

О.Ю. РЕБРОВ, Б.І. КАЛЬЧЕНКО, В.А. МАКАРОВ, М.Є. ЯКУНІН, І.Г. БУЧКО, О.М. РЕБРОВА, О.В. АРТЮШЕНКО, О.М.ЛЕОНЕНКО

ОЦІНОЧНИЙ АНАЛІЗ ДІЇ НА ГРУНТ ХОДОВИХ СИСТЕМ КОЛІСНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ

В статті наведений оціночний аналіз дії ходових систем колісних сільськогосподарських тракторів на ґрунт. Аналізу підлягала вибірка з понад 600 тракторів класичної компоновки провідних світових виробників, виконаних за схемою 4К4а. Для визначення показників максимального тиску на ґрунт застосована величина контурної площі плями контакту при допущенні, що шини експлуатуються за умов, які характеризуються індексом швидкості A_6 при значному крутному моменті протягом тривалого часу. Наведено розрахункову функцію розподілу ймовірності максимального тиску на ґрунт вибірки сучасних колісних тракторів для фіксованого конструктивного розташування центру ваги. Проаналізовано конструктивне розташування центру ваги тракторів за групами з відповідною різницею індексів довжини окружності кочення $\Delta RCI=4\dots 9$. Встановлено, що для тракторів загального та універсально-просапного призначення з $\Delta RCI = 4\dots 6$ найбільш поширений коефіцієнт розподілу ваги становить 0,40 або 0,44. Для тракторів спеціального (утилітарного) призначення з $\Delta RCI = 7\dots 9$ найбільш поширений коефіцієнт розподілу ваги 0,45...0,46. Проведено аналіз максимального тиску на ґрунт в широкому діапазоні сили тяги трактора при підтриманні постійним оптимального розподілу ваги, що залежить від співвідношення контурної площі плям контакту шин коліс переднього та заднього мостів. Аналіз показав, що підтримання постійним оптимального розподілу ваги при виконання тягових операцій дає змогу знизити максимальний тиск на ґрунт на 8...40 кПа. Це дає змогу усереднено підвищити частку території України, де сучасні колісні трактори з одинарними шинами зможуть експлуатуватися без порушення агроекологічних вимог, на 14%.

Ключові слова: колісний трактор, довжина окружності кочення шини, тракторна шина, максимальний тиск на ґрунт, розподіл ваги трактора.

O. REBROV, B. KALCHENKO, V. MAKAROV, M. YAKUNIN, I. BUCHKO, O. REBROVA, O. ARTIUSHENKO, O. LEONENKO

EVALUATION ANALYSIS OF THE RUNNING SYSTEM SOIL INTERACTION OF WHEELED AGRICULTURAL TRACTORS

The article provides an evaluative analysis of the wheeled agricultural tractor's running systems soil interaction. A sample of more than 600 MFWD tractors of the world's leading manufacturers was subject to analysis. To determine the parameters of the maximum soil pressure, the value of the footprint gross flat plate area is applied, assuming that the tires are operated under conditions characterized by the speed index A_6 with a significant torque for a long time. It is obtained the calculated function of the probability distribution of the maximum pressure on the soil of a sample of modern wheeled tractors with a fixed location of the centre of gravity (weight distribution). The designed arrangement of the centre of gravity of tractors by groups with the corresponding rolling circumference indexes difference $\Delta RCI = 4\dots 9$ was analysed. It was established that for general and universal purpose tractors with $\Delta RCI = 4\dots 6$ the most common weight distribution coefficient is 0.40 or 0.44. For special (utility) tractors with $\Delta RCI = 7\dots 9$, the most common weight distribution coefficient is 0.45...0.46. An analysis of the maximum soil pressure in a wide range of the traction force of the tractor while maintaining a constant optimal weight distribution, which depends on the ratio of the footprint gross flat plate area of the front and rear tires, was carried out. The analysis showed that maintaining a constant optimal weight distribution during traction operations makes it possible to reduce the maximum pressure on the soil by 8...40 kPa. This makes it possible to increase the part of the territory of Ukraine, where modern wheeled tractors with single tires can be operated without violating agro-ecological requirements, by 14%.

Key words: wheeled tractor, tire rolling circumference, tractor tire, tractor weight distribution.

