_{\tau}}} + e^{-\frac{\delta \cdot L}{k_{\tau}}}}{2} \cong 1, \quad (5)$$

а вираз:

$$f_{\sup} \left(\frac{1}{\operatorname{ch} \frac{\delta \cdot L}{k_{\tau}}} - 1 \right) \cong 0. \quad (6)$$

Врахувавши залежності (5) і (6) та замінивши у виразі (2) параметр $[Q_{\max}]$ новим нормувальним показником σ_o , отримуємо нову залежність для визначення

максимально допустимого буксування колісного рушія з урахуванням такого обмежувального чинника, як межа міцності ґрунту за наявності його зсуву:

$$\sigma_o \leq \frac{f_{cl} \cdot k_{\tau} \cdot G}{\delta_{\max} \cdot L} \cdot \ln \operatorname{ch} \frac{\delta_{\max} \cdot L}{k_{\tau}} \times \frac{\sin^2 \alpha}{\operatorname{Integer} \left(\frac{L}{t_q} \right) \cdot b_t \cdot h_q} \quad (7)$$

Якщо взяти до уваги, що раніше для k_{τ} було запропоновано таку аналітичну залежність [8]:

$$k_{\tau} = 0,4 \cdot t_q, \quad (8)$$

то з огляду на це остаточно маємо аналітичний вираз для визначення нового нормувального показника σ_o :

$$\sigma_o \leq 0,4 \cdot \frac{f_{cl} \cdot t_q \cdot G}{\delta_{\max} \cdot L} \cdot \ln \operatorname{ch} \frac{2,5 \cdot \delta_{\max} \cdot L}{t_q} \times \frac{\sin^2 \alpha}{\operatorname{Integer} \left(\frac{L}{t_q} \right) \cdot b_t \cdot h_q} \quad (9)$$

Для проведення подальших теоретичних досліджень залежності (9) з урахуванням виразу (4) на предмет визначення максимально допустимого буксування $\delta_{\max}$ колісних рушіїв тракторів визначимося з номенклатурою їхніх тягових класів. Нині, незважаючи на запропонований нами проєкт нового типу колісних енергетичних засобів для України [12], хоч і формально, але чинним залишається ГОСТ 27021-86 (СТ СЭВ 628-85). Із задекларованих у ньому 10 тягових класів практично в усій країні найбільш розповсюджені трактори класів 1,4 і 3 типової моделі МТЗ-892 і серії ХТЗ-170 (ХТЗ-17021, ХТЗ-17221) відповідно. Конструктивні параметри цих енергетичних засобів наведено у таблиці.

Колісні енергетичні засоби менших тягових класів (0,2; 0,6 і 0,9) значно рідше використовують у складі тягових машинно-тракторних агрегатів. У недалекому минулому їх вважали позасистемними і для них навіть не було розроблено шлейфу сільськогосподарських машин/знарядь.

Конструктивні параметри колісних рушіїв порівнюваних енергетичних засобів

Тяговий клас трактора, серія	Типорозмір шини	Конструктивний параметр рушія і його значення					
		G, Н	t_q , м	h_q , м	b_t , м	R_k , м	α , °
1,4 (МТЗ-892)	16,9R38	25260	0,23	0,038	0,43	0,770	43
3 (ХТЗ-170)	23,1R26	30900	0,23	0,045	0,59	0,715	47

Трактори тягових класів 5, 6 і 8 задовольняють здебільшого на технологічних операціях з основного обробітку ґрунту. Зазвичай агрегатний стан ґрунту такий, що його опір зсуву в горизонтальному напрямку є значно більшим, ніж у агротехнічних фонів, у яких коефіцієнт опору коченню становить 0,12–0,18. Практика засвідчує, що на агротехнічних фонах з такою характеристикою оптимальне завантаження тракторів тягових класів 5–8 є досить проблематичним.

