

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2024-281-1-70-75>

УДК 631.31

АНАЛІЗ І ОБҐРУНТУВАННЯ МАШИНИ ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ІЗ ГОЛЧАТИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Фесенко Г.В., Курлов В.І.

ANALYSIS AND JUSTIFICATION OF A MACHINE FOR SURFACE TILLAGE WITH NEEDLE TILLAGE TOOLS

Fesenko H.V., Kurlov V.I.

Реалізація біопотенціалу сільськогосподарських культур тісно пов'язана з умовами їх вирощування, які створюються в першу чергу при поверхневому обробітку ґрунту сільськогосподарськими машинами. Необхідність поверхневого обробітку ґрунту проявляється як на початку, так і в процесі вирощування сільськогосподарських культур, що потребує застосування відповідних ґрунтообробних машин, до яких відносяться машини із голчатими робочими органами. Показники роботи таких машин в значній мірі залежать від їх конструктивних особливостей та стану ґрунту на відповідній стадії вегетації сільськогосподарських культур. При цьому, машини із голчатими робочими органами при поверхневому обробітку ґрунту створюють умови для збереження капілярності в кореневмісному шарі ґрунту, що сприяє збереженню його структури, а отже і родючості. Разом з цим, поверхневий обробіток ґрунту машинами із голчатими робочими органами у виробничих умовах не завжди відповідає агротехнічним вимогам щодо відновлення структури ґрунту. Установлено, що при поверхневому обробітку ґрунту відомими машинами із голчатими робочими органами, голки, переміщуючись у нижньому напрямку при зануренні в ґрунт, відхиляються від свого попереднього положення в напрямку руху машини, що призводить до руйнування ґрунтових агрегатів з утворенням переважно неструктурних часток, які не є агротехнічно цінними для ґрунту. Виходячи із цього, аналітичними та теоретичними дослідженнями, а також творчими пошуками, присвяченими машинам із голчатими робочими органами, напрямком

підвищення ефективності ними поверхневого обробітку ґрунту є удосконалення голчатих робочих органів ґрунтообробної машини, які створюють сприятливі умови для руйнування ґрунтових агрегатів з утворенням переважно структурних часток, що є агротехнічно цінними для ґрунту. В результаті творчих пошуків знайдено технічне рішення такої машини у вигляді культиватора поверхневого обробітку ґрунту, при застосуванні якого голки робочого органу, занурюючись в ґрунт, не відхиляються від свого попереднього положення, що створює умови руйнування ґрунтових агрегатів тільки шляхом їх розколювання з утворенням переважно макроструктурних часток, які є агротехнічно цінними для ґрунту, а отже для росту і розвитку сільськогосподарських культур.

Ключові слова: машина, обробіток, структура, голка, агрегат, ґрунт, вимоги.

Вступ. Сільське господарство є важливою галуззю економіки держави, завдання якої задовольнити потреби населення продуктами харчування та промисловість відповідною сировиною. Установлено, що ефективність виробництва рослинницької продукції в значній мірі залежить від якості виконання механізованих технологій та прийнятого виду обробітку ґрунту (рис. 1).



Рис. 1. Структурна схема обробітку ґрунту в технологічних процесах вирощування сільськогосподарських культур

При цьому особливе місце займає поверхневий обробіток, виконання якого повинно бути здійснено відповідними машинами з дотриманням агротехнічних вимог щодо створення сприятливих умов росту і розвитку культурних рослин на протязі їх вегетаційного періоду, в тому числі за рахунок підвищення структурності ґрунту [1]. Разом з цим, при поверхневому обробітку ґрунтообробні машини із голчатими робочими органами, до яких відносяться БІР-1, БІР-3, БІР-5 та інші, допускають відхилення від агротехнічних вимог стосовно підвищення структурності ґрунту, на важливості якої наголошували відомі ґрунтознавці В. Докучаєв, П. Костичев, О. Ізмаїльський та ін.