Вступ. Ефективність експлуатації парку колісних сільськогосподарських тракторів визначається рядом чинників, серед яких центральне місце мають посідати показники взаємодії з ґрунтовим середовищем, які включають аспекти тягової ефективності та екологічної безпеки. Ці аспекти повинні розглядатися сумісно, оскільки вони тісно пов'язані та характеризують складові дотичних і радіальних силових факторів взаємодії тракторної шини з ґрунтовим середовищем, які є наслідком відповідних деформацій зсуву та пресування

грунту. Для збереження родючості та потенціалу ґрунтів, а також запобігання їх деградації та руйнування необхідне виконання ряду умов [1], які знайшли своє формальне втілення в Державному стандарті України [2].

Конструкції ходових систем повинні забезпечувати високі експлуатаційні властивості колісних тракторів, що не стануть перешкодою для їх екологічно безпечного використання за рівнем максимального тиску на ґрунт, особливо в період весняно-польових робіт. З огляду на зазначене, актуальним буде проведення оціночного аналізу рівня максимального тиску на ґрунт у розрізі досягнутого технічного рівня сучасних конструкцій колісних тракторів.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Широкий перелік технічних показників сучасних сільськогосподарських тракторів, у тому числі дані щодо застосованих типорозмірів шин, положення центру ваги, повздовжньої бази та багато інших даних, публікуються в щорічних виданнях [3]. Ці дані можна використати в якості вихідних для аналізу та узагальнення сучасного рівня впливу ходових систем колісних тракторів на ґрунт. Слід зауважити, що аспект екологічної безпеки [4] необхідно враховувати при обґрунтуванні рівня баластування тракторів [5, 6], а також при проектуванні та розробці сільськогосподарської техніки. Причому, агроекологічний вплив рушіїв на ґрунт не тільки повинен братися до уваги, а в деяких питаннях має бути ключовим [7, 8].

Відомий ряд заходів щодо покращення показників впливу ходових систем на ґрунт. До них можна віднести застосування здвоєних або зтроєних шин, впровадження систем регулювання тиску повітря в шинах (CTIS – central tire inflation system), до яких відносяться системи Fendt VarioGrip та Mitas AitCell [7]. Іншим напрямком зниження максимального тиску на ґрунт може бути керування розподілом зчіпної ваги трактора між переднім і заднім ведучими мостами. Варіантом такої системи можна вважати систему Fendt VarioPull, яка реалізована для випадку агрегування трактора полунавісними та причіпними сільськогосподарськими зняряддями.

Керувати розподілом зчіпної ваги у відповідному сенсі можна також за допомогою баластування. Традиційно баластування колісних тракторів відбувається установкою литих ваг в колісні диски задніх шин та/або навішуванням ваги на передню навісну систему або на відповідне кріплення в передньому звисі трактора. Також відома система EZ Ballast від John Deere [7], що дає змогу баластувати трактор єдиною вагою, яка за допомогою важелів та гідравлічної системи легко закріплюється оператором під остовом, не виходячи з кабіни.

Баластування литими вагами є дискретним, тобто положення центру ваги змінюється дискретно, і тільки при встановленні/зніманні баласту. Натомість, робота системи Fendt VarioPull є безперервною з плавним керуванням положення центру ваги трактора за рахунок змінного важеля прикладання вертикальної складової сили тяги на гаку, спричиненою особливостями агрегування полунавісним та причіпним сільськогосподарським зняряддям. Система Fendt VarioPull дає змогу змінювати довжину важеля прикладання вертикальної навантаги на 800 мм, що відкриває широкі можливості для регулювання розподілу ваги трактора по ведучим мостам.

З огляду на зазначене, виникає питання ефективності керування розподілом зчіпної ваги трактора з позиції забезпечення мінімально можливого максимального тиску рушія на ґрунт.

Мета та постановка задачі дослідження. Метою дослідження є аналіз рівня максимального тиску на ґрунт сучасних колісних тракторів за їх узагальненими даними та виявлення можливостей його зниження за рахунок корегування положення центру ваги.

