

М.М. Корчак, к.т.н., доц.**Т.В. Дудчак, к.с-г.н., доц.****Д.В. Вільчинська, к.с-г.н, асистент***Подільський державний аграрно-технічний університет*

Теоретичне обґрунтування робочого органу для вирівнювання ґрунту

Проведено теоретичне обґрунтування вирівнювального ґрунтообробного робочого органу, зокрема його динамічний аналіз, та обґрунтовано основні технологічні параметри, розглянуто динаміку коливальних рухів і визначено його оптимальну конструкцію з умови максимального осідання пилової фракції.

Вихідними даними для теоретичних досліджень були прийняті наступні: розміри рядка і фрезерної секції, ширина міжряддя, відстань між вирівнюючими робочими органами, механіко-технологічні властивості ґрунту і агротехнічні вимоги до подрібненої маси.

Визначено основні конструктивно-технологічні параметри робочого органу, а саме: висота $h_{пл} = 0,4$ м, довжина робочої поверхні $l_{пл} = 0,43$ м, ширина $b_{пл} = 0,6$ м, кут нахилу до поверхні ґрунту: $\alpha_{пл. max} = 40^\circ$, $\alpha_{пл. min} = 25^\circ$.

Обґрунтований антиерозійний вібраційний робочий орган якісно вирівнює ґрунтову поверхню та забезпечує екологічно чисту технологію обробітку ґрунту. Теоретично доведено, що вібраційні технології обробітку ґрунту є екологічно чистими, оскільки пилова фракція осідає в нижні шари оброблюваного ґрунту.

Досліджений робочий орган, що виконує технологічний процес вирівнювання поверхні поля при запропонованій технології, дасть змогу в подальшому більш детально обґрунтувати математичну модель комбінованого способу обробітку поля, засміченого рослинними залишками та визначити конструктивно-технологічну структуру подрібнювача.

Отримано подальший розвиток теоретичних основ вирівнювання ґрунту, зокрема вирівнювальних робочих органів, що використовуються в комбінованих агрегатах.

Ключові слова: *теоретичне обґрунтування; динамічний аналіз; антиерозійний робочий орган; технологічні параметри; вирівнювання ґрунту.*

Вступ. Повітряна ерозія ґрунтів залишається досить складною екологічною проблемою, адже вона пов'язана з недопустимо великою ваговою часткою пилової фракції, яка утворюється при виконанні різних операцій по обробітку ґрунту. Особливої актуальності набуває ця проблема при обробітку сухих ґрунтів на рівнинних територіях (цілинні землі, південь України, Канада тощо). При використанні пасивних робочих органів в сукупності з активними пилова фракція рівномірно розподіляється по глибині оброблюваного ґрунтового шару (включаючи поверхню), що провокує появу ерозії. Проблема стає особливо нагальною для її вирішення при впровадженні принципово нових технологій (високочастотних, ультразвукових), які маючи широкий функціональний спектр використання, дають, з точки зору існуючих технологій, недопустиму частку пилової фракції.

Актуальність дослідження. Робочі органи для вирівнювання ґрунту у вигляді металевих пружних пластин, що використовуються при взаємодії з активними органами, при запропонованій технології звільнення поля від рослинних залишків грубостеблових культур здійснюють один із найважливіших кінцевих технологічних процесів – вирівнювання поверхні оброблюваного поля, та виконують важливі функції забезпечуючи при цьому протиерозійний та екологічний обробіток ґрунту. У зв'язку з цим, науково-технологічна задача теоретичного обґрунтування робочого органу, що використовується при поєднанні активних робочих органів з пасивними, є досить актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нині у землеробстві велику увагу приділяють питанням, які пов'язані з екологічною безпекою при впровадженні нових технологій і робочих органів для їх реалізації. При обробітку ґрунту екологічні питання можуть бути зведені до двох напрямів.