В результаті аналітичних досліджень встановлено, що робочі органи таких ґрунтообробних машин при взаємодії з ґрунтовими агрегатами руйнують їх з утворенням часток різних розмірів, переважно ударом, роздавлюванням, розколюванням та поєднаною їх дією [2]. Досліджено, що ударне руйнування ґрунтових агрегатів при поверхневому обробітку ґрунту характеризується короточасовим динамічним навантаженням при зіткненні робочих органів машини з такими агрегатами, внаслідок чого утворюються в значній більшості мікроструктурні частки розміром менше 0,25 мм, які виходять за межі агротехнічно цінних для ґрунту [3]. Також встановлено, що руйнування ґрунтових агрегатів роздавлюванням має місце при їх стисненні робочими органами машини в ґрунтовому середовищі. При цьому руйнування ґрунтового агрегату відбувається, коли внутрішнє напруження в ньому перевищить межу міцності стиску, внаслідок чого утворюються частки

різних розмірів, переважно мікроструктурні. Руйнування ґрунтових агрегатів розколюванням, як встановлено, відбувається за рахунок їх розклинення загостреними робочими органами, під дією максимальних напружень, що виникають між ними і ґрунтовими агрегатами, при цьому утворюються в переважній більшості макроструктурні частки розміром 0,25-10 мм, які є агротехнічно цінними для ґрунту. Загалом, вид руйнування ґрунтових агрегатів в значній мірі залежить від характеру взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин із поверхневим ґрунтом, який оцінюється коефіцієнтом його структурності $K_{стр}$:

$$K_{стр} = \frac{\sum A_{ц}}{\sum A_{н}}, \quad (1)$$

де $A_{ц}$ – агротехнічно цінні структурні частки, %;
 $A_{н}$ – агротехнічно нецінні частки ґрунту і його агрегати, %.

Також встановлено, що із збільшенням коефіцієнта структурності ґрунту, його фізико-механічні показники підвищуються, що сприяє покращенню умов росту і розвитку сільськогосподарських культур. Структурний стан ґрунту при поверхневому обробітку машинами з різними робочими органами може відповідати наступним показникам (табл.).

Таблиця

Оціночні показники структурності ґрунту

Вміст макроструктурних часток від 0,25 до 10 мм, %	Оцінка стану ґрунту
Більше 80	відмінний
80–60	добрий
40–59	задовільний
20–39	незадовільний

Метою роботи є дослідження сучасного стану поверхневого обробітку ґрунту машинами із голчатими робочими органами та підвищення якісних показників їх застосування.

Основне завдання дослідження: дослідити технологічний процес поверхневого обробітку ґрунту з удосконаленням голчатого робочого органу ґрунтообробної машини.

Аналітичними дослідженнями відомих машин із голчатими робочими органами встановлено, що для покращення показників їх роботи, а саме підвищення структурності ґрунту при поверхневому його обробітку, необхідно

створити такі умови взаємодії голок із ґрунтовими агрегатами, щоб їх руйнування відбувалось переважно з утворенням макроструктурних ґрунтових агрегатів. Важливість руйнування робочими органами мегаструктурних ґрунтових агрегатів полягає саме в утворенні при цьому макроструктурних часток, які створюють найсприятливіші умови для росту і розвитку сільськогосподарських культур. Разом з цим, питання, пов'язані із підвищенням якісних показників поверхневого обробітку ґрунту ґрунтообробними машинами із голчатими робочими органами ще не повністю вирішені і потребують подальшого їх дослідження.

У результаті аналізу відомих досліджень, присвячених взаємодії голчатих робочих органів із ґрунтом, встановлено, що під час перекочування таких робочих органів при поверхневому обробітку ґрунту, занурення кожної голки 1 в ґрунт відбувається з переміщенням її в нижньому напрямку та одночасним повертанням диском 2 голки 1 відносно її загостреного кінця в напрямку руху ґрунтообробної машини [4] (рис. 2).

