



Механізація, електрифікація

УДК 631.37

© 2022

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ НОВОГО ПОКАЗНИКА ІНТЕНСИВНОСТІ ВПЛИВУ ХОДОВИХ СИСТЕМ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ НА ҐРУНТ

В.В. Адамчук¹, В.Ф. Камінський², В.М. Булгаков³, В.Т. Надикто⁴

^{1,3}доктори технічних наук, професори, академіки НААН

²доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН

⁴доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НААН

¹Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України

вул. Вокзальна, 11, смт Глеваха Фастівського р-ну Київської обл., 08631, Україна

²Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН»

вул. Машинобудівників 2Б, смт Чабани Фастівського р-ну
Київської обл., 08162, Україна

³Національний університет біоресурсів і природокористування України

вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

⁴Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного

просп. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь Запорізької обл., 72312, Україна

e-mail: ¹vvadamchuk@gmail.com, ²iznaan@ukr.net,

³vbulgakov@meta.ua, ⁴volodymyr.nadykto@tsatu.edu.ua

ORCID: ¹0000-0003-0358-7946, ²0000-0002-9668-6742,

³0000-0003-3445-3721, ⁴0000-0002-1770-8297

Надійшла 01.02.2022

Мета. Теоретичне дослідження та розроблення нового показника для регламентування величини інтенсивності впливу ходових систем машинно-тракторних агрегатів на ґрунт на такому рівні, який би практично унеможлиблював погіршення його стану. **Методи.** Аналіз номенклатури найрозповсюдженіших машинно-тракторних агрегатів щодо встановлення взаємозв'язку їх конструктивних параметрів із енергією/роботою, яка витрачається на їх переміщення по полю у процесі вирощування сільськогосподарських культур, виконаний відомими методами вимірювань і статистичною обробкою результатів на ПК. Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях теорії експлуатації сільськогосподарської техніки. **Результати.** Встановлено, що за ширини захвату агрегату 4 м збільшення довжини гону поля з 600 до 1400 м призводить до зростання значення оцінюваного показника тільки на 1,3%. Якщо ширина захвату машинно-тракторних

агрегатів дорівнює 24 м, зростання цього показника сягає позначки 5,9%. Подібні тенденції спостерігаються і за зміни ширини поля. За двократного переміщення машинно-тракторних агрегатів по полю у процесі вирощування сільськогосподарських культур дійсне значення оцінюваного показника не перевищуватиме максимально допустиме, коли ширина захвату агрегату буде не меншою 5 м. Якщо технологія вирощування тієї чи іншої сільськогосподарської культури передбачає трикратне або чотирикратне проходження машинно-тракторних агрегатів по полю, то їх робоча ширина захвату має становити не менше 9 і 14 м відповідно. **Висновки.** Проведені теоретичні дослідження дали змогу отримати новий показник інтенсивності впливу ходових систем машинно-тракторних агрегатів на ґрунт, який регламентує їх переміщення по полю без погіршення стану ґрунтового середовища. Встановлено, що у межах однієї площі поля за однієї і тієї ж ширини захвату машинно-тракторного агрегату значення показника інтенсивності впливу його ходової системи на ґрунт не перевищує максимально допустиме ($0,75 \text{ ГДж} \cdot \text{га}^{-1}$) і практично індиферентне щодо зміни довжини гону поля і його ширини. За умови більше ніж одного проходження машинно-тракторним агрегатом по полю, їх конструктивна ширина захвату повинна збільшуватися за тією кількісною закономірністю, яка конкретно впливає із виразу (10). На підставі проведених на ПК числових розрахунків встановлено чіткі межі максимально допустимої кількості обробітків поля протягом року та ширини захвату машинно-тракторного агрегату для гарантованого забезпечення існуючих безпечних вимог інтенсивності впливу ходових систем на ґрунт. Так, за двократного переміщення машинно-тракторного агрегату по полю, його мінімальна ширина захвату має бути не меншою 5 м, за трикратного переміщення — 9 м і за можливого чотирикратного переміщення — 14 м.

Ключові слова: ущільнення ґрунту, маса агрегату, ширина захвату, енергія.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202204-07>

Однією із ключових проблем сьогодення є збереження родючості ґрунтів сільськогосподарського призначення [1]. Над її ефективним вирішенням наполегливо працює як вітчизняна [2–5], так і зарубіжна [6–11] наукова спільнота.