Перший напрям зводиться до порушень мікрофлори ґрунту, що виникають при застосуванні неорганічних добрив, гербіцидів, пестицидів і т. д. Другий напрямок пов'язаний із застосуванням таких ґрунтообробних робочих органів, які в процесі свого функціонування дають недопустимо велику вагову частку пилової фракції, що призводить до появи тенденції до повітряної та водяної ерозії. На це вперше було звернено увагу при дослідженнях, пов'язаних із впровадженням у землеробство активних робочих органів [1].

Пасивні робочі органи в комбінованих ґрунтообробних машинах удосконалюють фірми зарубіжних країн: Kongskilde, Kvernelend, Dal – Bo, Franquet та ін. Вони впроваджують різні типи вирівнювальних робочих органів із забезпеченням стабільної дії на ґрунт [2–6].

Аналіз показує, що зарубіжні машини комплектують переважно підпружиненими вирівнювальними робочими органами, кут нахилу яких складає $< 90^\circ$ до напрямку руху [10]. Однак опис роботи та ефективність їх використання не розглядається.

Невирішеними є також технологічні питання для сучасних вирівнювальних робочих органів, оскільки в теперішніх комбінованих ґрунтообробних машинах використовується значна кількість їх конструкційних варіантів [7–10]. Зокрема, Н.К. Мазітов рекомендував для вирівнювання ґрунту застосовувати робочий орган у вигляді чотириланкової шарнірної підвіски з робочою зоною важеля підвісу до 20° [9].

Однак результати функціонування вирівнювальних робочих органів у комбінованих машинах обґрунтовано не достатньо, особливо в умовах різного стану обробітку ґрунту робочими органами, що йдуть попереду. Динамічний аналіз вирівнювальних робочих органів у складі комбінованих машин іноземними та вітчизняними вченими не проводився. Деякі динамічні характеристики вирівнювального робочого органу були розглянуті авторами раніше [11].

Пасивні робочі органи можуть також створити велику частку пилової фракції, особливо при обробітку ґрунту з низьким вмістом вологи. Цей пил рівномірно розподілений по глибині оброблюваного шару, і в умовах рівнинних територій також створює небезпеку виникнення ерозії. Тому доцільно обґрунтувати та розробити робочий орган для вирівнювання ґрунту з необхідними конструктивно-технологічними параметрами, що дасть можливість при його використанні зменшити вагову частку пилової фракції або її осідання з поверхні в глибші шари ґрунту.

Мета статті – провести теоретичні дослідження вирівнювального ґрунтообробного робочого органу, зокрема його динамічного аналізу, а також обґрунтувати основні технологічні параметри, що в подальшому дозволить забезпечити якісне виконання технологічного процесу вирівнювання поверхні поля при запропонованій технології.

Методика досліджень. Теоретичними дослідженнями передбачено обґрунтування основних конструктивно-технологічних параметрів робочого органу для вирівнювання ґрунту, проведення динамічного аналізу та виведення необхідних математичних залежностей.

Вихідними даними для теоретичних досліджень були прийняті такі: розміри рядка та фрезерної секції, ширина міжряддя, відстань між вирівнювальними робочими органами, механіко-технологічні властивості ґрунту та агротехнічні вимоги до подрібненої маси.

Теоретичні обґрунтування динамічного аналізу та технологічних параметрів вирівнювального робочого органу проводили з використанням основних положень математики, фізики, теоретичної механіки та теорії землеробської механіки.

Результати досліджень. Робочий орган, що виконує процес вирівнювання ґрунту – пружна, консольно закріплена на масивній рамі 1 пластина 2, яка рухається по поверхні ґрунту 3. Розташовується вона позаду активних робочих органів комбінованого ґрунтообробного агрегата (рис. 1).