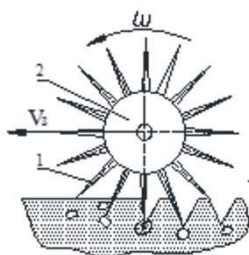


Рис. 2. Схема взаємодії голчатого робочого органу з ґрунтовими агрегатами:
1 – голка; 2 – диск

При переміщенні голки 1 в нижньому напрямку, відповідно до теорії клина, під дією нормальних сил, що розвиваються з бокових сторін голки 1, відбувається руйнування розколюванням ґрунтових агрегатів з утворенням переважно макроструктурних часток, агротехнічно цінних для ґрунту [5]. При повертанні голки відносно свого загостреного кінця відбувається стискування нею ґрунтових агрегатів і, як наслідок, їх руйнування роздавлюванням з утворенням переважно мікроструктурних часток, які не є агротехнічно цінними для ґрунту. Разом з цим, якщо максимальні напруження, які виникають між голкою і ґрунтовим агрегатом не перевищують його внутрішні сили зчеплення, то такий ґрунтовий агрегат підвищеної твердості

вдавлюється в ґрунт або зміщується в бокову сторону, залишаючись не зруйнованим.

Відома також машина поверхневого обробітку ґрунту з голчатими робочими органами, наділеною властивістю руйнування ґрунтових агрегатів, в тому числі з підвищеною твердістю [6] (рис. 3).

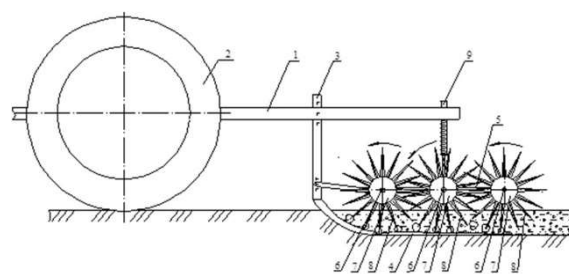


Рис. 3. Культиватор для поверхневого обробітку ґрунту:

- 1 – рама; 2 – колесо; 3 – стійка; 4 – лапа; 5 – полоз;
6 – вісь обертання голчатих дисків; 7 – диск;
8 – голка; 9 – натискний пристрій

Під час роботи такого ґрунтообробного знаряддя ґрунтові агрегати, в яких внутрішнє напруження перевищує межу міцності тиску зі сторони голки 8, переміщуються ними в нижньому напрямку до лапи 5. При цьому реакція лапи 5 на ґрунтовий агрегат підвищує його протидію голці 8, в результаті подолання якої відбувається руйнування ґрунтового агрегату підвищеної твердості шляхом розколювання. Разом з цим, при зануренні в ґрунт голки 8, відбувається повертання її диском 8 в напрямку руху культиватора, і, як наслідок, стиснення голкою 5 на своєму шляху ґрунтового агрегату, що призводить до його роздавлювання з утворенням переважно мікроструктурних часток.

Теоретичними дослідженнями процесу переміщення голчатого диска з перекочуванням при поверхневому обробітку ґрунту встановлено, що кожна голка здійснює складний рух, характер якого подібний циклоїді [7] (рис. 4).

При цьому, траєкторія абсолютного руху точок голки в горизонтальному і вертикальному напрямках визначаються рівняннями наступного вигляду:

$$x_i = v_m \cdot t + r_i \cdot \cos \omega t, \quad (2)$$

$$y_i = r_i \cdot \sin \omega t. \quad (3)$$

де r – радіус твірного кола;
 ω – кутова швидкість.

