



Механізація, електрифікація

УДК 624.138:631.3

© 2022

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПОДВОЄНИХ АБО ПОТРОЄНИХ ШИН КОЛІСНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ

*В.В. Адамчук¹, В.М. Булгаков², В.Т. Надикто³,
В.М. Кюрчев⁴, В.Ф. Камінський⁵*

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

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

⁵доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН

*¹Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН
вул. Вокзальна, 11, смт Глеваха Фастівського р-ну Київської обл., 08631, Україна*

*²Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, 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: ¹vadamchuk@gmail.com, ²vbulgakov@meta.ua, ³nadyktonvt@meta.ua,
⁴office@tsatu.edu.ua, ⁵iznaan@ukr.net*

*ORCID: ¹0000-0003-0358-7946, ²0000-0003-3445-3721, ³0000-0002-1770-8297,
⁴0000-0003-4377-1924, ⁵0000-0002-9668-6742*

Надійшла 21.06.2022

Мета. Визначити і обґрунтувати умови, за дотримання яких використання подвоєних/потроєних рушіїв колісних енергетичних засобів замість одинарних буде доцільним. **Методи.** Теоретичні дослідження виконано на підставі використання основ теорії тракторів і сільськогосподарських машин. Об'єкт досліджень — універсально-просапний трактор МТЗ-1221, передній міст якого вивчали у варіантах з одинарними, подвоєними і потроєними рушіями. Ущільнення ґрунту в зонах проходження цих рушіїв приймали за аргумент функції урожайності сільськогосподарської культури (ячменю ярого). **Результати.** Розрахунками встановлено, що інтенсивність зменшення глибини колії, ущільнення ґрунту і підвищення урожайності вирощуваної культури (ячменю ярого) вища за застосування подвоєного рушія порівняно з одинарним і нижча у разі заміни подвоєного колісного рушія потроєним. Завдяки застосуванню потроєного колісного рушія замість одинарного глибина створюваної колії зменшується. **Висновки.** Отримано нову аналітичну залежність, яку можна використовувати під час оцінювання доцільності застосування

подвоєних або потроєних рушіїв колісних енергетичних засобів для зменшення їх ущільнювального впливу на ґрунт і відповідного підвищення урожайності вирощуваної сільськогосподарської культури. Оцінюванням застосування різної кількості передніх колісних рушіїв на прикладі трактора МТЗ-1221 установили, що інтенсивність зменшення глибини колії, ущільнення ґрунту і підвищення врожайності вирощуваної культури (ячменю ярого) вища за подвоєного рушія порівняно з одинарним і нижча у разі заміни подвоєного колісного рушія потроєним. Використання потроєного колісного рушія замість одинарного зумовлює в зоні його проходження зменшення глибини створюваної колії щонайменше на 30%, зменшення ущільнення ґрунту на 42% і збільшення урожайності вирощуваної культури у 2,2 раза.

Ключові слова: ущільнення ґрунту, глибина колії, урожайність сільськогосподарської культури.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202208-07>

Навіть за достатньої наявності гумусу та поживних речовин родючість ґрунту може бути істотно знижена, якщо допустити його переущільнення. Вплив цього явища на структуру ґрунтового середовища та урожайність сільськогосподарських культур досліджували багато вчених [1–5].

Одним із технічних заходів, які сприяють збереженню структури ґрунту зменшенням його ущільнення, є подвоєння або навіть потроєння шин колісних мобільних енергетичних засобів. Установлюють більше трьох шин на одній півосі енергетичного засобу лише в окремих (дослідних) технічних засобах. Як свідчить практика, таке конструктивне рішення, крім наведеного вище ефекту, дає змогу знизити питомі витрати пального завдяки зменшенню буксування рушіїв до 14–20% (у відносному вимірі) і підвищенню тягового зусилля трактора до 15–20% [6]. До того ж застосування подвоєних або потроєних пневматичних шин зумовлює кращу плавність руху як енергетичного засобу, так і усього машинно-тракторного агрегату. Водночас із меншим буксуванням це забезпечує такий синергетичний позитивний ефект, як підвищення швидкості робочого руху (а значить і продуктивності роботи) того чи іншого машинно-тракторного агрегату [7–10].

