

УДК 631.312; 631.316.22

## **ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ГЛИБОКОГО РИХЛЕННЯ ГРУНТУ КОМБІНОВАНИМ ЧИЗЕЛЬНИМ ЗНАРЯДДЯМ**

Сало В.М., д.т.н.,

Лещенко С.М., к.т.н., докторант\*

*Кіровоградський національний технічний університет*

Тел. (0522)39-04-72, e-mail: serafsgm.ua@gmail.com

**Анотація** – робота присвячена формалізації процесу глибокого рихлення ґрунту комбінованим чизельним знаряддям. Із урахуванням фізико-механічних властивостей ґрунтів та особливостей їх взаємодії з робочими органами для проведення теоретичних досліджень запропоновані основні положення процесу подрібнення ґрунту. На основі формалізації процесу розроблено конструкцію комбінованого чизеля із додатковими вертикальними та горизонтальними деформаторами.

**Ключові слова** – формалізація процесу, комбінований чизель, глибоке рихлення, структурні агрегати ґрунту, чизельна лапа.

*Постановка проблеми.* Актуальним питанням сьогодення є проведення ефективного безвідвального обробітку ґрунту з метою збереження його родючості, зменшення проявів вітрової та водної ерозії, руйнування ущільненої підорної підшви, покращення інфільтраційних властивостей земель аграрного призначення тощо. Існуюча закордонна техніка, яка може використовуватися для глибокого рихлення ґрунту, не тільки має високу вартість, але часто не в повній мірі адаптована до дійсних ґрунтово-кліматичних умов України. Так встановлено, що сьогодні близько 40-50% орних земель лісостепу та степу України складають середні та важкі суглинки, під час обробітку яких робочі органи машин і знарядь швидко зношуються, часто не забезпечують виконання агротехнічних вимог. Крім того, не проведена диференціація допоміжних робочих органів в залежності від фізико-механічних властивостей ґрунтів, що у своїй сукупності не дозволяє надати чіткі рекомендації та ефективно впровадити технології безвідвального обробітку ґрунту.

*Аналіз останніх досліджень.* Питаннями вдосконалення існуючих конструкцій та розробкою нових знарядь для глибокого рихлення ґрунтів займалися ряд вітчизняних та закордонних вчених [1, 2, 4, 6]. Якщо з практичної точки зору це питання можна вважати частково

вирішеним, оскільки є ряд напрацювань відносно перспективних конструкцій робочих органів та допоміжних знарядь [1-9], то на етапі аналітичного моделювання виникає кілька невіршених проблем. На-самперед, це пов'язане із особливістю виконання основного безвідвального обробітку ґрунту комбінованими знаряддями та полягає в тому, що різні робочі органи, які входять до складу знаряддя, працюють з ґрунтом, як із середовищем, що має різні характеристики. Раніше неодноразово робилися припущення, що основні робочі органи, які першими розпушують необроблений злежаний ґрунт, контактують з суцільним пружно-пластичним середовищем, а робочі органи, які забезпечують додаткове подрібнення попередньо зрушених шарів, контактують з середовищем, яке складається з окремих різних за розмірами та властивостями агрегатів ґрунту. За таких умов виникає необхідність застосування різних підходів до аналізу процесів взаємодії робочих органів з ґрунтом на відповідних стадіях його обробітку.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Зважаючи на необхідність інтенсифікації глибокого рихлення комбінованими чизельними ґрунтообробними знаряддями доцільно виробити єдиний підхід до математичного моделювання у вигляді основних положень процесу подрібнення ґрунту під дією робочого органу сільськогосподарських машин.

*Основна частина.* Ґрунт є складною природною фізико-механічною структурою, в якій самовільне кришення та зміна агрегатного стану неможлива і відбувається тільки за рахунок поглинання енергії дії робочих органів. З урахуванням цього, розглядаючи продуктивний шар ґрунту як структуру, що може знаходитися тільки в незруйнованому робочим органом стані та зруйнованому після закінчення його дії, вважають, що однонаправлений перехід від одного стану до іншого може відбуватися у фізичному просторі на деякій поверхні руйнування, яка є поверхнею розриву (тріщиною) для напружень та деформацій і переміщується, розділяючи їх під впливом зовнішньої дії одним або кількома сукупними способами. Отже, руйнування ґрунту та його агрегатів слід розглядати як процес утворення та еволюції динамічних тріщин, кількість яких у заданому об'ємі залежить від кількості поглинутої енергії зовнішньої дії та фізико-механічних властивостей ґрунту.

Існуючі детерміновані математичні моделі ґрунту як пружно-пластичної або сипучої структури, дозволяють визначити співвідношення між параметрами та кінематикою руху робочого органу і динамікою зміни його граничного стану, який супроводжується утворенням тріщин і руйнуванням. При цьому вони не дають відповіді на основне питання агротехніки обробітку ґрунту – виявлення закономірностей зміни його агрегатного стану або процесу подрібнення.

