



UDC 624.131

IN A BUILDING VISUAL-PLASTIC ENVIRONMENT THE EQUAL "CHAIN LINE" MOVING FLEXIBLE LINES

Ya. Yarosh, B. Sheludchenko, A. Kondratiuk, V. Biletskiy, O. Pluzhnikov

Article info

Received

16.03.2020

Accepted

30.04.2020

Zhytomyr

National

Agroecological

University

7, Staryi Blvd,

Zhytomyr,

10008, Ukraine

E-mail:

sheludchenko

bogdan@ukr.net

Yarosh, Ya., Sheludchenko, B., Kondratiuk, A., Biletskiy, V., Pluzhnikov, O. (2020). In a building visual-plastic environment the equal "chain line" moving flexible lines. Scientific Horizons, 04 (89), 65–71. doi: 10.33249/2663-2144-2020-89-4-65-71.

One of the most significant technological problems of repeated basic tillage of agricultural soils is the formation of a plow sole at a depth that is characteristic of basic tillage. The most commonly used method of eliminating the plow sole is its mechanical processing, which in practice is implemented by a wide range of soil tillage machines of various designs. Applied tools for mechanical destruction of the plow sole have a number of disadvantages not structural but also agrotechnological in nature. To remedy these shortcomings, it is proposed to use a "soil absorber" in the form of a semi-loop flexible thread, which is secured to the two pillars of the first and last plow housings for main plowing. In order to substantiate and develop the theoretical foundations of the balanced mechanical motion of the loop of the flexible working body in the bulk viscous-plastic medium of the soil and to determine its geometric and structural parameters, analytical studies of the mechanics of flexible filament moving in the separated volume of the bulk viscous plastic body were performed. According to the determined results of analytical studies, the dependences can be calculated normal stresses in cross sections of a real flexible working body, from which the optimal values of the cross-sectional area are calculated taking into account the abrasive properties of the material of the structure and in accordance with the designated (selected) resource of work of flexible soil. The results of these analytical studies allow us to determine the design structural and geometric parameters of flexible soil tillage machines that are compatible and can be combined with a wide range of soil tillage tools for basic shelf and shelfless soil cultivation.

Key words: plow sole, soil absorber, chain line, flexible thread, equilibrium, bulk viscous-plastic medium, structural geometric parameters.

РІВНОВАГА «ЛАНЦЮГОВОЇ ЛІНІЇ» ПЕТЛІ ГНУЧКОЇ НИТКИ, ЯКА РУХАЄТЬСЯ У СИПУЧОМУ В'ЯЗКО-ПЛАСТИЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Я. Д. Ярош, Б. А. Шелудченко, А. М. Кондратиук, В. Р. Білецький, О. Б. Плужніков

Житомирський національний агроекологічний університет

бульвар Старий, 7, м. Житомир, 10008, Україна

Однією з найсуттєвіших технологічних проблем багатократного основного обробітку ґрунтів сільськогосподарського використання є утворення плужної підшови на глибині, яка є характерною для основного обробітку ґрунту. Метою дослідження є обґрунтування та розроблення теоретичних основ врівноваженого механічного руху петлі гнучкого робочого органу (гнучкої нитки) в си́пучому в'язко-пластичному середовищі ґрунту. Найуживанішим способом усунення плужної підшови є її механічний

обробіток, який на практиці реалізується широким спектром «грунтопоглиблювачів» різних конструкцій. Застосовувані знаряддя для механічного руйнування плужної підшви мають цілу низку недоліків конструкційного та агротехнологічного характеру. Для усунення цих недоліків запропоновано використанням «грунтопоглиблювача» у вигляді напівпетлі гнучкої нитки, яку закріплено на двох стовбах першого та останнього корпусів плуга для основної оранки. З метою обґрунтування та розроблення теоретичних основ врівноваженого механічного руху петлі гнучкого робочого органу в сипучому в'язко-пластичному середовищі ґрунту та визначення його геометрично-конструкційних параметрів виконано аналітичні дослідження механіки гнучкої нитки, яка рухається у виокремленому об'ємі сипучого в'язко-пластичного середовища. За визначеними результатами аналітичних досліджень залежностями можуть бути обчислені нормальні напруження у перерізах реального гнучкого робочого органу, звідки обчислюються оптимальні значення площі його поперечного перерізу з урахуванням абразійних властивостей матеріалу конструкції та відповідно до призначеного (обраного) ресурсу роботи гнучкого грунтопоглиблювача. У подальшому результати наведених аналітичних досліджень дозволять визначити проєктні конструкційно-геометричні параметри гнучких робочих органів грунтопоглиблювачів, які є суміщуваними та можуть агрегатуватися з широкою гамою ґрунтообробних знарядь для основного полицевого та безполицевого обробітку ґрунту.