Із відомих нині чинників, які зумовлюють зниження родючості ґрунтів, найнебезпечнішим є техногенний. Тобто повністю обумовлений сільськогосподарською діяльністю власників чи орендарів, у безпосередньому користуванні яких перебувають земельні ресурси.

Для вирішення цієї проблеми науковцями визначено, що для суттєвого зменшення шкодочинної дії цього впливу у реальних умовах експлуатації сільськогосподарської техніки слід забезпечувати таке її деформувально-ущільнювальне навантаження

на ґрунтове середовище, яке не перевищуватиме певної допустимої величини [4]. На практиці такі обмежувальні умови чітко відображено у ДСТУ 4521:2006 «Техніка сільськогосподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунт».

Проте слід зазначити, що незважаючи на беззаперечну значущість цього державного стандарту, достатнього повноцінного стримувально-обмежувального впливу він так і не набув. Низка причин такого складного становища і пропозиції щодо його поліпшення викладено у роботі [1].

З огляду на це виникає потреба розроблення таких показників оцінювання інтенсивності впливу ходових систем машинно-тракторних агрегатів на ґрунт, упровадження яких створюватиме умови для ширшого і повноформатного застосування

обмежувальних норм зазначеного вище документа — ДСТУ 4521:2006.

На думку В.В. Медведєва одним із таких показників може бути енергетичний [5]. Згідно з ним доцільно регламентувати рівень сумарного навантаження на ґрунт сільськогосподарської техніки, виражений у тонно-кілометрах на 1 га ($\text{т} \cdot \text{км} \cdot \text{га}^{-1}$) і визначений через добуток маси машинно-тракторного агрегату (т) на той шлях (км), який він проходить по полю за рік у процесі вирощування тих чи інших сільськогосподарських культур. Водночас В.В. Медведєв пропонує значення цього показника на рівні $50\text{--}100 \text{ т} \cdot \text{км} \cdot \text{га}^{-1}$ за рік вважати таким, що характеризує допустимий вплив сільськогосподарської техніки на ґрунт. Натомість, значення показника, яке перебільшує $100 \text{ т} \cdot \text{км} \cdot \text{га}^{-1}$ за рік, характеризує недопустимий рівень техногенного впливу на ґрунтове середовище.

Водночас, незважаючи на потенційну ефективність розглянутого вище показника інтенсивності впливу ходових систем машинно-тракторних агрегатів на ґрунт, конкретного алгоритму його практичного застосування поки що не існує. Одна з причин такого стану пов'язана з шириною захвату того чи іншого машинно-тракторного агрегату. Проблематика цього питання полягає у тому, що з одного боку збільшення такого параметра призводить до бажаного зменшення кількості проходів машинно-тракторних агрегатів по полю, а з другого — до небажаного зростання його експлуатаційної маси. Останній фактор, як відомо, призводить до підвищення ущільнювального впливу техніки на агротехнічний фон. Усе це є причиною відсутності відповідної наукової інформації щодо функціональних закономірностей зв'язку конструктивних параметрів машинно-тракторних агрегатів з енергетичними витратами на їх переміщення по полю у процесі вирощування сільськогосподарських культур.

Мета — теоретичне дослідження та розроблення нового показника для регламентування величини інтенсивності впливу ходових систем машинно-тракторних агрегатів на ґрунт на такому рівні, який би практично унеможливив погіршення його стану.

Методи досліджень — аналіз номенклатури найрозповсюдженіших машинно-

тракторних агрегатів щодо виявлення взаємозв'язку їх конструктивних параметрів із енергією/роботою, яка витрачається на їх переміщення по полю у процесі вирощування сільськогосподарських культур, виконано відомими методами вимірювань і статистичної обробки результатів на персональному комп'ютері. Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях теорії експлуатації сільськогосподарської техніки.