Основний матеріал та результати дослідження. Максимальний тиск на ґрунт відповідно до ДСТУ [9] залежить від радіальної навантаги на шину G_k та контурної площі плями контакту F_k . Для спрощення аналізу вважатимемо, що в ході виконання польових сільськогосподарських операцій внутрішній тиск повітря в шині $p_{ш}$ відповідає радіальній навантазі G_k , яка, в свою чергу, дорівнює вантажопідйомності шини для умов експлуатації, що характеризуються індексом швидкості A_6 . Тобто шина експлуатується при значному крутному моменті протягом тривалого часу при радіальній навантазі G_k , що дорівнює допустимій $[Q_{A_6}]_{p_{ш}}$ за відповідного внутрішнього тиску $p_{ш}$. Це дає змогу в якості розрахункового значення використати величину

контурної площі плями контакту шини F_k , яка наведена в технічних даних виробником. Радіальну навантагу на шини будемо визначати для статичного положення та для руху з силою тяги на гаку. В статичному положенні радіальна навантага на передню G_{k1} та задню G_{k2} шини:

$$G_{k1} = \frac{G \cdot l_2}{2 \cdot L} = m_1 \cdot \frac{G}{2}; \quad G_{k2} = \frac{G \cdot l_1}{2 \cdot L} = m_2 \cdot \frac{G}{2}, \quad (1)$$

де L, l_1, l_2 – повздовжня база та відстань від центру ваги до осей переднього та заднього мостів, відповідно; m_1, m_2 – коефіцієнти (частки) розподілу ваги трактора на передній та задній мости в статичному положенні; G – вага трактора.

При реалізації сили тяги на гаку радіальні навантаги на шини:

$$G_{k1} = \frac{G}{2} \cdot \left(m_1 - \frac{\varphi_{кр} \cdot h_{кр}}{L} \right); \quad G_{k2} = \frac{G}{2} \cdot \left(m_2 + \frac{\varphi_{кр} \cdot h_{кр}}{L} \right), \quad (2)$$

де $\varphi_{кр}, h_{кр}$ – коефіцієнт використання зчпної ваги трактора та висота прикладання сили тяги на гаку, відповідно.

Радіальні навантаги на шини і максимальний тиск на ґрунт доцільно визначати для руху трактора без сили тяги на гаку ($\varphi_{кр}=0$), з середньою експлуатаційною силою тяги на гаку ($\varphi_{кр} \approx 0,24$) та гранично максимальною силою тяги на гаку ($\varphi_{кр} \approx 0,44$). Вочевидь, що в якості підсумкового значення максимального тиску на ґрунт обирається максимальне значення з усіх розрахованих варіантів. Розрахунки дали змогу отримати функцію розподілу ймовірності максимального тиску на ґрунт вибірки з понад 600 сучасних колісних тракторів закордонного виробництва. Разом з цим, в роботах [7, 8] була отримана функція розподілу ймовірності виконання агроекологічних вимог за територією України, залежно від нормативної величини допустимого тиску на ґрунт, яка згідно з ДСТУ [2] відповідає двократному проходу по полю в слідах рушія, тобто проходу коліс переднього і заднього мостів. Суміщені функції розподілу ймовірності максимального тиску на ґрунт вибірки сучасних колісних тракторів (F_T) та розподілу ймовірності виконання агроекологічних вимог за територією України (F_p) наведені на рис. 1.а. Отримані дані дали змогу побудувати залежність ймовірності виконання агроекологічних вимог (p_q) на території України від частки сучасних колісних тракторів (λ_T) з відповідним максимальним тиском на ґрунт (q_{max}) (рис. 1.б).