Що стосується деяких параметрів ґрунтового середовища, то для суглинкових ґрунтів: $f_{cl}=0,72-0,79$; $f_k=0,12-0,18$. Межа їхньої міцності на одностісне деформування σ_0 змінюється у досить широких межах [8]. До того ж, чим краща структура ґрунту, тим меншим є значення σ_0 . Водночас стверджувати таке можна лише апіорі, оскільки дослідних даних щодо природи зв'язку між структурою чорноземів або інших ґрунтів і межею їхньої міцності на зсув практично немає. Із незначної кількості наявної інформації робимо висновок, що для ґрунтів середньої структурованості значення параметра σ_0 є на рівні 100 кПа [13].

За даними розрахунків, проведених за допомогою персонального комп'ютера у програмному середовищі MathCad 15.0, максимально допустиме значення буксування колісних рушіїв δ_{max} істотно залежить від стану агротехнічного фону, по якому рухається трактор. Кількісною характеристикою фону у даному разі є значення коефіцієнта опору коченню f_k . Як виявилось, інтенсивність (крутизна) зміни функції $\delta_{max}=f(f_k)$ для обох порівнюваних енергетичних засобів (МТЗ-892 і ХТЗ-17021) практично однакова (рис. 2).

Тобто, якщо для трактора ХТЗ-17221 збільшення значення коефіцієнта f_k з 0,12 до 0,18 потребує зменшення значення максимально допустимого буксування на 35%

(у відносному вимірі), то для МТЗ-892 воно становить 37%. Отриману при цьому різницю у 2% (в абсолютному вимірі) можна вважати неістотною.

Фактично закономірність зменшення δ_{max} за умови збільшення коефіцієнта f_k опору коченню колісних рушіїв є цілком логічною. Адже чим більше значення f_k , тим, як правило, менша щільність агрофону, тим він пухкіший, а тому чутливіший до деформації — зсуву. Отже, чим більший коефіцієнт f_k опору кочення колісного рушія по тому, чи іншому агротехнічному фону, тим меншим має бути максимально допустиме значення його буксування δ_{max} .

Аналіз порівняння цих розрахунків для обох тракторів свідчить, що використання енергетичного засобу тягового класу 3 (у даному разі — трактора ХТЗ-17221) можливе за більших значень параметра δ_{max} . Причину такого результату зумовлено величиною вертикального (або

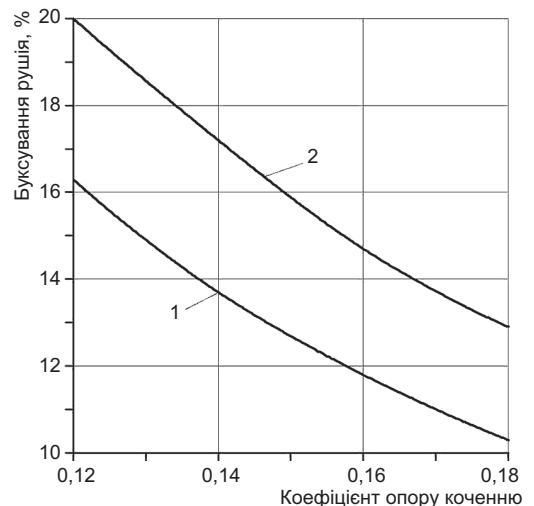


Рис. 2. Залежність допустимого буксування δ_{max} рушія від коефіцієнта f_k опору його кочення: 1 — МТЗ-892; 2 — ХТЗ-17221

нормального) навантаження на колісний рушій, а саме: у трактора ХТЗ-17221 воно на 23% більше, ніж у трактора МТЗ-892 (див. таблицю). Більше значення параметра G також зумовлює більшу силу тертя між шиною колеса і ґрунтом, що дає змогу одній ту саму дотичну силу тяги реалізувати за меншого рівня буксування колісного рушія.