Ключові слова: плужна підшва, грунтопоглиблювач, ланцюгова лінія, гнучка нитка, рівновага, сипуче в'язко-пластичне середовище, конструкційно-геометричні параметри.

Вступ

Однією з найнегативніших проблем технологічного характеру довготривалого багаторічного обробітку ґрунтів сільськогосподарського використання є утворення так званої плужної підшви (рис. 1), як правило на глибині, що є характерною для основного обробітку ґрунту, про що і відзначається багатьма дослідниками (Dehodyuk, 2000; Havrylov, 2015; Makharoblidze, 2017; Sheludchenko, 2018). При цьому, необхідно зазначити, що явище утворення плужної підшви спостерігається не лише при застосуванні традиційних полицевих технологій обробітку ґрунту, але і при обробітку ґрунтів будь-яким ґрунтообробним знаряддям, зокрема дисками з різною конфігурацією їх периферії, лапами плоскорізів та культиваторів тощо (Usowicz, 2017; Sheludchenko, 2018; Shustik, 2019).



Рис. 1. Утворення плужної підшви як результат багаторічних технологічних впливів ґрунтообробних знарядь

Утворення плужної підшви в результаті технологічних впливів на ґрунти сільськогосподарського призначення призводить, зокрема, до їх переущільнення понад допустимі значення за агротехнологічними вимогами, до формування водотривкого водонепроникного шару ґрунту і як наслідок порушення його водноповітряного режиму та зміни мікрорельєфу поля, до інтенсифікації ерозійних процесів особливо під час зливових опадів, до порушення біологічних процесів формування кореневої системи сільськогосподарських культур тощо (Dehodyuk, 2000; Havrylov, 2015; Makharoblidze, 2017).

Найдієвішим способом запобігання утворенню, а в більшості випадків руйнування плужної підшви, залишається її механічний обробіток, який здійснюється поглибленим розпушуванням підорних шарів ґрунту, що на практиці реалізується так званими «грунтопоглиблювачами» (рис. 2) різних конструкцій: чизелів, глибокорозпушувачів, щілювачів, кротувачів тощо (Usowicz, 2017; Sheludchenko, 2018; Shustik, 2019).

Наведені на рис. 2 ґрунтообробні знаряддя призначені для поглибленого обробітку ґрунту як окремої технологічної операції, а отже, зважаючи на їх конструкційно-технологічні особливості, не лише повною мірою не забезпечують якісне суцільне руйнування плужної підшви, але і значно збільшують енергонасиченість технології основного обробітку ґрунту (Usowicz, 2017; Shustik, 2019).