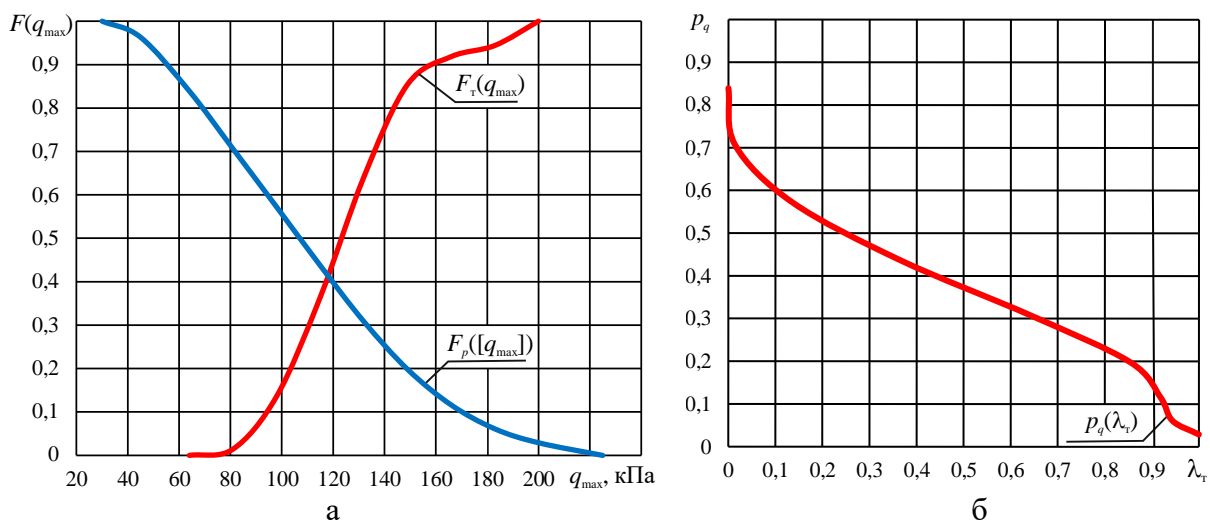


Рис. 1 – Оціночні показники дії на ґрунт сучасних колісних тракторів:

а – функції розподілу ймовірності максимального тиску на ґрунт вибірки сучасних колісних тракторів (F_T) та розподілу ймовірності виконання агроекологічних вимог за територією України (F_p); б – залежність ймовірності виконання агроекологічних вимог (p_q) на території України від частки сучасних колісних тракторів (λ_T) з відповідним максимальним тиском на ґрунт (q_{max})

Аналізуючи залежність (рис. 1.б), можна відзначити, що тільки 10% тракторів виконують

агроекологічні вимоги з ймовірністю 60% (на 60% території України), 25 % тракторів на 50% території, 50 % тракторів на 37% території, 75 % тракторів на 25% території і, нарешті, всі трактори на 3% території.

З огляду на такий стан екологічної безпеки колісних рушіїв сільськогосподарських тракторів постає питання щодо його покращення. Для подальшого аналізу формування максимального тиску на ґрунт колісних рушіїв в якості вихідних величин були обрані наступні параметри. По-перше, це статичний розподіл ваги трактора (m_1), а, по-друге, величина різниці індексів RCI (rolling circumference index, довжина окружності кочення) тракторних шин (ΔRCI).

Аналіз показав, що всі трактори MFWD (mechanical front wheel drive) класичної компоновки 4К4а підрозділяються для дві групи. Перша група – це трактори загального або універсально-просапного призначення, що мають $\Delta RCI = 4 \dots 6$ (рис. 2.а). Друга група – трактори спеціального (утилітарного) призначення з $\Delta RCI = 7 \dots 9$ для обробки садів, виноградників та інших робіт, де вимагається висока маневреність та висока вантажопідйомність задніх шин (рис. 2.б).

Найбільш поширеним для тракторів закордонного виробництва з $\Delta RCI = 4 \dots 6$ є коефіцієнт розподілу ваги $m_1=0,4$ (93 трактори) та $m_1=0,44$ (99 тракторів). Спеціальні (утилітарні) трактори найчастіше роблять з коефіцієнтом розподілу ваги $m_1=0,44 \dots 0,46$. В цій групі також, навіть, є 21 модель з $m_1=0,48$ (рис. 2.б).