На процес кришення ґрунту впливає ряд факторів. Серед них можна виділити механічний склад, який передбачає наявність дискретних твердих частинок та відповідних зв'язків, а останні, в свою чергу, визначаються співвідношенням твердої, рідкої і газоподібної фракцій, із яких складається ґрунт.

Найбільшу міцність зв'язків пружного характеру мають ґрунти з високим вмістом фізичної глини. Зв'язуючими елементами в них служать щільно розміщені й притиснені одна до одної найдрібніші мулістні частинки. При певному вмісті вологи такі ґрунти характеризуються наявністю деформації стиснення, яка описується законом Гука

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (1)$$

де  $\sigma$  – напруження;

$E$  – модуль пружності;

$\varepsilon$  – відносна деформація.

Для таких ґрунтів К.Терцагі запропонував залежність між модулем пружності  $E$  і тиском  $P$

$$E = c \cdot P, \quad (2)$$

де  $c$  – константа, що залежить від властивостей матеріалу.

Міцність таких зв'язків для висушених глинистих ґрунтів найвища. В зв'язку з цим вони дуже погано піддаються кришенню і потребують значних затрат енергії, а при механічному впливу на них, у більшості випадків, розділяються на крупні глиби.

При виконанні обробітку ґрунту клином середнє значення максимальних розмірів агрегатів у напрямку руху клина, які розташовані на поверхні обробленого поля знаходяться в залежності від періодичності  $t$  сколювання масиву. Кількість елементів  $n$  на які розділяється відділена скиба ґрунту за одну секунду дорівнює

$$n = \frac{V_m \cdot t}{l_c}, \quad (3)$$

де  $V_m$  – швидкість руху робочого органу;

$l_c$  – довжина сколеної скиби.

Таким чином, при взаємодії робочого органу з ґрунтом у ньому утворюються тріщини по поверхнях найменшої міцності зв'язків між окремими агрегатами. В результаті наявності процесів пластичної деформації ґрунту та ущільнення об'єму за рахунок витіснення повітря значна частина енергії, що йде на подрібнення, поглинається і силове поле створене робочим органом у шарі ґрунту при віддаленні від нього поступово затухає, а кількість тріщин зменшується за рахунок їх злиття. Безумовно, що кількість тріщин і кількість утворених агрегатів мають між собою лінійну залежність, тому вивчати процес зміни агрегатного стану ґрунту під дією робочого органу, можливо також дослі-

джуючи процес утворення та еволюції тріщин.

Механіка утворення тріщин і грудочок полягає в тому, що спочатку об'єм ґрунту при стисканні робочим органом піддається пластичній деформації за рахунок зменшення скважності ґрунту і витіснення повітря, а потім цей об'єм або окремі агрегати ґрунту починають зміщуватися і рухатися в напрямку дії головного вектору сил. Швидкість і величина переміщення агрегатів ґрунту по довжині клина буде різною, що і приводить до утворення тріщин та мілкого подрібнення агрегатів, що сприяє утворенню значної кількості дрібної фракції.

Тому, в подальшому, для аналітичного дослідження найбільш доцільно прийняти наступні основні положення процесу подрібнення ґрунту під дією робочого органу сільськогосподарської машини:

1. Продуктивний шар ґрунту сільськогосподарського призначення необхідно розглядати як пружно-пластичну із зчепленням структуру, в якій зв'язок між нормальним та дотичним напруженням може бути виражений лінійною залежністю

$$\tau_n = \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 + k_3, \quad (4)$$

де  $\sigma_n$  і  $\tau_n$  – нормальне та дотичне напруження;

$\varphi_2$  – кут внутрішнього тертя;

$k_3$  – коефіцієнт зчеплення.

2. Елементарний об'єм ґрунту може знаходитися в незруйнованому та зруйнованому стані з однонаправленим переходом від першого до другого.

3. Враховуючи механічний склад ґрунту та відповідні зв'язки між його елементами, поглинання енергії дії робочого органу проявляється в зменшенні скважності, порушенні міжагрегатних зв'язків та утворення тріщин.

4. Структурний стан ґрунту під дією робочого органу змінюється з інтенсивним утворенням тріщин та розривів і відповідно їм кількості агрегатів до моменту досягнення критичних напружень його міцності.

5. Форма та розміри агрегатів ґрунту після сколювання та руйнування скиб мають явно виражений випадковий характер.

6. В основу аналітичного дослідження процесу подрібнення ґрунту та зміни його агрегатного стану найбільш доцільно прийняти стохастичну модель.