Водночас науковці і практики вважають, що за подвоєння/потроєння шин рушіїв колісних енергетичних засобів можна більше втрачати врожаю сільськогосподарських

культур. Таку думку вони пояснюють тим, що при застосуванні одинарного рушія порівняно з подвоєним (або потроєним) зона ущільнення ґрунту за більшої глибини має удвічі/утричі меншу площу.

Мета досліджень — визначити і обґрунтувати умови, за дотримання яких використання подвоєних/потроєних рушіїв колісних енергетичних засобів замість одинарних буде доцільним.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження виконано на підставі використання основ теорії тракторів і сільськогосподарських машин.

Експериментальні дослідження проводили, використовуючи універсально-просапний трактор МТЗ-1221 із такими характеристиками:

- Потужність двигуна, кВт 95,6
- Експлуатаційна сила ваги, кН 54,6
- Передні рушії 420/70R24
- Ширина переднього рушія, м 0,42
- Сила ваги, яка припадає на передній міст, кН 16,2

Загальний вигляд універсально-просапного колісного трактора класу 3 зі здвоєними пневматичними шинами його ходових коліс наведено на рис. 1.

Фізичним об'єктом дослідження був передній рушії універсально-просапного трактора МТЗ-1221, оскільки у процесі руху він (рушії) першим контактує із недеформованим ґрунтом. Задній рушії трактора переміщується по вже попередньо zdeформованому

переднім рушієм агротехнічному фону, тому його вплив на ущільнення ґрунту є додатковим, а не визначальним.

Результати досліджень та їх обговорення. Ступінь ущільнення ґрунту рушієм ρ певною мірою є корельованим із глибиною створюваної ним колії h . Ця кореляція є прямо пропорційною і полягає в тому, що чим більше значення параметра h , тим більшим є ущільнення ґрунту. Нашими дослідженнями отримано залежність у такому вигляді:

$$h = A \cdot \frac{P_w}{\rho \cdot q} - B \cdot \frac{H}{\rho \cdot q} + C \cdot \frac{N_k \cdot \rho \cdot q}{P_w^2}, \quad (1)$$

де P_w — тиск повітря в шині колісного рушія, Па; H — твердість ґрунту, Па; N_k — вертикальне навантаження на рушій, Н; q — прискорення вільного падіння; $A=0,01$; $B=0,001$; $C=3,7$ — постійні коефіцієнти.

Залежність (1) отримано за зміни її складників у таких діапазонах: $P_w=0,10-0,16$ МПа; $H=0,48-0,90$ МПа; $N_k=8,1-10,1$ кН; $\rho=1,02-1,26$ г·см⁻³. Вологість ґрунту у шарі завглибшки 0–15 см варіювала у межах 20–22%.

Водночас В.В. Гуськов установив залежність, яка пов'язує глибину колії h з іншими параметрами ґрунту і рушія [11]:

$$h = \sqrt[3]{\frac{N_k^2}{k^2 \cdot b^2 \cdot D}}, \quad (2)$$

де k — коефіцієнт об'ємної деформації ґрунту, Н·м⁻³; b, D — ширина і діаметр колісного рушія відповідно, м.

За даними [11], параметр k можна виразити так:

$$k = \frac{H}{\sqrt{b \cdot D}}, \quad (3)$$

де H — показник деформації ґрунту [Н·м⁻²=Па], отриманий під час вдавлення у нього штампа твердоміра (твердість ґрунту).