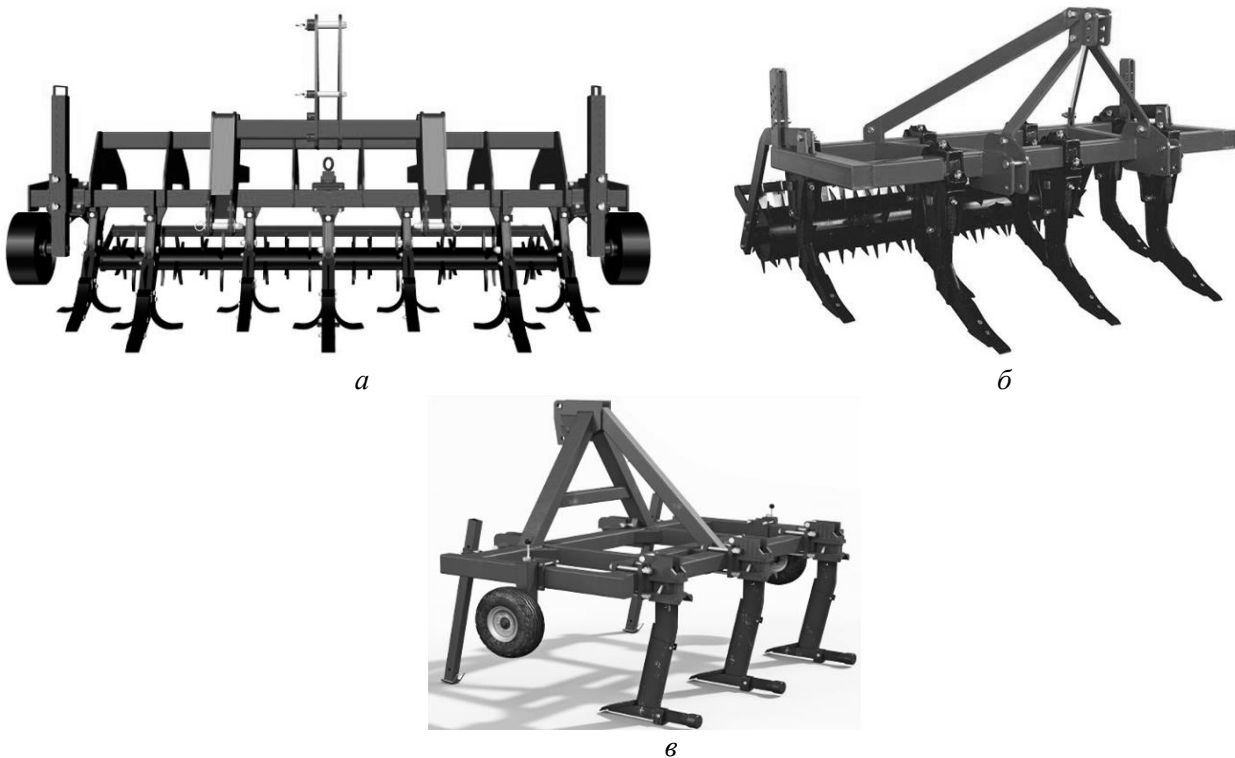


Рис.2. Знряддя для руйнування плужної підшви:
а – глибокорозпушувач, б – чизель, в – щілювач-кротувач

Для усунення зазначених недоліків запропоновано руйнування плужної підшви з використанням петлі гнучкої нитки, яка конструкційно виконана у вигляді ланцюга

(УГН), що закріплений на двох ґрунтопоглиблювачах, які розташовано на стовбах першого та останнього корпусів плуга для основної оранки (рис. 3).

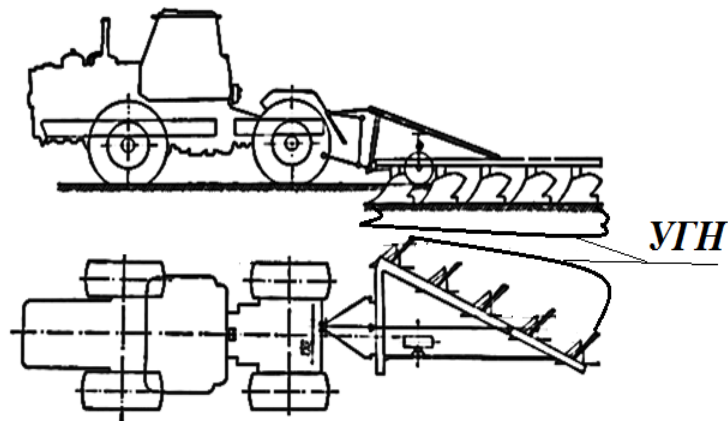


Рис. 3. Застосування петлі гнучкої нити як ґрунтопоглиблювача в складі ґрунтообробного агрегату для основної обробки ґрунту

Матеріали та методи

Основні результати, наведених в роботі аналітичних досліджень, отримано на підставі канонічних рівнянь рівноваги при контурному механічному русі та диференційних рівнянь гнучкої нитки під дією гідростатичних навантажень, теорії неоднорідної ланцюгової

лінії та лінійних деформацій гнучкої нитки як розвиток класичної механіки Лагранжа.

Результати наведених аналітичних досліджень є підставою для визначення основних конструкційно-геометричних параметрів гнучкого ґрунтообробного робочого органу для механічного розуцільнювання плужної підшви ґрунтів сільськогосподарського використання.