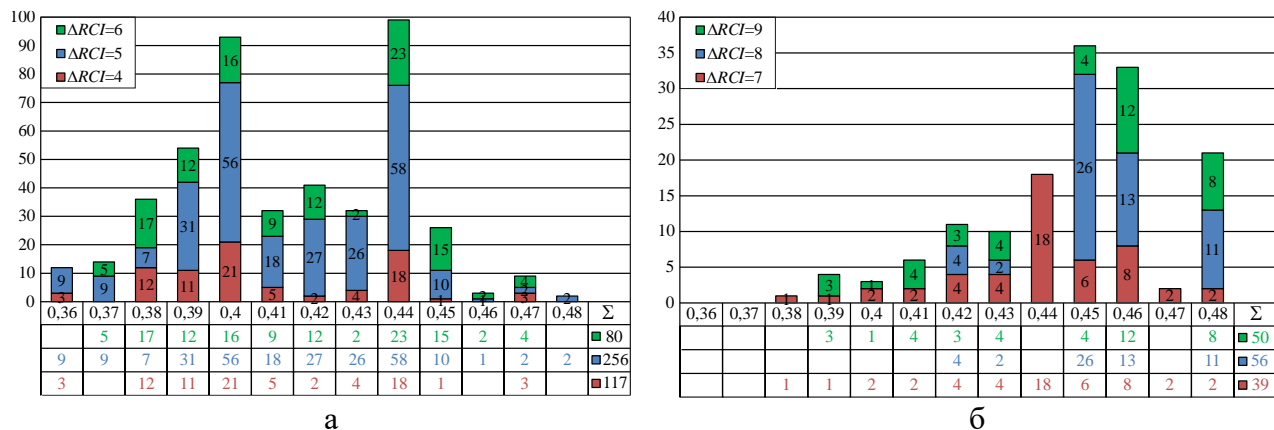


Рис. 2 – Дані щодо коефіцієнту m_1 розподілу ваги тракторів 4К4а (MFWD) по групам з відповідною різницею ΔRCI індексів довжини окружності кочення шин:

- а – трактори загального та універсально-просапного призначення з $\Delta RCI = 4 \dots 6$;
 б – трактори спеціального (утилітарного) призначення з $\Delta RCI = 7 \dots 9$

Доволі цікавим є дані щодо коефіцієнту розподілу ваги m_1 , різниці ΔRCI та середнього значення максимального тиску на ґрунт $q_{\max, \text{ср}}$ тракторів провідних світових виробників (табл. 1), які дають змогу узагальнити технічний рівень сучасних тракторів на ринку.

Оскільки радіальні навантаги на шини (2) змінюються залежно від тягового зусилля на гаку, постає питання вибору оптимального положення центру ваги трактора та ефективності його динамічного корегування в процесі тягових операцій. Під оптимальним мається на увазі таке положення центру ваги трактора, яке забезпечує мінімально можливий максимальний тиск на ґрунт при даній вазі трактора. Дані провідних світових виробників (табл. 1) свідчать, що коефіцієнт розподілу ваги m_1 сучасних колісних сільськогосподарських тракторів 4К4а (MFWD) становить 0,36-0,48.

Мінімальне значення максимального тиску на ґрунт шин трактора можливо реалізувати за умови рівності максимального (середнього) тиску на ґрунт шин переднього та заднього вездучих мостів:

$$\frac{G_{k1}}{F_{k1}} = \frac{G_{k2}}{F_{k2}}, \quad (3)$$

де F_{k1} , F_{k2} – контурні площі плями контакту шин коліс переднього та заднього мостів.

Таблиця 1 – Коефіцієнт розподілу ваги m_1 та різниця ΔRCI тракторів провідних виробників

Виробник	Кількість моделей	ΔRCI								m_1	m_{1cp}	$q_{max,cp}$, кПа
		0	3	4	5	6	7	8	9			
Steyr	23			3	13	7				0,37-0,45	0,40	99
Kubota	15			1		10		4		0,40-0,45	0,43	102
Zetor	14				3	11				0,39-0,45	0,42	109
Lindner	2				2					0,38	0,38	111
New Holland	79	7*		8	37	9	3	8	7	0,37-0,46	0,41	119
John Deere	55	5*		4	22	19	5			0,36-0,46	0,43	121
Case IH	57	4*		5	30	4	3	8	3	0,34-0,46	0,42	124
Massey Ferguson	66			1	38	15	4		8	0,38-0,45	0,42	125
Valtra	48			1	29	18				0,38-0,47	0,40	126
Fendt	38			6	22	5	4	1		0,44	0,44	128
Deutz-Fahr	70			25	15	6	7	13	4	0,37-0,48	0,43	129
Claas	51	6*		8	26	3	8			0,40-0,48	0,44	131
Lamborghini	57			12	17	4	8	11	5	0,36-0,48	0,43	132
Same	39			6	2	6	8	11	6	0,39-0,48	0,45	133
JCB	5	3	2							0,48-0,53	0,51	152

* – дані цих тракторів не брались до уваги для визначення показників m_1 , m_{1cp} та $q_{max,cp}$.

З огляду на прийняті раніше допущення, рівність (3) є коректною. Враховуючи (2), оптимальне значення коефіцієнту розподілу ваги трактора в статичному положенні:

$$m_{1opt} = \frac{F_{k1}}{F_{k1} + F_{k2}} + \frac{\varphi_{кр} \cdot h_{кр}}{L} = m_{1q} + \frac{\varphi_{кр} \cdot h_{кр}}{L}, \quad (3)$$

де m_{1q} – значення розподілу ваги, що забезпечує рівний максимальний тиск на ґрунт.