Із тих величин, що входять до виразів (4) і (9), істотний вплив на значення максимально допустимого буксування рушіїв колісних енергетичних засобів здійснює кут α положення ґрунтозачепу на шині (див. рис. 1). Проведені на персональному комп'ютері числові розрахунки дали змогу отримати графічні залежності між цими параметрами. На рис. 3 зображено характер зміни функції $\delta_{\max} = f(\alpha)$ за різних значень коефіцієнта f_k опору коченню для колісного енергетичного засобу МТЗ-892.

Результати математичного моделювання свідчать, що зі збільшенням значення кута α максимально допустимий рівень буксування $\delta_{\max}$ колісного рушія має бути меншим (криві 1 і 2, рис. 3). Це пояснюється розташуванням ґрунтозачепа на шині. Зі збільшенням α він займає положення, близьке до поперечного щодо поздовжньої осі симетрії рушія. Унаслідок цього збільшується та

складова дотичної сили тяги, яка діє у поперечному (нормальному) напрямку щодо бічної поверхні ґрунтозачепа. Через це зростає величина зсуву останнім ґрунту в напрямку, протилежному руху трактора.

Як і в попередньому разі, інтенсивність (крутизна) зміни функції $\delta_{\max} = f(\alpha)$ для обох варіантів величини коефіцієнта f_k також майже однакова (див. рис. 3). Відмінність полягає в тому, що за менших значень f_k величина максимально допустимого буксування $\delta_{\max}$ колісних рушіїв може бути більшою. Результат цілком логічний, оскільки за більших значень коефіцієнта f_k опору коченню щільність ґрунту, по якому рухається трактор у складі того чи іншого машинно-тракторного агрегату, вища, розпушеність його менша, а здатність чинити опір зсуву — вища. Тому, чим більше значення коефіцієнта f_k , то більш щадним має бути вплив на агротехнічний фон у вигляді буксування колісних рушіїв енергетичних засобів. Одним із технічних варіантів розв'язання цієї проблеми є використання останніх з подвоєними чи навіть потроєними шинами. Технологічну доцільність застосування такого технічного рішення досить предметно висвітлено у роботі [14].

Попередніми нашими дослідженнями було встановлено, що за умови використання нормувального параметра $[Q_{\max}]$ максимально допустиме значення буксування $\delta_{\max}$ рушіїв колісних енергетичних засобів не має перевищувати 15% [10]. При застосуванні нормувального параметра σ_0 такій умові практично відповідає енергетичний засіб тягового класу 1,4 (МТЗ-892, рис. 2). Для тракторів тягового класу 3 сімейства ХТЗ-170 умова $\delta_{\max} \leq 15\%$ справедлива за їх роботи на агротехнічних фонах зі значенням коефіцієнта f_k опору коченню не меншим за 0,16 (крива 1, рис. 2). Отже, на менш пухких (щільніших) фонах значення максимально допустимого буксування $\delta_{\max}$ цих колісних енергетичних засобів може бути збільшене до 20%. Вважаємо, що така розбіжність вимог щодо $\delta_{\max}$ зумовлена обмеженістю коректних даних щодо значення параметра σ_0 . Особливо тих, які, як уже зазначалося вище, відображають закономірності залежності межі міцності зсуву ґрунту від його структурно-агрегатного стану.

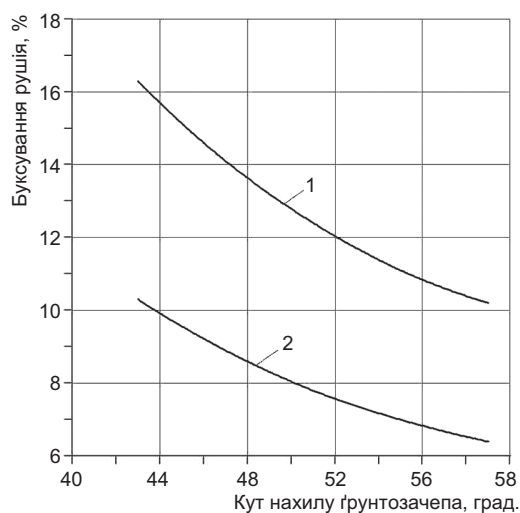


Рис. 3. Залежність максимально допустимого буксування $\delta_{\max}$ рушія трактора МТЗ-892 від кута α розміщення його ґрунтозачепа на шині: 1 — $f_k = 0,12$; 2 — $f_k = 0,18$

Висновки

Розроблено аналітичну залежність, яка дає змогу визначити максимально допустимий рівень буксування $\delta_{\max}$ рушіїв колісних енергетичних засобів з урахуванням межі міцності ґрунтового середовища на зсув.