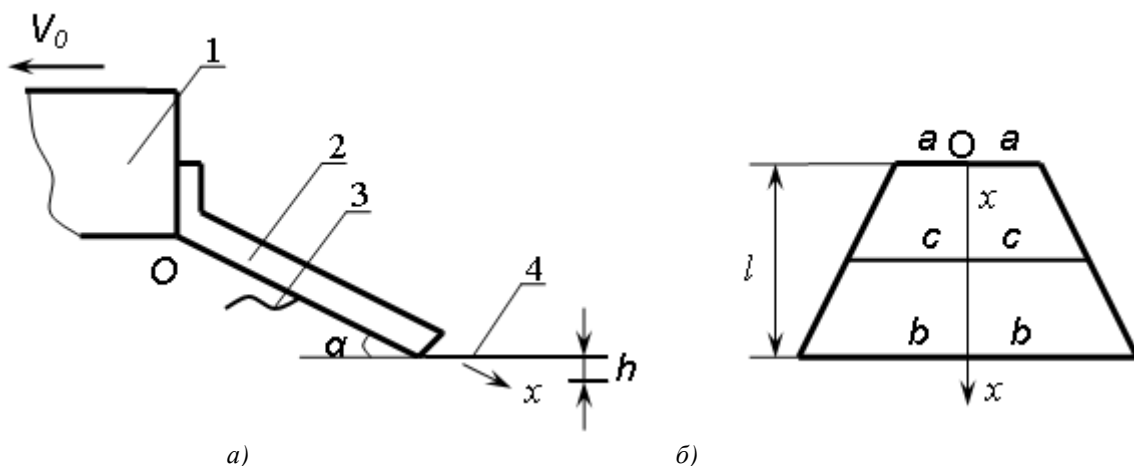


Рис. 1. Розрахункова схема пристрою:
 а – вигляд пристрою збоку; б – вигляд пристрою зверху;
 1 – рама, 2 – пластина, 3 – невирівняний ґрунт, 4 – вирівняний ґрунт

Працює запропонований робочий орган таким чином.

Заглиблюючись в ґрунт 3, пластина 2 виконує високочастотні поперечні коливання, які змушують окремі частинки ґрунту рухатися одна відносно іншої, утворюючи «киплячий шар», в якому пилова фракція осідає в нижні пласти ґрунту. Саме цим знижується тенденція до появи ерозії, забезпечується якісне вирівнювання ґрунтової поверхні та екологічно чиста технологія обробітку ґрунту.

Вирівнюючі робочі органи слід робити якомога жорсткішими. Врахування їх динамічних властивостей дозволить надати таким елементам найбільш розширені функціональні можливості.

Робочі органи, що реалізують високочастотні вібраційні технології, завдяки унікальним властивостям впливу на ґрунт, забезпечують осідання пилової фракції в нижні пласти оброблюваного ґрунту, чим з високою надійністю забезпечується екологічна безпека.

Розглянемо динаміку пристрою. Вважаючи пластину однорідною, пружною і симетричною, складемо динамічні рівняння поперечних і повздовжніх коливань. Форма пластини зображена на рисунку 1 б. Застосовуючи стандартні прийоми, одержимо для поперечних власних коливань:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(EI(x) \frac{\partial u}{\partial x} \right) = - \frac{\gamma \cdot A(x)}{g} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (1)$$

Для повздовжніх власних коливань:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = \frac{E \cdot g}{\gamma} \cdot \frac{\partial^2 V}{\partial x^2}, \quad (2)$$

де $U(x, t)$, $V(x, t)$ – відхилення пластини від положення рівноваги в поперечному і повздовжньому напрямках відповідно;

E – модуль Юнга;

I – момент інерції поперечного перерізу пластини;

$A(x)$ – площа поперечного перерізу;

γ – погонна вага пластини;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Несуттєвими є вимушені коливання, оскільки заглиблення пластини в ґрунт порівняно невелике, і ґрунт тут вже розрихлений пасивними робочими органами, що йдуть попереду комбінованої машини.

Нескладні перетворення дозволяють записати:

$$A(x) = \frac{2}{\ell} [ab + (b - a)x], \quad (3)$$

$$I(x) = \frac{2}{3} \left[\left(\frac{ab + (b - a)x}{\ell} - a \right)^3 - a^3 \right], \quad (4)$$

де a , b , ℓ – розміри пластини (рис. 1 б).

Частоти власних поперечних коливань можна визначити числовим інтегруванням (метод Релея-Рітца). Вважаючи, що:

$$V(x, t) = X(x) \cos pt \quad (5)$$

Одержимо:

$$P^2 = \frac{Eg}{\gamma} \cdot \frac{\int_0^{\ell} I(x) \left(\frac{\partial^2 X}{\partial x^2} \right)^2 dx}{\int_0^{\ell} A(x) X^2 dx} \quad (6)$$

де X – крива згину пластини;

P – основна мінімальна частота.