Результати досліджень. Нехай, виконуючи конкретну технологічну операцію на полі шириною B_f (м) і довжиною робочого гону (ходу) L_p (м), машинно-тракторний агрегат за визначений час обробляє певну площу S_f (га):

$$S_f = \frac{B_f \cdot L_p}{10000} \quad (1)$$

Відома залежність (1) дає змогу отримати наближений результат, оскільки у реальних умовах параметр L_p є меншим за довжину поля (L_g) на ширину двох поворотних смуг. Водночас, у випадку, який нами розглядається, різницею ($L_g - L_p$) можна знехтувати із достатньою для практики точністю, а вираз (1) після цього вважати цілком адекватним.

З огляду на це і з урахуванням пропозицій, викладених у [5], показник інтенсивності W впливу ходових систем машинно-тракторних агрегатів на ґрунт можна представити у такому вигляді:

$$W = \frac{G_a \cdot g \cdot \Sigma S}{S_f} = \frac{G_a \cdot g \cdot \Sigma S}{B_f \cdot L_p} \cdot 10^4, \quad (2)$$

де G_a — маса машинно-тракторного агрегату, кг; g — прискорення вільного падіння ($9,81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$); ΣS — сумарний шлях, пройдений агрегатом по полю у процесі його обробітку, м.

Добуток $G_a \cdot g \cdot \Sigma S$ у виразі (2) відображає роботу ($\text{Н} \cdot \text{м}$) або енергію (Дж), яку витрачає машинно-тракторний агрегат на своє переміщення. З огляду на це розмірністю запропонованого нового показника інтенсивності впливу ходових систем того чи іншого машинно-тракторного агрегату на ґрунт є $\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{га}^{-1}$ або $\text{Дж} \cdot \text{га}^{-1}$. У подальшому теоретичному аналізі зупинимось на останньому варіанті розмірності виразу (2) для W .

На підставі проведеного нами аналізу та проведених вимірювань близько 500 ва-

ріантів машинно-тракторних агрегатів різного технологічного призначення встановлено, що за коефіцієнта детермінації $R^2=0,96$, силу ваги того чи іншого машинно-тракторного агрегату ($G_a \cdot g$) можна апроксимувати функцією, аргументом якої є ширина захвату агрегату B_p :

$$G_a \cdot g = A \cdot \ln(B_p) + C, \quad (3)$$

де $A=80\,000$ та $C=43\,000$ — коефіцієнти апроксимації.

Шлях ΣS , пройдений машинно-тракторним агрегатом по полю у процесі його обробітку, буде сумою двох складових. А саме:

$$\Sigma S = \Sigma S_p + \Sigma S_{xx}, \quad (4)$$

де ΣS_p , ΣS_{xx} шлях, пройдений агрегатом за час руху на робочих гонах і шлях, пройдений на поворотних смугах, відповідно.

За виконання $n=B_f/B_p$ поворотів на полі вираз для розрахунку першого із цих шляхів, є таким:

$$\Sigma S_p = L_p \cdot \frac{B_f}{B_p}. \quad (5)$$

Значення другого шляху може бути визначене із такого виразу:

$$\Sigma S_{xx} = L_{xx} \cdot (n-1), \quad (6)$$

де L_{xx} — довжина одного повороту машинно-тракторного агрегату, м.

Практика експлуатації сучасних машинно-тракторних агрегатів показує, що переважна більшість із них здійснює човниковий спосіб руху по полю. У такому разі:

$$L_{xx} = k_1 \cdot \pi \cdot R_a, \quad (7)$$

де k_1 — коефіцієнт, який показує ступінь відмінності значення параметра L_{xx} від довжини півкола; R_a — радіус повороту машинно-тракторного агрегату, м.

Останній параметр може бути визначений із виразу:

$$R_a = \frac{k_2 \cdot B_p}{2}, \quad (8)$$

де k_2 — коефіцієнт, що репрезентує ступінь відмінності між значеннями радіуса повороту машинно-тракторного агрегату і половиною ширини його захвату.