Підставивши вираз (3) у (2), після перетворень отримаємо:

$$h = \sqrt[3]{\frac{N_k^2}{H^2 \cdot b}}, \quad (4)$$

Порівнявши праві частини рівнянь (1) і (4), отримаємо залежність, яка дає змогу розрахувати ущільнення ґрунту залежно від низки параметрів ґрунтового середовища і колісного рушія, зокрема і від його ширини b . В остаточному вигляді ця залежність є такою:



Рис. 1. Універсально-просапний колісний трактор зі здвоєними шинами

$$X_2 \cdot \rho^2 - X_1 \cdot \rho + X_0 = 0, \quad (5)$$

$$\text{де } X_2 = \frac{C \cdot N_k \cdot q}{P_w^2}, X_1 = \sqrt[3]{\frac{N_k^2}{H^2 \cdot b}}, X_0 = \frac{A \cdot P_w^2 - B \cdot H}{q}.$$

Рішенням рівняння (5) є два дійсних корені, із яких лише один є логічним за своїм числовим значенням. В аналітичному вигляді він є таким:

$$\rho = \frac{X_1 + \sqrt{X_1^2 - 4 \cdot X_2 \cdot X_0}}{2 \cdot X_2}. \quad (6)$$

Оскільки ущільнення ґрунту є досить значним обмежувачем урожайності сільськогосподарської культури, то для подальшого аналізу доречно знати функціональну залежність між ними. За результатами наших 3-річних досліджень за вирощування ячменю ярого в умовах Південного Степу Запорізької обл. (вологість ґрунту в шарі 0–15 см — 22,1–26,4%, щільність — 1,0–1,6 г·см⁻³) таку залежність з коефіцієнтом детермінації $R^2=0,97$ можна описати таким рівнянням:

$$U = A_0 \cdot \rho^2 + B_0 \cdot \rho + C_0, \quad (7)$$

де A_0, B_0 та C_0 — постійні коефіцієнти.

Якщо у залежності (6) за аргумент прийняти ширину колісного рушія b , то можна оцінити вплив цього параметра спочатку на ущільнення ґрунту, а потім, за допомогою залежності (7) і на урожайність сільськогосподарської культури (у цьому випадку — ячменю).

Функцію зменшення урожайності P_k сільськогосподарської культури у зоні проходження

одинарного або подвоєного/потроєного рушія на довжині 1 пог. м поля наведемо в такому вигляді:

$$P_k = (U_o - U_k) \cdot S_k, \quad (8)$$

де U_o — урожайність сільськогосподарської культури на неуцільненому (недеформованому) агрофоні, $ц \cdot га^{-1}$; U_k — урожайність сільськогосподарської культури в зоні проходу одинарного $k=1$, подвоєного $k=2$ і потроєного $k=3$ рушія, $ц \cdot га^{-1}$; S_k — площа ущільненої зони ґрунту на довжині 1 пог. м після проходу одинарного, подвоєного чи потроєного рушія, га.

Величину S_k виразимо так:

$$S_k = b_k \cdot i \cdot 10^4, \quad (9)$$

де b_k — ширина одинарного, подвоєного чи потроєного рушія, м; $i = 1$ м.

Посилаючись на вираз (9), запишемо:

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= b_1 \cdot i \cdot 10^{-4}, \\ S_2 &= 2 \cdot b_1 \cdot i \cdot 10^{-4}, \\ S_3 &= 3 \cdot b_1 \cdot i \cdot 10^{-4}, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

де b_1 — ширина одинарного колісного рушія, м.

Підставивши систему рівнянь (10) у (8), після відповідних перетворень отримаємо умову доцільності застосування подвоєного чи потроєного колісного рушія у такому вигляді:

$$\begin{aligned} (U_o - U_{k-2}) \cdot (k-2) &> (U_o - U_{k-1}) \cdot (k-1) > \\ &> (U_o - U_k) \cdot k > 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Вираз (1) легко трансформувати у такі різновиди умов:

• за застосування потроєного колісного рушія $k=3$:

$$(U_o - U_1) > (U_o - U_2) \cdot 2 > (U_o - U_3) \cdot 3 > 0; \quad (12)$$

• за застосування подвоєного колісного рушія $k=2$:

$$(U_o - U_1) > (U_o - U_2) \cdot 2 > 0; \quad (13)$$

• за застосування одинарного колісного рушія $k=1$:

$$(U_o - U_k) > 0 \quad (14)$$

або

$$U_o > U_k. \quad (15)$$

Вихідні дані, використані для подальших розрахунків, наведено в таблиці. Значення

параметрів H , N_k і P_w вибрано із таких міркувань.