Щоб задовольнити крайові умови, вибираємо криву згину у вигляді ряду:

$$X(x) = \sum_{i=1}^{\infty} a_i \left(1 - \frac{x}{\ell} \right)^2 \cdot \left(\frac{x}{\ell} \right)^{i+1}. \quad (7)$$

У першому наближенні одержимо:

$$P_1 = 18,31 \frac{b}{\ell^2} \sqrt{\frac{E \cdot g}{\gamma}} \cdot \sqrt{f}, \quad (8)$$

$$f = \left[\frac{a^3}{l^3} - 3,5 \frac{a^2}{l^2} \left(1 - \frac{a}{l}\right) - 1,5745 \frac{a}{l} \left(1 - \frac{a}{l}\right)^2 - 38,2524 \left(1 - \frac{a}{l}\right)^3 - \frac{a^3}{b^3} \right] \cdot \left[1 + 0,4968 \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) \right]^{-1} \quad (9)$$

Друге наближення відрізняється від першого не більше ніж на 6 %.

Вібруюча поверхня утворює киплячий шар глибиною не менше h (рис. 1 а), причому тривалість дії на ґрунт рівна t :

$$t = \frac{h}{V_0} \cdot \operatorname{ctg} \alpha, \quad (10)$$

і може для різних ґрунтів регулюватися кутом нахилу α .

Повздожні коливання пластини менш суттєві і в роботі не розглядаються.

Обґрунтування основних технологічних параметрів вирівнювального робочого органу. Вирівнювальні робочі органи – металеві пружні пластини, що використовуються в поєднанні з активними робочими органами при запропонованій комбінованій технології обробітку, здійснюють технологічний процес – вирівнювання поверхні оброблюваного поля, забезпечуючи екологічний обробіток всієї технології.

Основними параметрами вирівнювальної пластини є: висота h_{nl} , довжина робочої поверхні l_{nl} , ширина b_{nl} та кут нахилу пластини до поверхні ґрунту α_{nl} .

Основою робочого органу є рівнобічна трапеція $ABCD$ (рис. 2). Середня ширина пластини m_{nl} дорівнює півсумі основ і паралельна до них:

$$m_{nl} = \frac{a_{nl} + b_{nl}}{2} = \frac{DC + AB}{2}. \quad (11)$$

Звідси ширина пластини b_{nl} рівна:

$$b_{nl} = AB = m_{nl} + \frac{DC}{2}. \quad (12)$$

Ширину захвату робочого органу визначаємо за формулою:

$$b_{nl} = b_{між} - 2\Delta, \quad (13)$$

де $b_{між}$ – ширина міжряддя, см;

Δ – відстань між пластинами, см.

Площу робочої поверхні пластини визначаємо за формулою:

$$S_{nl} = \frac{a_{nl} + b_{nl}}{2} h_{nl} = \frac{DC + AB}{2} DF \quad (14)$$

де $h_{nl} = DF$ – висота трапеції.

У трапеції $ABCD$ проведемо $DE \parallel BC$ (рис. 2). $AE = AB - CD$, $DE = BC$.

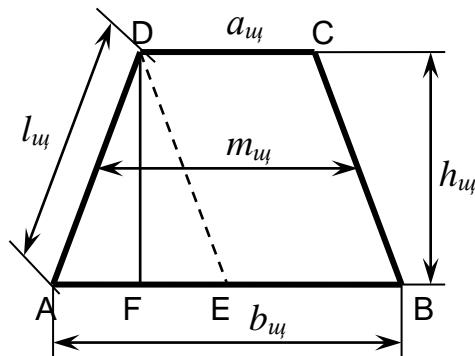


Рис. 2. Схема до визначення конструктивно-технологічних параметрів вирівнювального робочого органу

Визначаємо висоту робочої поверхні пластини h_{nl} . З ΔADE дістаємо:

$$h_{nl} = DF = \frac{2}{AE} \sqrt{p(p-AD)(p-DE)(p-AE)}, \quad (15)$$

де p – півпериметр трикутника.