Результати досліджень та обговорення

Розглянемо нерозтягнуту нитку рівного опору, яка перебуває в рівновазі (рис. 1) і рухається в горизонтальному напрямку в площині Ω , яка описується координатною площиною xOy деякого об'єму сипучого в'язко-пластичного

середовища під дією сил, які зображені векторами F в напрямку осі y . Дія сил F , які прикладено до кінців гнучкої нитки, реалізується через шарніри μ_1, μ_2, μ_0 фізично визначає «ланцюгову лінію» рівного опору.

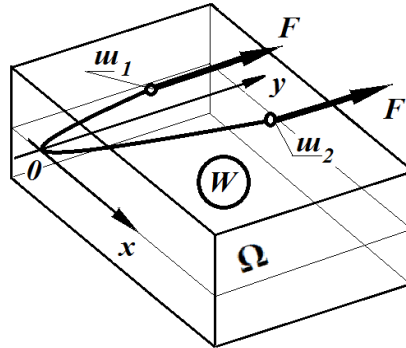


Рис. 1. Механіка гнучкої нитки, яка рухається у виокремленому об'ємі сипучого в'язко-пластичного середовища

Сила опору P з боку середовища, віднесена до одиниці довжини гнучкої нитки, становитиме за модулем:

$$P = q \cdot A, \tag{1}$$

де: A – площа поздовжнього поперечного перерізу гнучкої нитки; q – питомий опір, розподілений за довжиною петлі гнучкої нитки.

Проекції цієї сили P на осі x та y становитимуть, відповідно:

$$\begin{cases} P_x = 0; \\ P_y = -q \cdot A \end{cases} \tag{2}$$

Якщо “модуль натягнення” гнучкої нитки (Merkin, 1980) визначити як деяку усереднену величину T , а площу поперечного перерізу гнучкої нитки як A_0 , отримуємо:

$$T \frac{dx}{ds} = \sigma \cdot A \frac{dx}{ds} = \sigma \cdot A_0, \tag{3}$$

де $\frac{dx}{ds}$ – може бути визначено як коефіцієнт μ Пуассона для матеріалу гнучкої нитки.

Або з (3):

$$\begin{cases} T = \sigma \cdot A_0 \frac{ds}{dx} \\ A = A_0 \frac{ds}{dx} \end{cases} \tag{4}$$

Скориставшись рівняннями (1) та (4), отримуємо, з урахуванням досліджень Д.Р. Меркіна,

1986:

$$\frac{d}{ds} \left(\sigma A_0 \frac{dy}{dx} \right) = q \cdot A_0 \frac{ds}{dx} \tag{5}$$

Помноживши обидві частини рівняння (5) на $\frac{ds}{dx}$ і враховуючи деякий параметр k (рис. 2), який за Д.Р. Меркіним, 1986 визначає періодичність функції «ланцюгової нитки», отримуємо:

$$\frac{dy'}{dx} = \frac{1}{k} \left(\frac{ds}{dx} \right)^2; \quad \left(y' = \frac{dy}{dx} \right) \tag{6}$$

або

$$\frac{dy'}{dx} = \frac{1}{k} (1 + y'^2). \tag{7}$$

Розділяючи змінні та інтегруючи, знаходимо:

$$\arctg y' = \frac{x}{k} + C_1 \tag{8}$$

Так як $y' = 0$ при $x = 0$ (в початку координат дотична до графіка «ланцюгової лінії» є паралельною до осі x), то $C_1 = 0$ і, як наслідок:

$$\frac{dy}{dx} = \tg \frac{x}{k} \tag{9}$$

Інтегруючи ще один раз і враховуючи, що $y = 0$ при $x = 0$, отримуємо:

$$y = -k \log \cos \frac{x}{k} \tag{10}$$

або

$$e^{y/k} = \sec \frac{x}{k}; \quad \left(-\frac{\pi k}{2} < x < \frac{\pi k}{2} \right). \tag{11}$$