Вихідні дані для розрахунків

Показник	Позначення	Значення
Твердість ґрунту, МПа	H	0,90
Навантаження на колесо, кН	N_k	8,10
Тиск повітря в шині, МПа	P_w	0,10
Коефіцієнти апроксимації:	A	0,01
	B	0,001
	C	3,7
	A_o	-37,463
	B_o	73,611
	C_o	5,5819

Наведена вище залежність (1) є суто емпіричною. Натомість, залежність (4) є виключно теоретичною. Як з'ясувалося, збіг розрахунків за цими залежностями (тобто глибини колії h) можливий за умови певних співвідношень між параметрами H , N_k і P_w .

До того ж відповідне співвідношення параметрів H , N_k і P_w потрібне ще і для забезпечення позитивного (невід'ємного) значення підкореневого виразу залежності (6), яка без цього втрачає свій фізичний сенс.

За даними розрахунків, застосування подвоєння і потроєння рушія трактора зумовлює зменшення глибини створюваної ним колії. За подвоєння рушія параметр h зменшується з 5,8 до 4,6 см, тобто на 20,7% (рис. 2). Подальше застосування потроєного рушія зменшує колію з 4,6 до 4,0 см, тобто тільки на 13%.

Загалом використання потроєного рушія замість одинарного сприяє зменшенню параметра h майже на третину.

Характер зміни функціональної залежності $\rho = f(b)$ якісно подібний динаміці зміни проаналізованого вище процесу $h = f(b)$. Застосування подвоєного колісного рушія замість одинарного сприяє зменшенню щільності ґрунту у зоні колії з 1,76 до 1,29 $г \cdot см^{-3}$, або на 26,7% (рис. 3).

Використання потроєного рушія зменшує ущільнення ґрунту до 1,02 $г \cdot см^{-3}$, що на 20,9% менше порівняно з подвоєним і на 42% — порівняно з одинарним колісними рушіями.

Щодо врожайності ячменю у зоні колії, то динаміка її зміни така. Під час застосування

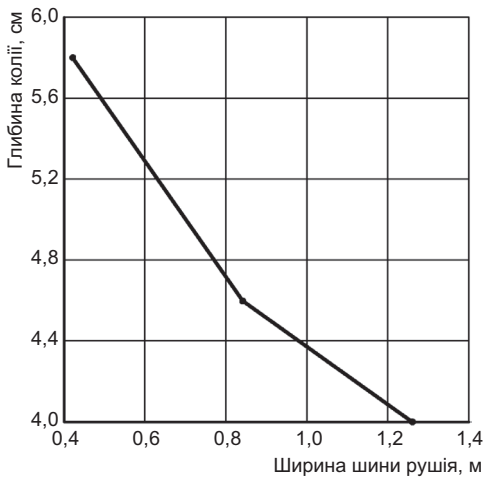


Рис. 2. Залежність глибини колії рушія від його ширини

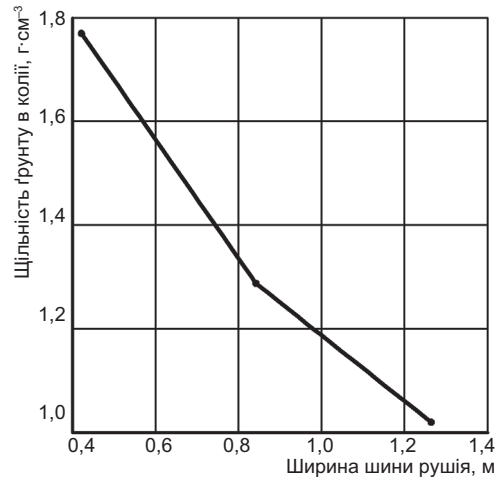


Рис. 3. Залежність щільності ґрунту в зоні впливу колісного рушія від його ширини

подвоєного рушія замість одинарного цей показник зростає з 18,6 до 38,2 ц·га⁻¹, або практично удвічі (рис. 4). Подальше зростання врожайності ячменю, зумовлене використанням потроєного рушія замість подвоєного, менш інтенсивне: з 38,2 до 41,5 ц·га⁻¹, що становить лише 8,6%.