7. Критерієм якості обробітку можна вважати ступінь подрібнення ґрунту  $S_n$ , а у відсотковому відношенні якість обробітку  $C$ .

Критерій якості безвідвального обробітку ґрунту, який розраховується відсотковим вмістом у ґрунті по масі агрегатів з розмірами до

50 мм, не повинен бути меншим 75-80%. Якщо його виразити в долях від одиниці об'єму чи маси ґрунту, то він буде представляти ймовірність утворення агрегатів із відповідними розмірами і буде характеризувати ступінь подрібнення. З урахуванням цього

$$C = (1 - P_0) \cdot 100\% \quad S_{II} = 1 - P_0, \quad (5)$$

де  $P_0$  – ймовірність того, що розміри структурних агрегатів будуть в межах  $a \geq 50$  мм.

Таку просту, зрозумілу і практично доступну величину  $S_{II}$  доцільно розглядати не як абсолютну величину, а як відносну, і розраховувати відповідно за залежністю

$$S_{II} = \frac{P_{0Pi} - P_{0ki}}{P_{0Pi}} = 1 - \frac{P_{0ki}}{P_{0Pi}} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (6)$$

де  $P_{0Pi}$ ,  $P_{0ki}$  – початкове та кінцеве значення  $P_0$  при обробітку ґрунту кількома агрегатами ( $n$ ).

Таким чином, ступінь подрібнення можна характеризувати ймовірністю, а якість – відсотковим вмістом в загальній масі агрегатів, розміри яких не перевищують 50 мм. Тоді, моделюючи безвідвальний процес обробітку ґрунту, ми будемо розглядати взаємодію робочого органа у вигляді двогранного клина із суцільним структурованим шаром ґрунту із заданими фізико-механічними властивостями. Така взаємодія буде проявлятися в деформації ґрунту із збільшенням напруження в ньому та кількості тріщин, які будуть формувати сукупність майбутніх агрегатів. Будемо вважати, що між кількістю тріщин та отриманих агрегатів ґрунту є пряма пропорційна залежність.

На основі принципу формалізації процесу глибокого рихлення на кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету розроблено конструкцію комбінованого чизеля (рис. 1).

Основним робочим органом розробленої машини є чизельна лапа, яка складається з стояка, долота, зуба для подрібнення брил та крил. Допоміжним робочим органом є спарений зубчастий коток 5, який крім функції регулювання глибини обробітку проводить розбивання крупних грудок, заробку рослинних решток в нижні горизонти і їх перемішування на глибину 15-20 см. Залежно від умов роботи спареним зубчастим котком можна регулювати глибину обробки чизелем та інтенсивність перемішування і подрібнення часток ґрунту після чизелювання.

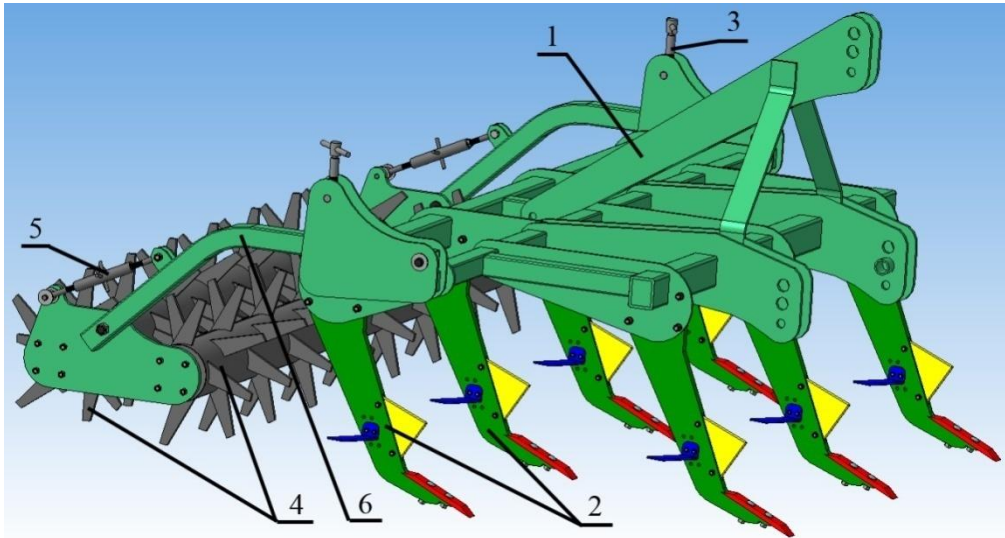


Рис. 1. Загальний вигляд комбінованого чизеля: 1 – рама; 2 – лапа чизельна; 3 – регулювальний механізм; 4 – спарений зубчастий коток; 5 – гвинт; 6 – механізм кріплення котка

Під час рихлення ґрунту чизельною лапою долото сколює суцільне середовище, зуб інтенсивно подрібнює брили і відводить їх від стояка, а крила крім підрізання бур'яну додатково кришать ґрунт, та залежно від їх місця розміщення на стояку можуть зменшувати нерівності дна борозни. Зміна положення крил відносно дна борозни відбувається шляхом переміщення останніх в отворах на стояку та їх закріплення гвинтами. Аналіз процесу рихлення ґрунту запропонованою чизельною лапою дозволяє умовно виділити горизонтальні та вертикальні деформатори. До горизонтальних можна віднести долото та крила, які підрізають кореневу систему рослин та рихлять ґрунт; до вертикальних – стояк та зуб, які подрібнюють ґрунт та розбивають брили.