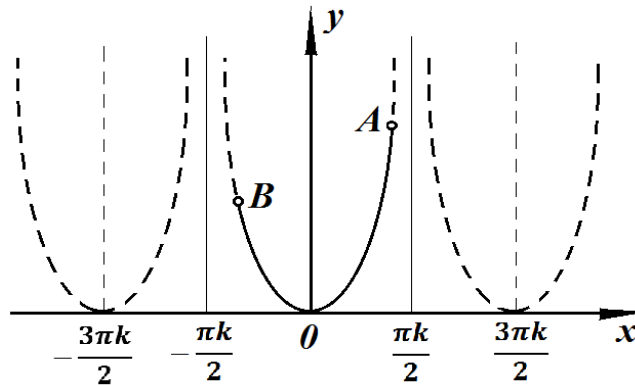


Рис. 2. Графік рівняння «ланцюгової лінії»

Формально рівняння (11) визначає нескінченну множину тотожних (конгруентних) кривих, які мають вертикальні асимптоти і лежать в інтервалах:

$$\frac{\pi k}{2}(2m - 1) < x < \frac{\pi k}{2}(2m + 1), \quad (12)$$

де $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm \dots$

Однак, реальна гнучка нитка («ланцюгова лінія») співпадає з відрізком AB (рис. 2) лише однієї вітки конгруентних кривих і розглядати необхідно лише цю ділянку.

Для визначення довжини гнучкої нитки (довжини петлі гнучкої нитки, яка рухається в сипучому в'язко-пластичному середовищі), скористаємося рівнянням (Merkin, 1980):

$$\frac{ds}{dx} = \sqrt{1 + y'^2} = \sqrt{1 + tg^2 \frac{x}{k}} = \sec \frac{x}{k} \quad (13)$$

або після інтегрування:

$$s = k \cdot \log tg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{x}{2k} \right) + C_2. \quad (14)$$

Якщо задана довжина L гнучкої нитки і координати точок «підвісу» A та B , тобто визначені прольот l та «перевищення» («випередження») точкою A точки B (рис.3), то, з урахуванням граничних умов,

$$\begin{cases} x_A = \delta \\ x_B = -(l - \delta) \\ y_A = f \\ y_B = f - h \end{cases} \quad (20)$$

Вершину дуги гнучкої нитки O (рис. 2) будемо вважати за початок відліку довжини дуги s . Тоді $s = 0$ при $x = 0$ і, як наслідок, $C_2 = 0$. Таким чином, отримуємо:

$$s = k \cdot \log tg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{x}{2k} \right) \quad (15)$$

Звідси:

$$\sec \frac{x}{k} = \cosh \frac{s}{k} \quad (16)$$

Закон зміни площі поперечного перерізу гнучкої нитки («ланцюгової лінії» рівного опору) за Д.Р. Меркіним, 1986 визначатиметься як

$$A(s) = A_0 \cosh \frac{s}{k} \quad (17)$$

Отже, поперечна складова H натягнення гнучкої нитки визначатиметься як

$$H = \sigma \cdot A_0 \quad (18)$$

А повне натягнення T гнучкої нитки становитиме:

$$T = \sigma \cdot A_0 \cdot \sec \frac{x}{k} = \sigma \cdot A_0 \cdot \cosh \frac{s}{k} = \sigma \cdot A(s) \quad (19)$$

отримуємо:

$$\begin{cases} L_1 = k \cdot \log tg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\delta}{2k} \right) \\ L_2 = k \cdot \log tg \left(\frac{\pi}{4} - \frac{l - \delta}{2k} \right) \\ L = L_1 + L_2 \\ e^{f/h} = \sec \frac{\delta}{k} \\ e^{\frac{f-h}{k}} = \sec \frac{l - \delta}{k}, \end{cases} \quad (21)$$

де: L_1 та L_2 – довжини правої та лівої частин петлі гнучкої нитки, відповідно.

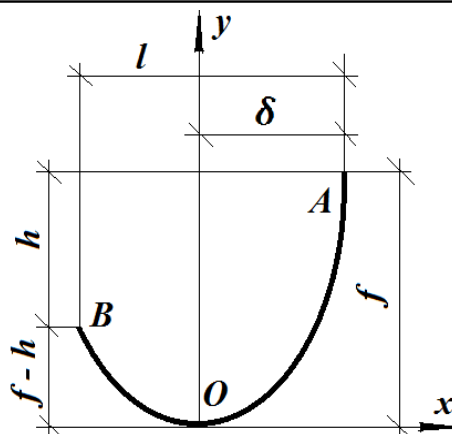


Рис. 3. Геометричні параметри петлі гнучкої нитки

Знаючи параметри L , h та l відповідно до (21), можуть бути обчислені значення f , δ , k , L_1 та L_2 (рис. 3). Потім за знайденими значеннями геометричних параметрів гнучкої нитки (рис. 3) можуть бути обчислені нормальні напруження σ у перерізах реальної гнучкої нитки по її довжині, звідки обчислюється оптимальне значення A_0 площі її поперечного перерізу з урахуванням абразійних властивостей матеріалу конструкції реальної гнучкої нитки та призначеного (обраного) ресурсу її роботи.