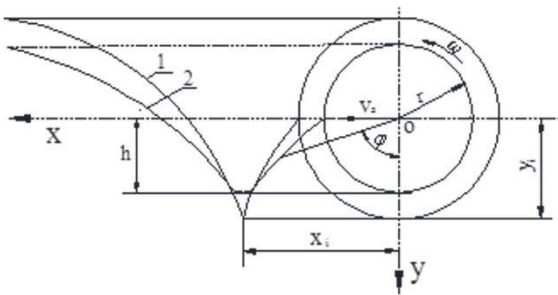


Рис. 4. Схема переміщення точок голки при перекочуванні голчатого диска по ґрунту: 1 – по звичайній циклоїді; 2 – по укороченій циклоїді

Слід відмітити, що рух точки, що знаходиться на нижній частині голки, відбувається по звичайній циклоїді з переносним рухом зі швидкістю v_s ґрунтообробного знаряддя і відносним рухом з кутовою швидкістю ω (рис. 4, поз. 1). При цьому кожна точка, що розташована вище точки нижньої частини голки, здійснює свій рух у вигляді укороченої циклоїди (рис. 4, поз. 2), яка характеризується наступним рівнянням:

$$x = r \cdot \varphi - h \cdot \sin \varphi, \quad (4)$$

$$y = r - h \cdot \cos \varphi, \quad (5)$$

де h – відстань точки від центра кола;
 φ – кут повороту кола при його коченні.

У результаті теоретичного аналізу взаємодії голчатого робочого органу з ґрунтом установлено, що передумови руйнування голкою ґрунтових агрегатів розколюванням створює траєкторія фіксованої точки нижньої загостреної частини голки, рухаючись по звичайній циклоїді. Передумови руйнування голкою ґрунтових агрегатів роздавлюванням створюють траєкторії фіксованих точок незагостреної верхньої частини голки, які здійснюють рух по укороченій циклоїді.

Покращити якісні показники поверхневого обробітку ґрунту голчатими робочими органами можливо за рахунок підвищення коефіцієнта його структурності шляхом збільшення макроструктурних часток при руйнуванні мегаструктурних ґрунтових агрегатів. Для цього в машині для поверхневого обробітку ґрунту з установленими на осях кільчастими дисками із голчатими елементами, на їх осі слід закріпити кривошипи і з'єднати їх із хрестовинами, при цьому, хрестовини необхідно з'єднати із ексцентриковим механізмом, а голки закріпити

на валу із спрямуванням їх загостреної частини в нижньому напрямку. Під час поверхневого обробітку ґрунту такою машиною, наприклад у вигляді культиватора, голки 9 своїми вістрями 10, занурюються в ґрунт і під дією сил, що виникають від їх взаємодії з ґрунтом, обертають диски 9 через вали 11 [8] (рис. 5).

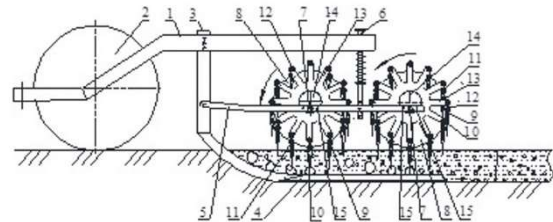


Рис. 5. Схема культиватора для поверхневого обробітку ґрунту з голчатими робочими органами: 1 – рама; 2 – колеса; 3 – стійка; 4 – лапа; 5 – полоз; 6 – пристрій; 7 – вісь; 8 – диски; 9 – голки; 10 – вістря голок; 11 – вал; 12 – кривошип; 13 – хрестовина; 14 – ексцентриковий механізм; 15 – пристрій регулювальний