З урахуванням зазначеного вище вираз (6) у остаточному варіанті є таким:

$$\Sigma S_{xx} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot \pi}{2} \cdot (B_f - B_p). \quad (9)$$

Якщо залежності (3), (5) і (9) підставити у (2) і провести відповідні перетворення, то у підсумку отримаємо остаточний вираз для визначення показника інтенсивності впливу ходових систем машинно-тракторних агрегатів на ґрунт:

$$W = \left[A \cdot \ln(B_p) + C \right] \cdot \left[\frac{1}{B_p} + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot \pi}{2} \times \right. \quad (10)$$

$$\left. \times \left(\frac{B_f - B_p}{B_f \cdot L_p} \right) \right] \cdot 10^4 < W_{\max}.$$

У виразі (10) показник $W_{\max}$ характеризує межу допустимого значення показника W . Згідно з зазначеними вище міркуваннями приймаємо, що $W_{\max}$ має дорівнювати середньому значенню із рекомендованого у роботі [5] діапазону $50-100 \text{ т} \cdot \text{км} \cdot \text{га}^{-1}$. Тобто, $W_{\max} = 75 \text{ т} \cdot \text{км} \cdot \text{га}^{-1}$ або приблизно $0,75 \text{ ГДж} \cdot \text{га}^{-1}$.

Як свідчить досвід практичної експлуатації сучасних машинно-тракторних агрегатів, для переважної більшості з них значення коефіцієнтів k_1 і k_2 , які входять у вираз (10), мало відрізняються від значень, що дорівнюють одиницям.

Під час подальшого проведення теоретичних досліджень залежності (10), ширину захвату машинно-тракторного агрегату розглядали у межах $4-24 \text{ м}$. Мінімальну площу поля приймали на рівні 40 га , а максимальну — 100 га .

Аналіз результатів розрахунків показує наступне. Для поля площею 100 га збільшення довжини його гону з 600 до 1400 м (більше ніж удвічі) приводить до бажаного (але незначного) зменшення показника інтенсивності впливу ходової системи машинно-тракторного агрегату на ґрунт (таблиця).

Причому, це зменшення тим більше, чим більша ширина захвату машинно-тракторного агрегату. Так, якщо при $B_p = 4 \text{ м}$ збільшення довжини гону поля з 600 до 1400 м спричиняє збільшення значення оцінюваного показника W на $1,3\%$ (таблиця), то при $B_p = 24 \text{ м}$ це зростання сягає позначки $5,9\%$. Подібне спостерігається і за зміни ширини поля B_p .

У підсумку, оцінюючи значущість отриманих результатів розрахунків, можна

Вплив ширини захвату машинно-тракторного агрегату на величину коефіцієнта W за різних значень довжини гону поля

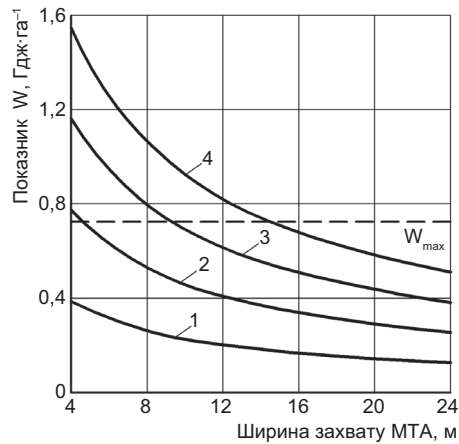
Ширина захвату, м	Значення показника W , ГДж·га ⁻¹		
	Площа поля — 100 га Довжина гону поля, м		
	600	1000	1400
4	0,391	0,387	0,386
8	0,270	0,265	0,264
12	0,211	0,205	0,204
16	0,176	0,170	0,168
20	0,152	0,146	0,144
24	0,135	0,128	0,127

констатувати, що в межах однієї площі поля (S_p) за однієї і тієї ж ширини захвату машинно-тракторного агрегату (B_p) значення показника інтенсивності впливу його ходової системи на ґрунт (W) не перевищує максимального допустиме ($W_{\max}$) і практично індивідуальне щодо зміни довжини гону поля (L_p) і його ширини (B_p).

Зазначимо, що зазначені вище результати теоретичного дослідження виконуватимуться за умови однократного проходу того чи іншого машинно-тракторного агрегату по полю. У дійсності таких проходів може бути більше.

З огляду на це маємо наступний результат. За допомогою складеної нами програми було проведено розрахунки на ПК, які дали можливість побудувати графічні залежності величини показника W від ширини захвату машинно-тракторного агрегату B_p з урахуванням кількості обробіток поля за рік (рисунок).