Загалом застосування потроєного колісного рушія замість одинарного зумовлює приріст урожайності вирощуваної сільськогосподарської культури в зоні колії у 2,2 раза.

Насамкінець проаналізуємо як виконується до того ж умова (11). Для цього апіорі вважатимемо, що щільність недеформованого рушіями ґрунту становить 1,0 г·см⁻³. Як свідчить практика — це цілком реально.

Згідно з виразом (7) урожайність сільськогосподарської культури (у даному разі — ячменю) становитиме майже 42 ц·га⁻¹. З урахуванням цього умова (11) матиме такий вигляд:

$$(42,0 - 18,6) = 23,4 > (42,0 - 38,2) \cdot 2 = 7,6 > (42,0 - 41,5) \cdot 3 = 1,5 > 0.$$

Як бачимо, у даному разі вона повністю виконується. А це, беззаперечно, свідчить про те, що за умови застосування подвоєних або навіть потроєних колісних рушіїв замість одинарних можна істотно зменшити їхній шкідливий ущільнювальний вплив на ґрунт із забезпеченням зрештою певного

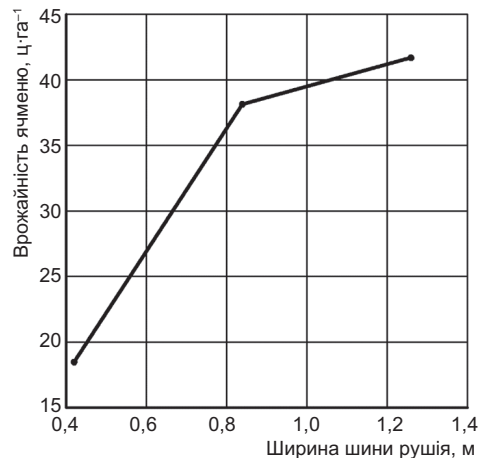


Рис. 4. Залежність урожайності ячменю в зоні колії рушія від його ширини

зростання урожайності вирощуваної сільськогосподарської культури в зоні проходу коліс енергетичних засобів.

Компромісним варіантом до подвоєння/потроєння колісних рушіїв є застосування абочних шин, які водночас зі значною шириною мають досить низький (0,04–0,06 МПа) тиск повітря в них. У тракторів інтегральної компоновки із номінальним тяговим зусиллям не менше 30 кН за їх застосування на ранньовесняних роботах принаймні подвоєння коліс переднього і заднього мостів обов'язкове.

Висновки

Отримано нову аналітичну залежність, яку можна використовувати для оцінювання доцільності застосування подвоєних або потроєних рушіїв колісних енергетичних засобів у напрямі зменшення їх ущільнювального впливу на ґрунтове середовище із відповідним підвищенням урожайності вирощуваної сільськогосподарської культури.

Оцінюванням застосування різної кількості передніх колісних рушіїв на прикладі трактора МТЗ-1221 встановлено:

- інтенсивність зменшення глибини колії, ущільнення ґрунту і підвищення урожайності вирощуваної культури (ячменю ярого) вища за застосування подвоєного рушія порівняно з одинарним і нижча у разі заміни подвоєного колісного рушія потроєним;
- завдяки застосуванню потроєного колісного рушія замість одинарного зменшується глибина створюваної колії в зоні його проходу щонайменше на 30%, ущільнення ґрунту — на 42%, а врожайність вирощуваної культури зростає у 2,2 рази.

Adamchuk V.¹, Bulhakov V.², Nadykto V.³, Kiurchev V.⁴, Kaminskyi V.⁵

¹Institute of Mechanics and Automation of Agricultural Production of NAAS, 11 Vokzalna Str., vil. Glevakha, Fastiv district, Kyiv oblast, Ukraine, 08631; ²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine, 03041; ³⁴Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University, 18 B. Khmelnytsky Ave., Melitopol, Zaporizhzhia oblast, Ukraine, 72310; ⁵NSC of the Institute of Agriculture of NAAS, 2-b, Mashynobudivnykiv Str., vil. Chabany, Kyiv-Sviatoshyn district, Kyiv oblast, 08162, Ukraine; e-mail: ¹vvadamchuk@gmail.com, ²vbulgakov@meta.ua, ³volodymyr.nadykto@tsatu.edu.ua, ⁴office@tsatu.edu.ua, ⁵iznaan@ukr.net; ORCID: ¹0000-0003-0358-7946, ²0000-0003-3445-3721, ³0000-0002-1770-8297, ⁴0000-0003-4377-1924, ⁵0000-0002-9668-6742