При цьому хрестовини 13 через кривошипи 12 повертають вали 11 відносно дисків 9, зберігаючи при цьому задане їх положення, що забезпечує занурювання вістря 11 голок 10 в ґрунт у вертикальному положенні. При зустрічі дисків 8 із мегаструктурними ґрунтовими агрегатами, полоз 5 під дією пружного механізму 6 передає свій тиск через ексцентриковий механізм 14, диски 8, вали 11 на голки 9. При перевищенні сили тиску голок 9 на ґрунтові агрегати силам їх внутрішнього зчеплення, відбувається їх руйнування вістрями 10 шляхом розколювання, внаслідок чого утворюються переважно агротехнічно цінні макроструктурні частки. При недостатній силі розколювання голками 9 ґрунтових агрегатів, відбувається їх переміщення у напрямку до лапи 4 з подальшим притисненням голкою 9 до поверхні лапи 4. При цьому протидія лапи 4 створює умови підвищеної сили тиску голки 9 на ґрунтовий агрегат, внаслідок чого відбувається його руйнування розколюванням з утворенням переважно макроструктурних часток. Подальше переміщення валами 11 голок 9 відбувається у зворотному напрямку із збереженням їх вертикального положення, упереджуючи тим самим руйнування утворених структурних часток.

Застосування такого культиватора при поверхневому обробітку ґрунту підвищить якісні показники за рахунок руйнування тільки

шляхом розколюванням мегаструктурних ґрунтових агрегатів, внаслідок чого утворюються переважно агротехнічно цінні макроструктурні частки, а також упереджується руйнування ґрунтових агрегатів роздавлюванням, при якому утворюються переважно мікроструктурні частки, що не являються агротехнічно цінними для ґрунту.

Висновки. У результаті проведеного аналізу поверхневого обробітку ґрунту машинами з голчатими робочими органами встановлено, що виконання ними такого агротехнічного заходу відбувається із значним відхиленням від агротехнічних вимог щодо підвищення структурності ґрунту. Причиною цього, як встановлено, є те, що відомі машини для поверхневого обробітку ґрунту з голчатими робочими органами допускають руйнування ґрунтових агрегатів шляхом роздавлювання, внаслідок чого утворюються переважно мікроструктурні частки, які не є агротехнічно цінними для ґрунту. При цьому теоретичними дослідженнями встановлено, що для підвищення якості поверхневого обробітку ґрунту машиною з голчатим робочим органом, їх голки при зануренні в ґрунт не повинні відхилятися від свого заданого положення, що створює умови руйнування ними ґрунтових агрегатів шляхом тільки розколювання, а отже і отримання при цьому переважно макроструктурних часток, які є агротехнічно цінними для ґрунту. В результаті творчих пошуків знайдено технічне рішення у вигляді культиватора для поверхневого обробітку ґрунту, який відрізняється новизною, і характеризується тим, що голки своїми стрижнями занурюються в ґрунт у вертикальному напрямку без зміни свого положення до виходу із ґрунту, забезпечуючи тим самим руйнування ними ґрунтових агрегатів тільки шляхом їх розколювання, що підвищує структурність ґрунту.

Література

1. Агротехнічні вимоги та оцінка якості обробітку ґрунту : підручник / М. С. Чернілевський та ін. 2-ге вид. Житомир : Житом. нац. агрокол. ун-т, 2012. 84 с.
2. Цизь І. Є. Конструкція, розрахунок і виробництво сільськогосподарських машин. Луцьк : ЛНТУ, 2008. 140 с.
3. Лепеть Є. І. Методика оцінки якості обробітку ґрунту. Вісник ДДАЕУ. 2014. № 10. С. 16–17.

4. Аналітичне оцінювання взаємодії голки голчастої борони із ґрунтом / В. О. Шейченко та ін. Вісник аграрної науки. 2019. № 3. С. 107–114.
5. Ветохін В. І. До теорії ґрунтообробного клину. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград, 2011. С. 301–308.
6. Культиватор для поверхневого обробітку ґрунту : пат. 126028 Україна : А01В 35/18. № а201702193 ; заявл. 09.03.2017 ; опубл. 11.06.2018, Бюл. № 11. 4 с.
7. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку / Д. Г. Войтюк та ін. ; ред. Д. Г. Войтюк. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.
8. Культиватор для поверхневого обробітку ґрунту : пат. 124869 Україна : А01В 35/18. № а202006553 ; заявл. 12.10.2020 ; опубл. 01.12.2021, Бюл. № 48. 4 с.