Теоретичними дослідженнями встановлено, що чим більший коефіцієнт f_k опору кочення колісного рушія по тому чи іншому агротехнічному фоні, тим меншим має бути максимально допустиме значення його буксування за більш ощадного при цьому впливу на ґрунт.

Порівняно з трактором тягового класу 1,4 (МТЗ-892) використання енергетичного засобу тягового класу 3 (ХТЗ-17221) можливе за більших значень максимально

допустимого буксування $\delta_{\max}$. Такий результат зумовлений більшою величиною вертикального навантаження на колісний рушій трактора ХТЗ-17221, що забезпечує йому більшу силу тертя між шиною колеса і ґрунтом та дає змогу одну й ту саму допустимую силу тяги реалізувати за меншого рівня буксування.

Результати математичного моделювання свідчать, що зі збільшенням значення кута α розміщення (нахилу) ґрунтозачепу до поздовжньої осі симетрії колісного рушія максимально допустимий рівень його буксування $\delta_{\max}$ має бути меншим. Це сприятиме зменшенню величини деформації (поздовжнього зсуву) ґрунту трактором під час його робочого руху.

Bulgakov V.¹, Adamchuk V.², Nadykto V.³, Kyurchev V.⁴, Kaminskiy V.⁵ Dubrovina O.⁶

¹, ⁶National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroyiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine, 03041; ²Institute of Mechanics and Automation of Agricultural Production of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, 11 Vokzalna Str., Glevakha stl, Fastiv district, Kyiv Region, Ukraine, 08631; ^{3,4}Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, 18b Khmelnytsky Ave., Melitopol, Zaporozhye Region, Ukraine, 72310; ⁵NSC of the Institute of Agriculture of NAAS, 2-b Mashynobudivnykiv Str., vil. Chabany, Kyiv-Sviatoshyhyn district, Kyiv oblast, 08162, Ukraine; e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²vvadamchuk@gmail.com, ³nadyktonvt@meta.ua, ⁴radnik@tsatu.edu.ua, ⁵iznaan@ukr.net, ⁶olyadubrovina17@gmail.com; ORCID: ¹0000-0003-3445-3721, ²0000-0003-0358-7946, ³0000-0002-1770-8297, ⁴0000-0003-4377-1924, ⁵0000-0002-9668-6742

Theoretical study of the conditions maximum allowable slip drives of wheeled energy vehicles

Goal. Determination of the maximum allowable skidding of wheel drives, provided there is no cut and the manifestation of such a level of its displacement by the tire grips, which does not exceed the specified strength limit. **Methods.** Are based on the use of sections of the theory of traction dynamics of a tractor, which consider the rolling process of an elastic traction wheel on a deformed soil surface. Theoretical calculations of the obtained analytical regularities were carried out in the MathCad 15.0 software environment. The initial data were the parameters of the typical soil environment of the south of Ukraine