#### *Висновки.*

1. При проведенні безвідвального обробітку ґрунтів існуючі машини і знаряддя не повністю адаптовані до дійсних ґрунтово-кліматичних умов та не в повній мірі забезпечують виконання агротехнічних вимог.

2. Проведено формалізацію процесу глибокого рихлення, що дозволяє на основі стохастичної моделі та з урахуванням механіко-технологічних властивостей ґрунту оцінити якісні показники обробітку.

3. Розроблено конструкцію комбінованого чизеля у складі чизельної лапи із вертикальними та горизонтальними деформаторами, що у поєднанні із допоміжними робочими органами – зубчастими котками, дозволяє підвищити інтенсивність кришення ґрунту і частково заробляти рослинні рештки на задану глибину.

*Література*

1. *Гуков Я.С.* Обробіток ґрунту. Технологія і техніка / *Я.С. Гуков.* – К.: Нора-Прінт, 1999. – 280 с.
2. *Сало В.М.* Науково-технологічні основи обґрунтування складу та параметрів комбінованих ґрунтообробних знарядь: автореферат дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11 / *В. М. Сало.* – Тернопіль, 2008. – 38 с.
3. *Лещенко С.М.* Технічне забезпечення збереження родючості ґрунтів в системі ресурсозберігаючих технологій / *С. М. Лещенко, В. М. Сало* // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2013. – Вип. 43, ч. 1. – С. 96-102.
4. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Підручник / *О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк, В. М. Швайко* та ін.; За ред. *С. С. Яцуна.* – К.: Мета, 2003. – 448 с.
5. *Лещенко С.* Состояние вопроса и перспектива интенсификации работы чизельных орудий с целью сохранения естественного плодородия / *С. Лещенко, В. Сало, А. Васильковский* // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. Vol. 16 – №2, Lublin – Rzeszów: Polish Academy of Sciences, 2014. – P. 195-201.
6. *Бледных В.В.* Устройство, расчет и проектирование почвообрабатывающих орудий: Учебное пособие / *В.В. Бледных.* – ЧГАА, Челябинск, 2010. – 214 с.
7. *Leschenko S.* Experimentales timate of thee ficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil / *S. Leschenko, V. Salo, D. Petrenko* // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2014. – Вип. 44. – С. 237-243.
8. *Лещенко С.М.* Адаптація операцій чизельного обробітку до складних ґрунтово-кліматичних умов центральної України / *С. М. Лещенко, В. М. Сало, О. М. Васильковський, Д. І. Петренко, В. А. Дейкун.* // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. – Вип. 3. – Мелітополь: Копіцентр «Документ-сервіс», 2015. – С. 102-110.
9. *Лещенко С.М.* Експериментальна оцінка якості роботи комбінованого чизеля з додатковими горизонтальними та вертикальними деформаторами / *С. М. Лещенко, В. М. Сало, Д. І. Петренко* // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2015. – Вип. 156. Механізація сільського господарства – С. 25-34.

## **ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГЛУБОКОГО РЫХЛЕНИЯ ПОЧВЫ КОМБИНИРОВАННЫМ ЧИЗЕЛЬНЫМ ОРУДИЕМ**

В.М. Сало, С.М. Лещенко

*Аннотация* – работа посвящена формализации процесса глубокого рыхления почвы комбинированным чизельным орудием. С учетом физико-механических свойств почв и особенностей их взаимодействия с рабочими органами для проведения теоретических исследований предложены основные положения процесса измельчения грунта. На основе формализации процесса разработана конструкция комбинированного чизеля с дополнительными вертикальными и горизонтальными деформаторами.

## **FORMALIZATION OF DEEP SOIL LOOSENING COMBINED CHISEL**

V. Salo, S. Leschenko

### *Summary*

Activity is dedicated to the formalization of the process of deep soil loosening combined chisel instrument. In view of the physical and mechanical properties of soils and characteristics of their interaction with the working bodies for carrying out theoretical studies suggested the main provisions of the grinding process of the soil. On the basis of the formalization of the process of design combined chisel with additional vertical and horizontal deformers.