Довжина робочої поверхні пластини $l_{nl} = AD$. З ΔADF одержимо:

$$l_{nl} = AD = \sqrt{DF^2 + AF^2}. \quad (16)$$

Довжину пластини визначаємо із співвідношення:

$$l_{uc} = \frac{R_{фр.бар} - \Delta h}{\sin \alpha_{uc}}, \quad (17)$$

де Δh – висота між краєм робочої поверхні пластини та центром фрези.

Кут нахилу робочого органу до поверхні ґрунту:

$$\alpha_{uc} = 90^\circ - \varphi_m. \quad (18)$$

Отже, проведений теоретичний аналіз показує доцільність розробки вирівнювального пасивного робочого органу даного типу, що частково розглядався в публікаціях [12-17].

Також антиерозійний вирівнювальний ґрунтообробний робочий орган науково обґрунтований [18] та був попередньо розглянутий авторами при розробці комбінованого подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур [19–24].

Висновки і пропозиції.

1. Теоретично обґрунтовано вирівнювальний робочий орган для якісного вирівнювання ґрунтової поверхні та визначено основні конструктивно-технологічні параметри: висота $h_{nl} = 0,4$ м, довжина робочої поверхні $l_{nl} = 0,43$ м, ширина $b_{nl} = 0,6$ м, кут нахилу до поверхні ґрунту: $\alpha_{nl, max} = 40^\circ$, $\alpha_{nl, min} = 25^\circ$.

2. Проведений динамічний аналіз робочого органу, розраховано динаміку коливальних рухів і визначено його оптимальну конструкцію за умови максимального осідання пилової фракції. Теоретично доведено, що вібраційні технології обробітку ґрунту є екологічно чистими, оскільки пилова фракція осідає в нижні шари оброблюваного ґрунту.

3. Теоретично обґрунтований робочий орган, що виконує технологічний процес вирівнювання поверхні поля при запропонованій технології, дасть можливість в подальшому більш детально обґрунтувати математичну модель комбінованого способу обробітку поля, засміченого рослинними залишками та визначити конструктивно-технологічну структуру подрібнювача.

4. Отримано подальший розвиток теоретичних основ вирівнювання ґрунту, зокрема вирівнювальних робочих органів, що використовуються в комбінованих агрегатах.

Список використаної літератури:

1. Андреев О.А. Екологічні аспекти впровадження нових технологій / О.А. Андреев // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Екологічна освіта та виховання учнівської молоді». – Кам'янець-Подільський. – 1998. – С. 21–22.
2. Сысолин П.В. Почвообрабатывающие и посевные машины: история, машиностроение, конструирование / П.В. Сысолин, Л.В. Погорельий. – К. : Феникс, 2005. – 264 с.
3. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / за ред. В.І. Кравчука, М.І. Грицишина, С.М. Ковалю. – К. : Аграрна наука, 2004. – 396 с.
4. Gach S. Maszyny rolnicze. Elementy teorii i obliczeń / S.Gach, J.Kuczewski, C.Waszkiwicz. – Warszawa : SGGW, 1991. – 664 p.
5. Kuczewski J. Mechanizacja rolnictwa. Maszyny i urządzenia do produkcji roślinnej i zwierzęcej / J.Kuczewski, C.Waszkiwicz. – Warszawa : SGGW, 1997. – 552 p.
6. Woźniak W. Ciągniki i maszyny rolnicze. Budowa, przeznaczenie / W.Woźniak. – Poznań : PIMR, 2002. – 905 p.
7. Комбинированные сельскохозяйственные агрегаты. Альбом-справочник / А.П. Антонов, Н.С. Кабаков, П.А. Щербина, В.И. Гаерюшин. – М. : Россельхозиздат, 1975. – 183 с.
8. Залужний В.І. Особливості компонування і використання ґрунтообробних комбінованих агрегатів з пасивними робочими органами / В.І. Залужний, М.І. Грицишин // Машиновипробування на службі прогресу. – Дослідницьке : УкрНДПВТ. – 1997. – С. 87–92.
9. Мазитов Н.К. Ресурсосберегающие почвообрабатывающие машины / Н.К. Мазитов. – Казань. – 2003. – 456 с.
10. Полушкин А.В. Комбинированная машина для выравнивания поверхности и обработки почвы / А.В. Полушкин, В.С. Глуховский ; УкрНИИ сельхозмашиностроения. – Оубл. 23.12.92, Бюл. № 47.