and the design parameters of tractors of traction classes 1.4 and 3, which are most common in this area. **Results.** An analytical dependence has been developed that allows you to determine the maximum permissible level of skidding of wheeled power vehicles, taking into account the shear strength limit of the soil medium. According to the calculations, it was established that the maximum allowable value of wheel drive towing significantly depends on the condition of the agrotechnical background on which the tractor moves. A quantitative characteristic of this condition is the coefficient of rolling resistance of the wheel drive. No less significant influence on the value of the maximum permissible skidding of the drivers of wheeled power vehicles is exerted by the angle of the position of the ground grip on the tire in relation to its longitudinal axis of symmetry. **Conclusions.** Theoretical studies have established that the greater the coefficient of rolling resistance of a wheeled vehicle on this or that agrotechnical background, the smaller the maximum permissible value of its skidding should be, with a more economical impact on the soil environment. Compared to a tractor of traction class 1.4 (MTZ-892), the use of a power tool of traction class 3 (XT3-17221) is possible with higher values of the maximum permissible towing. The results of mathematical modeling prove that with an increase in the value of the angle of placement (inclination) of the ground grip to the longitudinal axis of symmetry of the wheel drive, the maximum permissible level of its skidding should be lower. **Key words:** tractor, soil attachment, tangential driving force, soil shear deformation, rolling resistance coefficient.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202212-06>

Бібліографія

1. Bulgakov V., Gadzalo I., Ivanovs S. et al. Analysis of the State and Assessment of Possible Ways of Preservation of Soil Fertility During its Mechanical Treatment. *J. of Ecological Engineering*. 2022. V. 23. P. 128–136. doi: 10.12911/22998993/146334
2. Медведєв В.В. Нормативи утворення і збереження структури ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 3. С. 9–13.
3. Медведєв В.В. Физическая деградация черноземов. Диагностика. Причины. Следствия. Предупреждение. Харьков: «Городская типография», 2013. 324 с.
4. Hakansson I., Medvedev V.V. Protection of soil from mechanical overloading by establishing limits for stresses by heavy vehicles. *Soil & Tillage Research*. 1995. V. 35. P. 85–97.
5. Farrakh M., Bourrié G., Trolard F. Soil compaction impact and modelling. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2013. V. 33. P. 291–309.
6. Abrahám R., Majdan R., Drlička R. Comparison of tractor slip at three different driving wheels on grass. *Agronomy Research*. 2017. V. 15. P. 1441–1454. doi: 10.15159/AR.17.001
7. Damanauskas V., Janulevičius A. Differences in tractor performance parameters between single-wheel 4WD and dual-wheel 2WD driving systems. *J. of Terramechanics*. 2015. V. 60. P. 63–73. doi: 10.1016/j.jterra.2015.06.001
8. Гуськов В.В., Велєв Н.Н., Атаманов Б.Е. и др. Тракторы: Теория. Москва: Машиностроение, 1988. 376 с.
9. 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. *Agronomy Research*. 2015. V. 13. P. 148–157.
10. Bulgakov V., Aboltins A., Beloev H. et al. Maximum Admissible Slip of Tractor Wheels Without Disturbing the Soil Structure. *Applied Sciences*. 2021. V. 11. P. 6893. doi: 10.3390/app11156893
11. Панов И.М., Ветохин В.И. Физические основы механики почв. Киев: Феникс, 2008. 266 с.
12. Адамчук В.В., Булгаков В.М., Надикто В.Т., Кюрчев В.М. Теоретичне обґрунтування типажу колісних сільськогосподарських тракторів для України. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 1. С. 43–47. doi: 10.31073/agrovisnyk201701-08
13. Торигов В.Е., Старовойтов С.И., Чемисов Н.Н. О физических параметрах суглинистой почвы. *Земледелие*. 2016. № 8. С. 19–21.
14. Адамчук В.В., Булгаков В.М., Надикто В.Т. та ін. Дослідження умов доцільності застосування подвоєних або потроєних шин колісних енергетичних засобів. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 8. С. 60–66. doi: 10.31073/agrovisnyk202208-07

ВИПРАВЛЕННЯ

З технічних причин у журналі «Вісник аграрної науки» № 6, 2022 р. у змісті (с. 2) допущено помилку в прізвищах авторів статті. Слід читати: **Тараріко Ю.О., Лукашук В.П.** Виробництво сільськогосподарської продукції в Україні для потреб Королівства Марокко.