Тут слід відзначити, що реально однаковий максимальний тиск на ґрунт забезпечується тільки при конкретному значенні сили тяги на гаку ($\varphi_{кр} = const$):

$$m_{1q} = \frac{F_{k1}}{F_{k1} + F_{k2}} = m_{1opt} - \frac{\varphi_{кр} \cdot h_{кр}}{L}, \quad (4)$$

Тому оптимальне положення центру ваги m_{1opt} повинно бути більшим за m_{1q} та визначатися для конкретної сили тяги на гаку. Ідеальним буде варіант реалізації керованого положення центру ваги трактора з розрахунку, що, незалежно від сили тяги на гаку, розподіл ваги завжди буде m_{1q} . Прототипом таких систем може бути Fendt Varipull.

Для аналізу перспектив впровадження систем, що забезпечують оптимальний розподіл ваги у всьому тяговому діапазоні трактора, були розраховані значення максимального тиску тракторів з тієї ж вибірки, що й на рис. 1. Була отримана нова функція розподілу ймовірностей максимального тиску на ґрунт (F_{lim}) вибірки сучасних колісних тракторів при забезпеченні оптимального розподілу ваги при тягових операціях, що порівнювалась з функцією розподілу ймовірностей максимального тиску на ґрунт (F_T) вибірки колісних тракторів при постійному конструктивному положенні центру ваги (рис. 3.а). По суті, функція (F_{lim}) є граничною для сучасних колісних тракторів і показує потенційні можливості екологічності наявних рушіїв при відповідному конструктивному виконанні та забезпеченні оптимального розподілу ваги при реалізації тягових операцій. Подальшим покращенням показників максимального тиску на ґрунт може бути перехід на інноваційні шини підвищеної еластичності, застосування здвоєних чи зтросєних шин або змінних гусеничних рушіїв. Тобто, функцією (F_{lim}) обмежуються можливості наявних колісних ходових систем сучасних тракторів з одинарними шинами щодо їх впливу на ґрунт.

Порівняння отриманих даних показує, що підтримання постійного оптимального розподілу ваги трактора m_{1q} дає змогу знизити максимальний тиск на ґрунт на величину 8...40 кПа (рис. 3.а). Покращення проявляється в зоні p_{q+} (рис. 3.б) у вигляді збільшення частки

тракторів, що виконують агроекологічні вимоги на території України з відповідною ймовірністю. Або в іншій інтерпретації підвищується ймовірність виконання агроекологічних вимог на території України ($p_{q\text{lim}+}$) при впровадженні регулювання оптимального розподілу ваги трактора при тягових операціях.

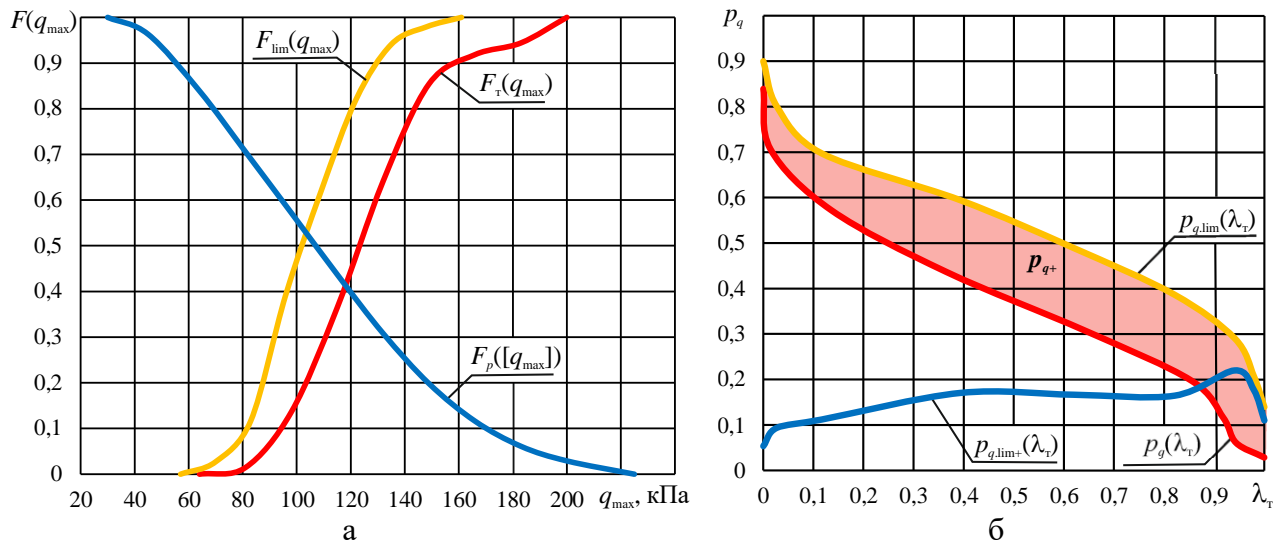


Рис. 3 – Оціночні показники дії на ґрунт сучасних колісних тракторів та перспективи їх гранично можливого покращення:

а – функції розподілу ймовірностей максимального тиску на ґрунт вибірки сучасних колісних тракторів при відсутності (F_T) та наявності (F_{lim}) забезпечення оптимального розподілу ваги при тягових операціях, функція розподілу ймовірності виконання агроекологічних вимог за територією України (F_p); б – залежність ймовірності виконання агроекологічних вимог на території України вибірки сучасних колісних тракторів при відсутності (p_q) та наявності ($p_{q\text{lim}}$) забезпечення оптимального розподілу ваги при тягових операціях від частки тракторів (λ_T) з відповідним максимальним тиском на ґрунт (q_{max}), підвищення ймовірності виконання агроекологічних вимог на території України ($p_{q\text{lim}+}$) при впровадженні регулювання оптимального розподілу ваги трактора при тягових операціях

В середньому розрахункове зростання ймовірності $p_{q\text{lim}+}$ становить 0,139. (~14%). Таким чином, підтримання постійним оптимального розподілу ваги трактора m_{1q} дає змогу наявним конструкціям тракторів та їх ходовим системам експлуатуватися додатково на 14% території України без порушення агроекологічних вимог щодо максимального тиску на ґрунт.

Висновки. Трактори загального та універсально-просапного призначення з $\Delta RCI = 4 \dots 6$ мають найбільш поширений коефіцієнт розподілу ваги 0,40 або 0,44. У тракторів спеціального (утилітарного) призначення з $\Delta RCI = 7 \dots 9$ найбільш поширений коефіцієнт розподілу ваги 0,45...0,46. Найкращі показники максимального тиску на ґрунт колісний трактор має при оптимальному розподілу ваги m_{1q} , який визначається співвідношенням площ контакту передніх та задніх шин з ґрунтом. Сучасні колісні трактори мають максимальний тиск на ґрунт в межах 60...200 кПа. При застосуванні систем керування розподілом зчпної ваги трактора та підтриманні його оптимального значення m_{1q} максимальний тиск на ґрунт можна знизити на величину 8...40 кПа, що забезпечує зростання ймовірності виконання агроекологічних вимог на території України в середньому на 0,139. Підтримання постійним оптимального розподілу ваги трактора m_{1q} дає змогу наявним конструкціям сучасних колісних тракторів та їх ходових систем експлуатуватися додатково на 14% території України без порушення агроекологічних вимог щодо максимального тиску на ґрунт.

Список літератури:

1. В. В. Медведев. Физические свойства и обработка почв в Украине. – Харьков. Изд-во. "Городская типография", 2013. –224 с.
2. ДСТУ 4521:2006 Техніка сільськогосподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунт. Київ, 2007. 8 с.
3. Agrarheute [Electronic resource] // Agrarheute. – Access mode: www.dlz-agrarmagazin.de. – Date of the application: 15.11.2022.
4. Медведев В. В. Екологізація в конструюванні та експлуатації землеробських машинно-тракторних агрегатів / В. В. Медведев // Вісник аграрної науки. – 2012. – № 10. – С. 39–45.
5. Надикто В. Т. Проблема баластування колісних тракторів / Надикто В. Т. // Техніка і технології АПК. – 2013. – № 2. – С. 7–9.
6. Потенційні можливості баластування колісного трактора за умовою екофільності шини в залежності від тиску повітря в ній / В. П. Кувачов, В. Б. Мітков, А. М. Аюбов, О. В. Шульга // Науковий вісник ТДАТУ. – 2016. – Вип. 6, т. 3. – С. 26–32.
7. Наукове обґрунтування підвищення ефективності колісних рушіїв сільськогосподарських тракторів на енергоємних технологічних операціях обробітку ґрунту: дис. ... д-р техн. наук: 05.22.02 / Ребров Олексій Юрійович. – Харків, 2021. – 423 с.
8. Вибір параметрів шин сільськогосподарських тракторів: монографія / О.Ю. Ребров. – Харків. Видавець: О.А. Мірошніченко, 2021. – 304 с. іл.
9. ДСТУ 4428:2005 Техніка сільськогосподарська мобільна. Методи визначення дії ходових систем на ґрунт. Київ, 2006. 8 с.