Study of the feasibility of using doubled or tripled tires of wheeled power vehicles

Goal. To determine and justify the conditions under which the use of double/triple tires of wheeled energy vehicles instead of single ones will be appropriate. **Methods.** Theoretical studies were carried out using the basics of the theory of tractors and agricultural machines. The object of research was the MTZ1221 multipurpose-weed tractor, the front axle of which was studied in variants with single, double, and triple tires. Soil compaction in the passage

zones of these tires was taken as an argument for the yield function of an agricultural crop (spring barley). **Results.** Calculations established that the intensity of reducing the depth of the wheel track, compacting the soil, and increasing the yield of the cultivated crop (spring barley) was higher when using a double tire compared to a single one, and lower in the case of replacing a double tire with a triple one. Due to the use of a triple tire instead of a single one, the depth of the created track was reduced. **Conclusions.** A new analytical dependence was obtained, which could be used when evaluating the feasibility of using doubled or tripled tires of wheeled energy vehicles to reduce their compacting effect on the soil and correspondingly increase the yield of cultivated crops. By evaluating the use of different numbers of front tires on the example of the MTZ1221 tractor, it was established that the intensity of reducing the depth of the wheel track, compacting the soil, and increasing the yield of the cultivated crop (spring barley) was higher for a double tire compared to a single tire, and lower in the case of replacing a double tire with a triple one. The use of a three-wheel tire instead of a single one led to a decrease in the depth of the created track by at least 30%, a decrease in soil compaction by 42%, and an increase in the yield of the cultivated crop by 2.2 times.

Key words: soil compaction, wheel track depth, crop yield.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202208-07>

Бібліографія

1. Медведєв В.В. Нормативи утворення і збереження структури ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 3. С. 9–13.

2. Медведєв В.В., Лактіонова Т.Н., Лінді-

на Т.Є. Оцінка втрат урожаю сільськогосподарських культур в Україні від переущільнення ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2002. № 3. С. 53–59.

3. *Медведев В.В.* Физическая деградация черноземов. Диагностика. Причины. Следствия. Предупреждение. Харьков: «Городская типография», 2013. 324 с.

4. *Tijink F.G.J. van den Linden.* Engineering approaches to prevent subsoil compaction in cropping system with sugar beet. *Advances in Geocology*, 2001. V. 32. P. 442–452.

5. *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.

6. *Щитов С.В.* Зависимость тягово-сцепных свойств трактора от площади контакта колеса с почвой. *Техника в сельском хозяйстве*. 2002. № 5. С. 23–28.

7. *Farrakh Nawaz M., Bourrié G., Trolard F.* Soil compaction impact and modelling. A review.

Agronomy for Sustainable Development. 2013. V. 33. P. 291–309.

8. *Bulgakov V., Aboltins A., Beloev H. et al.* Maximum Admissible Slip of Tractor Wheels Without Disturbing the Soil Structure. *Applied Sciences*. 2021. V. 11. 6893 p. doi: 10.3390/app11156893

9. *Надикто В.Т., Улексін В.О.* Колійна та мостова системи землеробства. Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2008. 270 с.

10. *Bulgakov V., Pascuzzi S., Nadykto V. et al.* Experimental study of the implement-and-tractor aggregate used for laying tracks of permanent traffic lanes inside controlled traffic farming systems. *Soil & Tillage Research*. 2021. V. 208. 104895 p. doi: 10.1016/j.still.2020.104895

11. *Гуськов В.В., Велев Н.Н., Атаманов Б.Е.* и др. Тракторы: Теория. Москва: Машиностроение, 1988. 376 с.