Висновки

Найдієвішим способом руйнування плужної підшви є її механічний обробіток, який реалізується поглибленим розпушуванням підорних шарів ґрунту за допомогою «ґрунтопоглиблювачів». Запропоновано для руйнування плужної підшви використання петлі гнучкої нитки, яка конструкційно виконана у вигляді ланцюга, що закріплений на двох на стовбах першого та останнього корпусів плуга для основної оранки. Результати наведених аналітичних досліджень дозволяють визначити проектні конструкційно-геометричні параметри гнучких робочих органів ґрунтопоглиблювачів, які є суміщуваними та можуть агрегатуватись з широкою гамою ґрунтообробних знарядь для основного полицевого та безполицевого обробітку ґрунту.

References

Dehodiuk, S. E. & Dehodiuk, E. H. (2020). Zmina ahrofizychnykh pokaznykiv siroho lisovoho ґрунту за tryvaloho zastosuvannya orhanichnykh i

mineralnykh dobryv [Change of agrophysical indicators of gray forest soil with long-term use of organic and mineral fertilizers]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 1, 19–24 [in Ukrainian].

Guder, Dzh. N. & Hodzh, F. G. (1960). Uprugost i plastichnost [Elasticity and plasticity]. Moskva : IL [in Russian].

Havrylov, S. (2015). Problema pluzhnoi pidoshvy u hrunti ta shliakhy yii vyrishennia [The problem of the plow sole in the soil and the ways to solve it]. *Propozytsiia*, 10, 70–73 [in Ukrainian].

Kachurin, V. K. (1956). Gibkie niti s malymi strelkami [Flexible threads with small arrows]. Moskva : Gostehteorizdat [in Russian].

Kojter, V. T. (1961). Obshie teoremy teorii uprugo-plasticheskikh sred [General theorems of the theory of elastic-plastic media]. Moskva : IL [in Russian].

Makharoblidze, R. M., Lagvilava, I. M., Basilashvili, B. B. & Khazhomia, R. M. (2017). Theory of turn bodies of mountain tandem wheeled self-propelled chassis. *Annals of Agrarian Science*, 15 (3), 339–343. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.05.026>.

Merkin, D. R. (1980). Vvedenie v mehaniku gibkoj niti [Introduction to flexible thread mechanics]. Moskva : Nauka [in Russian].

Shahgholi, G. & Abuali, M. (2015). Measuring soil compaction and soil behavior under the tractor tire using strain transducer. *Journal of Terramechanics*, 59, 19–25. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2015.02.007.a>.

Shcherban, V. Yu. (2018). Mekhanika nytky [Thread mechanics]. Kyiv : Ukrblankovydav

[in Ukrainian].

Sheludchenko, B. A., Chuba, V. V. & Biletskiy, V. R. (2018). Rozrobka laboratornoho metodu otsinky strukturnykh modelei gruntu [Development of laboratory method for estimation of structural soil models]. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy. Ser. Tekhnika ta enerhetyka APK*, 282, 249–258 [in Ukrainian].

Shustik, L., Nilova, N., Stepanchenko, S., Lysak, O. & Kalchuk, V. (2019). Hlybokorozpushuvachi – odyń z bazovykh elementiv gruntozakhysnykh ta resursooshchadnykh tekhnolohii [Rippers are one of

the basic elements of soil-protection and resource-saving technologies]. *Tekhniko-tekhnolohichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniky i tekhnolohii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy*, 24 (38), 124–134. Retrieved from [http://dx.doi.org/10.31473 / 2305-5987-2019-1-24](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2019-1-24) (38)1 [in Ukrainian].

Usowicz, B. & Lipiec, J. (2017). Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil. *Soil and Tillage Research*, 174, 241–250. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.015>.