References (transliterated):

1. V. V. Medvedev. Fyzycheskye svoistva y obrabotka pochv v Ukrainy. – Kharkov. Yzd-vo. "Horodskaia typhrafyia", 2013. –224 s.
2. DSTU 4521:2006 Tekhnika silskohospodarska mobilna. Normy dii khodovykh system na grunt. Kyiv, 2007. 8 s.
3. Agrarheute [Electronic resource] // Agrarheute. – Access mode: www.dlz-agrarmagazin.de. – Date of the application: 15.11.2022.
4. Medvediev V. V. Ekolohizatsiia v konstruiuvanni ta ekspluatatsii zemlerobskykh mashynno-traktornykh ahreativ / V. V. Medvediev // Visnyk ahrarnoi nauky. – 2012. – № 10. – S. 39–45.
5. Nadykto V. T. Problema balastuvannia kolisnykh traktoriv / Nadykto V. T. // Tekhnika i tekhnolohii APK. – 2013. – № 2. – S. 7–9.
6. Potentsiini mozhlyvosti balastuvannia kolisnogo traktora za umovoiu ekofilnosti shyny v zalezhnosti vid tysku povitria v nei / V. P. Kuvachov, V. B. Mitkov, A. M. Aiubov, O. V. Shulha // Naukovyi visnyk TDAU. – 2016. – Vyp. 6, t. 3. – S. 26–32.
7. Naukove obgruntuvannia pidvyshchennia efektyvnosti kolisnykh rushiiv silskohospodarskykh traktoriv na enerhoiemnykh tekhnolohichnykh operatsiiaakh obrobitku ґрунту [Scientific substantiation of increasing of wheeled agricultural tractor's propulsors efficiency on energy intensive technological operations of soil tillage. – Manuscript]: dys. ... d-r tekhn. nauk: 05.22.02 / Rebrov Oleksii Yuriiovych. – Kharkiv, 2021. – 423 s.
8. Vybir parametriv shyn silskohospodarskykh traktoriv: monohrafiia [Choice of parameters of agricultural tractors tires: monograph] / O.Yu. Rebrov. – Kharkiv. Vydavets: O.A. Miroshnychenko, 2021. – 304 s. il.
9. DSTU 4428:2005 Tekhnika silskohospodarska mobilna. Metody vyznachennia dii khodovykh system na grunt. Kyiv, 2006. 8 s.

Надійшла (received) 30.11.2022

Відомості про авторів / About the Authors

Ребров Олексій Юрійович (Rebrov Oleksii) – доктор технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри автомобіле- і тракторобудування, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1312-9992>; e-mail: alexrebrov0108@gmail.com

Кальченко Борис Іванович (Kalchenko Boris) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри автомобіле- і тракторобудування, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3827-1693>; e-mail: kabor78@ukr.net

Якунін Максим Євгенович (Yakunin Maksym) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри автомобіле- і тракторобудування, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4918-6558>; e-mail: yakunin_maksim92@ukr.net

Макаров Володимир Андрійович (Makarov Volodymyr) – доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, м. Вінниця, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7012-4952>; e-mail: makarov@vntu.edu.ua

Бучко Ігор Георгійович (Buchko Ihor) – головний конструктор по обладнанню для посіву, живленню та захисту рослин, ТОВ «ЛЮЗІВСЬКІ МАШИНИ ІННОВАЦІЙНИЙ ЦЕНТР», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4198-298X>; e-mail: buchko.phd@gmail.com

Реброва Олена Михайлівна (Rebrova Olena) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри матеріалознавства, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2315-7003>; e-mail: rebrovaem0512@gmail.com

Артюшенко Олександр Вікторович (Artiushenko Oleksandr) – Військово-юридичний інститут Національного юридичного університету імені Ярослава Мудрого, підполковник, заступник начальника кафедри загальновійськових дисциплін, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2831-8518>; e-mail: artyushenko_alex@ukr.net

Леоненко Олександр Миколайович (Leonenko Alexander) - кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, доцент кафедри аеродромно-технічного забезпечення авіації інженерно-авіаційного факультету, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1208-796X>; e-mail: alexander.leonenko73@gmail.com