11. Андреев А.А. Динамический анализ антиэрозионного почвообрабатывающего устройства / А.А. Андреев, Н.Н. Корчак // *Материалы 4-й международной научно-практической конференции «Perspektywiczne opracowania nauki i techniki – 2008»*. – Пшемысль : Наука и студия, 2008. – Т. 13. – С. 48–51.
12. Корчак М.М. Обґрунтування технологічної функціональної моделі способу обробітку ґрунту після збирання грубостеблових культур / М.М. Корчак // *Збірник наукових праць ПДАТУ*. – Кам'янець-Подільський. – 2016. – № 24. – С. 165–174.
13. Корчак М.М. Аналіз результатів пошукових експериментальних досліджень подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур / М.М. Корчак // *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. – Кам'янець-Подільський. – 2017. – № 25. – С. 99–114.
14. Корчак М.М. Результати основних польових експериментальних досліджень подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур / М.М. Корчак // *Збірник наукових праць ПДАТУ*. – Кам'янець-Подільський. – 2011. – № 19. – С. 531–542.
15. Корчак М.М. Результати відсіюючого та пошукових експериментальних досліджень подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур / М.М. Корчак // *Збірник наукових праць ВНАУ. Технічні науки*. – Вінниця : ВНАУ, 2011. – № 9. – С. 76–94.
16. Корчак М.М. Аналіз технологій і конструкцій машин для обробітку ґрунту, засміченого рослинними залишками грубостеблових культур з розробкою комбінованого способу та подрібнювача для його реалізації / М.М. Корчак // *Праці ТДАТУ*. – Мелітополь : ТДАТУ, 2010 – Вип. 10, Т. 7 – С. 299–312.
17. Корчак М.М. Розробка комбінованого способу та подрібнювача для ґрунту, засміченого рослинними залишками / М.М. Корчак // *Вісник ЛНАУ. Агроінженерні дослідження*. – Львів : ЛНАУ, 2009. – № 13. – С. 155–163.
18. Пат. 93012 Україна, МПК (2014.01) A01B 33/00. Вирівнювальний антиерозійно-ґрунтообробний пристрій / М.М. Корчак, О.А. Андреев. – № u 2014 04543 ; заявл. 28.04.2014 ; опубл. 10.09.2014, Бюл. № 17.
19. Пат. 90535 Україна, МПК А 01 В 49/02. Комбінований подрібнювач рослинних залишків грубостеблових культур / М.М. Корчак, І.М. Бендера, С.В. Єрмаков. – № a2008 03070 ; заявл. 11.03.2008 ; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.
20. Пат. 90538 Україна, МПК А 01 В 33/00. Спосіб звільнення поля від рослинних залишків грубостеблових культур / М.М. Корчак, І.М. Бендера, С.В. Єрмаков, А.І. Яковенко. – № a2008 04264 ; заявл. 04.04.2008 ; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.
21. Пат. 29342 Україна, МПК А 01 В 33/00. Фрезерний подрібнювач кореневих та листостеблових залишків / М.М. Корчак, І.М. Бендера, С.В. Єрмаков, О.Ф. Говоров. – № u200710230 ; заявл. 14.09.2007 ; опубл. 10.01.2008, Бюл. № 1.
22. Пат. 31514 Україна, МПК А 01 В 33/00. Подрібнювач кореневих та листостеблових залишків / М.М. Корчак, І.М. Бендера, С.В. Єрмаков, О.Ф. Говоров. – № u200714212 ; заявл. 18.12.2007 ; опубл. 10.04.2008, Бюл. № 7.
23. Пат. 33829 Україна, МПК А 01 В 33/00. Комбінований культиватор-подрібнювач / М.М. Корчак, І.М. Бендера, С.В. Єрмаков. – № u200803382 ; заявл. 17.03.2008 ; опубл. 10.07.2008, Бюл. № 13.
24. Пат. 33819 Україна, МПК А 01 В 33/00. Комбінований фрезерний культиватор-подрібнювач рослинних залишків грубостеблових культур / М.М. Корчак, І.М. Бендера, С.В. Єрмаков. – № u200803323 ; заявл. 17.03.2008 ; опубл. 10.07.2008, Бюл. № 13.