Як свідчить характер кривих, наведених на цьому рисунку, однократний обробіток поля за рік (крива 1) цілком задовольняє існуючі вимоги щодо інтенсивності впливу ходових систем машинно-тракторних агрегатів на ґрунт. За двократного переміщення машинно-тракторного агрегату по полю у процесі вирощування сільськогосподарських культур умова (10) може бути виконана тоді, коли ширина

**Вплив ширини захвату машинно-тракторного агрегату на величину коефіцієнта W за різної кількості обробіток поля (1, 2, 3 і 4 рази на рік)**

захвату цього агрегату буде не меншою за 5 м (крива 2).

Якщо технологія вирощування тієї чи іншої сільськогосподарської культури передбачає трикратне проходження машинно-тракторного агрегату по полю, то їх робоча ширина захвату має становити не менше 9 м (крива 3). За умови чотирикратного проходу машинно-тракторних агрегатів по полю, що може бути цілком ймовірним, робоча ширина захвату машинно-тракторного агрегату має бути не меншою, ніж 14 м (крива 4). За невиконання цієї вимоги, яка в реальних умовах господарювання більшості агроформувань може виявитися досить проблематичною, оброблюваному ґрунтовому середовищу може бути заподіяна така шкода, нівелювання якої буде пов'язане зі значними витратами часу і коштів.

Як бачимо, отримана нами нова теоретична залежність (10) має суттєве науково-практичне значення. Вона може бути успішно використана, насамперед, у процесі розроблення нових технологій і технологічних карт на вирощування сільськогосподарських культур на етапі вибору складу машинно-тракторних агрегатів. Передусім це стосується конструктивної ширини захвату технологічних частин машинно-тракторних агрегатів.

Висновки

Проведені теоретичні дослідження дали змогу отримати новий показник інтенсивності впливу ходових систем машинно-тракторних агрегатів на ґрунт, який регламентує їх переміщення по полю без погіршення стану ґрунтового середовища.

Встановлено, що у межах однієї площі поля за однієї і тієї ж ширини захвату машинно-тракторного агрегату значення показника інтенсивності впливу його ходової системи на ґрунт не перевищує максимально допустиме ($0,75 \text{ ГДж}\cdot\text{га}^{-1}$) і практично індиферентне щодо зміни довжини гону поля і його ширини.

За умови застосування більше, ніж одного проходження машинно-тракторного

агрегату по полю, його конструктивна ширина захвату має збільшуватися за тією кількісною закономірністю, яка конкретно випливає із виразу (10).

На підставі проведених на ПК числових розрахунків встановлено конкретні межі кількості обробітків поля протягом року та ширини захвату машинно-тракторного агрегату для гарантованого дотримання існуючих безпечних вимог інтенсивності впливу їх ходових систем на ґрунт. Так, за двократного переміщення машинно-тракторного агрегату по полю, його мінімальна ширина захвату має бути не меншою 5 м, за трикратного переміщення — 9 м і за можливого чотирикратного переміщення — 14 м.

Adamchuk V.¹, Kaminskyi V.², Bulgakov V.³, Nadykto V.⁴

¹Institute of Mechanics and Automation of Agricultural Production of NAAS, 11 Vokzalna Str., vil. Hlevakha, Fastiv district, Kyiv oblast, Ukraine, 08631, ²NRC «Institute of Agriculture of NAAS», 2b Mashynobudivnykiv Str. Chabany village, Fastiv district, Kyiv oblast, 08162, Ukraine, ³National university of bioresources and nature management of Ukraine, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, 03041, Ukraine, ⁴Dmytro Motorny Tavriya state agrotechnological university, 18 B. Khmelnytskyi Ave., Melitopol, Zaporizhzhia oblast, 72312, Ukraine; e-mail: ¹vvadamchuk@gmail.com, ²iznaan@ukr.net, ³bulgakov@meta.ua, ⁴volodymyr.nadykto@tsatu.edu.ua; ORCID: ¹0000-0003-0358-7946, ²0000-0002-9668-6742, ³0000-0003-3445-3721, ⁴0000-0002-1770-8297

Theoretical research and development of a new indicator of the intensity of the influence of moving systems of machine-tractor units on the soil

Goal. Theoretical research and development of a new indicator for regulating the magnitude of the intensity of the impact of running systems of machine-tractor units on the soil at a level that would make it virtually impossible to deteriorate the soil.