References

1. Ahrotekhnichni vymohy ta otsinka yakosti obrobitku gruntu : pidruchnyk / M. S. Chernilevskiyi ta in. 2-he vyd. Zhytomyr : Zhytom. nats. ahroekol. un-t, 2012. 84 s.
2. Tsyz I. Ye. Konstruktsiia, rozrakhunok i vyrobnytstvo silskohospodarskykh mashyn. Lutsk : LNTU, 2008. 140 s.
3. Lepet Ye. I. Metodyka otsinky yakosti obrobitku gruntu. Visnyk DDAEU. 2014. № 10. S. 16–17.
4. Analitychne otsiniuvannia vzaemodii holky holchactoi borony iz gruntom / V. O. Sheichenko ta in. Visnyk ahrarnoi nauky. 2019. № 3. S. 107–114.
5. Vetokhin V. I. Do teorii gruntoobrobnoho klynu. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn. Kirovohrad, 2011. S. 301–308.
6. Kulyvator dlia poverkhnevoho obrobitku gruntu : pat. 126028 Ukraina : A01V 35/18. № а201702193 ; zaiavl. 09.03.2017 ; opubl. 11.06.2018, Biul. № 11. 4 s.
7. Silskohospodarski mashyny. Osnovy teorii ta rozrakhunku / D. H. Voitiuk ta in. ; red. D. H. Voitiuk. Kyiv : Vyshcha osvita, 2005. 464 s.
8. Kulyvator dlia poverkhnevoho obrobitku gruntu : pat. 124869 Ukraina : A01V 35/18. № а202006553 ; zaiavl. 12.10.2020 ; opubl. 01.12.2021, Biul. № 48. 4 s.

Fesenko H.V., Kurlov V.I., Analysis and justification of a machine for surface tillage with needle tillage tools

The realization of the biopotential of crops is closely related to the conditions of their cultivation, which are created primarily by surface tillage with agricultural machinery. The need for surface tillage is manifested both at the beginning and in the process of growing crops, which requires the use of appropriate tillage machines, which include machines with needle tillage tools. The performance of such machines largely

depends on their design features and soil conditions at the appropriate stage of the crop growing season. At the same time, machines with needle tillage tools create conditions for maintaining capillarity in the root layer of the soil, which helps to preserve its structure and, consequently, fertility. At the same time, surface tillage with machines with needle tillage tools in production conditions does not always meet the agrrotechnical requirements for restoring soil structure. It has been established that during surface tillage with well-known machines with needle tillage tools, the needles, moving in the downward direction when immersed in the soil, deviate from their previous position in the direction of machine movement, which leads to the destruction of soil aggregates with the formation of mainly non-structural particles that are not agronomically valuable for the soil. Based on this, analytical and theoretical studies, as well as creative research on machines with needle tillage tools, the direction of increasing the efficiency of their surface tillage is to improve the needle tillage tools of a tillage machine, which create favorable conditions for the destruction of soil aggregates with the formation of mainly structural particles that are agronomically valuable for the soil. As a result of creative searches, a

technical solution was found for such a machine in the form of a surface tillage cultivator, in which the needles of the working body, immersed in the soil, do not deviate from their previous position, which creates conditions for the destruction of soil aggregates only by splitting them with the formation of mainly macrostructural particles that are agronomically valuable for the soil, and therefore for the growth and development of crops.

Keywords: machine, tillage, structure, needle, aggregate, soil, requirements.

Фесенко Григорій Васильович – к.т.н., доцент кафедри механізації сільського господарства Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: h.fesenko@snu.edu.ua.

Курлов В'ячеслав Ігорович – асистент кафедри механізації сільського господарства Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: v.kurlov@snu.edu.ua.

Стаття подана 18.01.2024.