References:

1. Andrejv, O.A. (1998), «*Ekologichni aspekti vprovadzhennja novih tehnologij*», *Materiali Vseukraïns'koï naukovo-praktichnoï konferencii «Ekologichna osvita ta vihovannja uchnivs'koï molodi*», Kam'janec'-Podil's'kij, pp. 21–22.
2. Sysolin, P.V. (2005), *Pochvoobratyvajushhie i posevnye mashiny: istorija, mashinostroenie, konstruivanie*, Feniks, K., 264 p.
3. Kravchuka, V.I., Gricishina, M.I. and Kovalja, S.M. (ed) (2004), *Suchasni tendencii rozvitku konstrukcij sil's'kogospodars'koï tehniki*, Agrarna nauka, 396 p.
4. Gach, S., Kuczewski, J. and Waszkiewicz, C. (1991), *Maszyny rolnicze. Elementy teorii i obliczeń*, SGGW, Warszawa, 664 p.
5. Kuczewski, J. and Waszkiewicz, C. (1997), *Mechanizacja rolnictwa. Maszyny i urzadzenia do produkcji roślinnej i zwierzęcej*, SGGW, Warszawa, 552 p.
6. Woźniak, W. (2002), *Ciągniki i maszyny rolnicze. Budowa, przeznaczenie*, PIMR, Poznań, 905 p.
7. Antonov, A.P., Kabakov, N.S., Shherbina, P.A. and Gavryushin, V.I. (1975), *Kombinirovannye sel'skohozijs'tvennye agregaty. Al'bom-spravochnik*, Rossel'hozizdat, M., 183 p.
8. Zaluzhnyj, V.I. and Grycyshyn, M.I. (1997), «*Osoblyvosti komponuvannja i vykorystannja g'runtoobrobnyh kombinovanyh agregativ z pasyvnymy robochymy organamy*», *Mashynovyprobuvannja na sluzhbi progresu*, UkrNDIPVT, Doslidnyc'ke, pp. 87–92.
9. Mazitov, N.K. (2003), *Resursosberegajushhie pochvoobratyvajushhie mashiny*, Kazan', 456 p.
10. Polushkin, A.V. and Gluhovskij, V.S. (1992), *Kombinirovannaja mashina dlja vyravnivanja poverhnosti i obrabotki pochvy* [Combined machine for leveling the surface and tillage], UkrNII sel'hozmashinostroenija, opubl. vid 23 grudnja, A. s. 1782369, Bjul. № 47.
11. Andreev, A.A. and Korchak, N.N. (2008), «*Dinamicheskij analiz antijerozionnogo pochvoobratyvajushhego ustrojstva*», *Materialy 4-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii «Perspektywiczne opracowania nauki i techniki – 2008»*, Vol. 13, Nauka i studija, Pshemysl', pp. 48–51.
12. Korchak, M.M. (2016), «*Obruntuvannja tehnologichnoï funkcional'noï modeli sposobu obrobitku runtu pislja zbirannja grubosteblovih kul'tur*», *Zbirnik naukovih prac' PDAU*, Vol. 24, Kam'janec'-Podil's'kij, pp. 165–174.