Methods. Analysis of the nomenclature of the most common machine-tractor units to establish the relationship of their design parameters with energy/work spent on their movement in the field in the process of growing crops, performed by known measurement methods and statistical processing of results on PC. Theoretical research is based on the principles of the theory of operation of agricultural

machinery. **Results.** It is established that at the width of the unit 4 m the increase in the length of the field run from 600 to 1400 m leads to an increase in the value of the estimated indicator by only 1.3%. If the capture width of machine-tractor units is 24 m, the growth of this figure reaches 5.9%. Similar trends are observed with changes in field width. If the tractor units move twice in the field in the process of growing crops, the actual value of the estimated indicator will not exceed the maximum allowable, when the width of the unit will be at least 5 m. If the technology of growing a particular crop involves three or four passes of machine-tractor units in the field, their working width must be at least 9 m and 14 m, respectively. **Conclusions.** The conducted theoretical research gave the chance to receive a new indicator of the intensity of influence of running systems of machine-tractor units on soil which regulates their movement on the field without deterioration of a condition of the soil environment. It is established that within one field area for the same width of the machine-tractor unit the value of the intensity of its running system on the soil does not exceed the maximum allowable (0.75 GJ/ha^{-1}) and is almost indifferent to changes in the length of the field and its width. If there is more than one pass of the machine-tractor unit in the field, their constructive width of capture should increase according to the quantitative regularity which specifically follows from expression (10). Based on numerical calculations performed on the PC, clear limits are set for the maximum allowable number of field cultivations during the year and the width of the machine-tractor unit to ensure the existing safety requirements for the

intensity of the impact of running systems on the soil. Thus, for double movement of the machine-tractor unit on the field, its minimum width of capture should be not less than 5 m, for three movements — 9

m, and for possible four movements — 14 m.

Key words: soil compaction, unit weight, capture width, energy.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202204-07>

Бібліографія

1. Камінський В.Ф., Адамчук В.В., Булгаков В.М., Надикто В.Т. Агроінженерні підходи щодо збереження родючості ґрунтів. *Вісник аграрної науки*, 2021. Вип. 11. С. 5–16.
2. 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. Is. 1. P. 148–157.
3. Погорілий Л. В., Євтенко В. Г. Мобільна сільськогосподарська енергетика: історія, тенденції розвитку, прогноз. К.: Фенікс. 2005. 184 с.
4. Медведев В.В., Лындина Т.Е., Лактионова Т.Е. Плотность сложения почв. Генетический, экологический и агрономический аспекты. Харьков: Городская типография, 2004. 244 с.
5. Медведев В.В. Фермеру про ґрунто- і ресурсозберувальні інновації з обробітку. Харків: ТОВ «Смугаста типографія», 2015. 200 с.
6. Антышев Н.М., Шевцов В.Г. Современные направления развития научных основ создания сельскохозяйственных мобильных энергетических средств. *Сельскохозяйственные машины и технологии*, 2009. № 2. С. 24–31.
7. Ansorge D., Godwin R.J. The effect of tyres and a rubber track at high axle loads on soil compaction-Part 2: Multi-axle machine studies. *Biosystem Engineering*, 2008. Volume 99. P. 338–347. doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.11.014
8. Colombi T., Keller T. Developing strategies to recover crop productivity after soil compaction-A plant eco-physiological perspective. *Soil & Tillage Research*, 2019. V. 191. P. 156–161. doi.org/10.1016/j.still.2019.04.008
9. Prikner P., Kotek M., Jindra P., Pražan R. Field compaction capacity of agricultural tyres. *Agronomy Research*, 2017. V. 15. P. 806–816.
10. Taghavifar H., Mardani A. Effect of velocity, wheel load and multipass on soil compaction. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 2014. V. 13. P. 57–66. doi.org/10.1016/j.jssas.2013.01.004
11. Souza R., Hartzell S., Freire Ferraz A.P., de Almeida A.Q., de Sousa Lima J.R., Dantas Antoino A.C., de Souza E.S. Dynamics of soil penetration resistance in water-controlled environments. *Soil & Tillage Research*, 2021. V. 205, 104768. doi.org/10.1016/j.still.2020.104768