13. Korchak, M.M. (2017), «Analiz rezultativ poshukovih eksperimental'nih doslidzhen' podribnjuvacha roslinnih zalishkiv grubosteblovih kul'tur», *Podil'skij visnik: sil'ske gospodarstvo, tehnika, ekonomika*, Vol. 25, Kam'janec'-Podil'skij, pp. 99–114.
14. Korchak, M.M. (2011), «Rezultati osnovnih pol'ovih eksperimental'nih doslidzhen' podribnjuvacha roslinnih zalishkiv grubosteblovih kul'tur», *Zbirnik naukovih prac' PDATU*, Vol. 19, Kam'janec'-Podil'skij, pp. 531–542.
15. Korchak, M.M. (2011), «Rezultati vidsijujuchogo ta poshukovih eksperimental'nih doslidzhen' podribnjuvacha roslinnih zalishkiv grubosteblovih kul'tur», *Zbirnik naukovih prac' VNAU. Tehnichni nauki*, Vol. 9, VNAU, Vinnicja, pp. 76–94.
16. Korchak, M.M. (2010), «Analiz tehnologij i konstrukcij mashin dlja obrobitku runtu, zasmichenogo roslinnimi zalishkami grubosteblovih kul'tur z rozrobkoju kombinovanogo sposobu ta podribnjuvacha dlja jogo realizaci», *Praci TDATU*, Issue 10, Vol. 7, TDATU, Melitopol', pp. 299–312.
17. Korchak, M.M. (2009), «Rozrobka kombinovanogo sposobu ta podribnjuvacha dlja runtu, zasmichenogo roslinnimi zalishkami», *Visnik LNAU. Agroinzhenerni doslidzhennja*, Vol. 13, LNAU, L'viv, pp. 155–163.
18. Korchak, M.M. and Andreev, O.A. (2014), *Virivnjuval'nij antierozijno-runtoobrobnyj pristrij*, Ukraïna, Pat. № 93012.
19. Korchak, M.M., Bendera, I.M. and Ermakov, S.V. (2008), *Kombinovanij podribnjuvach roslinnih zalishkiv grubosteblovih kul'tur*, Ukraïna, Pat. № 90535.
20. Korchak, M.M., Bendera, I.M., Ermakov, S.V. and Jakovenko, A.I. (2010), *Sposib zvil'nennja polja vid roslinnih zalishkiv grubosteblovih kul'tur*, Ukraïna, Pat. № 90538.
21. Korchak, M.M., Bendera, I.M., Ermakov, S.V. and Govorov, O.F. (2008), *Frezernij podribnjuvach korenevih ta listosteblovih zalishkiv*, Ukraïna, Pat. № 29342.
22. Korchak, M.M., Bendera, I.M., Ermakov, S.V. and Govorov, O.F. (2008), *Podribnjuvach korenevih ta listosteblovih zalishkiv*, Ukraïna, Pat. № 31514.
23. Korchak, M.M., Bendera, I.M. and Ermakov, S.V. (2008), *Kombinovanij kul'tivator-podribnjuvach*, Ukraïna, Pat. № 33829.
24. Korchak, M.M., Bendera, I.M. and Ermakov, S.V. (2008), *Kombinovanij frezernij kul'tivator-podribnjuvach roslinnih zalishkiv grubosteblovih kul'tur*, Ukraïna, Pat. № 33819.

Корчак Микола Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри ремонту машин та енергообладнання Подільського державного аграрно-технічного університету

Наукові інтереси:

- технічна експлуатація;
- моделювання технологічних процесів і систем;
- техніко-економічне обґрунтування науково-технічного проекту;
- енергозберігаючі технології.

E-mail: korchak_nikolay@ukr.net

Дудчак Тетяна Віталіївна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри ремонту машин та енергообладнання Подільського державного аграрно-технічного університету

Наукові інтереси:

- взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання;
- композиційні матеріали.

E-mail: dvp48@i.ua

Вільчинська Дарія Володимирівна – кандидат сільськогосподарських наук, асистент кафедри енергетики та електротехнічних систем в агропромисловому комплексі Подільського державного аграрно-технічного університету

Наукові інтереси:

- енергетичні системи;
- економічне обґрунтування енергетичних систем.

E-mail: Daria.Vilchinska@gmail.com

Стаття надійшла до редакції 19.02.2019.