

УДК 63131.001.2

## Дослідження переміщення подрібненого ґрунту у вертикальній площині під дією ротаційних ґрунтообробних машин

В.І.Пастухов<sup>1</sup>, С.А.Бєловол<sup>2</sup>

Харківський національний технічний університет сільського господарства  
ім.П.Василенка (м. Харків, Україна) <sup>1</sup>pastukhov@list.ru, <sup>2</sup>brazhenko\_sa@mail.ru

За результатами теоретичних досліджень отримана математична модель процесу переміщення частинок подрібненого ґрунту у вертикальній площині під дією активного робочого органу з вертикальною віссю обертання, що дало змогу визначити раціональні конструктивно-режимні параметри ротаційного органу, які забезпечують збереження продуктивної вологи в кореневмісному шарі ґрунту, шляхом запобігання виносу нижніх шарів на поверхню поля.

**Ключові слова:** міжрядний обробіток ґрунту, ротаційний робочий орган, грудочки ґрунту, напрям переміщення.

**Проблема.** Застосування ротаційних робочих органів приводної дії для міжрядного обробітку просапних культур забезпечує якісне видавлення і мульчування бур'янів, рихлення та перемішування кореневмісного шару ґрунту, а також вирівнювання поверхні поля після обробки при мінімальній ширині захисної зони [1, 2]. Аналіз результатів теоретичних і експериментальних досліджень, а також виробничого досвіду свідчить про доцільність застосування просапних культураторів, обладнаних активними робочими органами у порівнянні з пасивним [3, 4]. У цьому разі додаткові енерговитрати компенсуються високою якістю виконання технологічного процесу, зниженням або повною відмовою від ручної праці та застосування гербіцидів, що, в свою чергу забезпечує формування високих урожаїв та якість і екологічну безпеку кінцевої продукції.

Проте, одним із обмежуючих факторів широкого використання даного типу машин є їх потенційний негативний вплив на структуру кореневмісного шару ґрунту після обробітку. При цьому можливе надмірне подрібнення ґрунту і, як наслідок, вітрова та водна ерозія, а також винос на поверхню поля нижніх вологовмісних шарів ґрунту та втрата продуктивної вологи. Тому, актуальним завданням розробки і проектування активних робочих органів є обґрунтування їх раціональних конструктивно-режимних параметрів. Це досягається шляхом дослідження взаємодії активних робочих органів з робочим середовищем та їх вплив на переміщення подрібненого ґрунту у вертикальній площині.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аналіз теоретичних досліджень по обґрунтуванню параметрів ротаційних робочих органів дозволив виявити певну еволюцію в даному напрямку. Загальним є визначення основних конструктивних параметрів: діаметру ротора, кілько-

сті та розташування робочих елементів, кут нахилу вісі ротора до вертикалі. При цьому використовуються методи кінематичного аналізу, що визначають вихідні величини: абсолютну швидкість та прискорення руху точки, площу обробленої поверхні за один оберт [5]. Відомі теоретичні дослідження, що враховують конструктивні особливості робочих елементів, такі як форму, довжину, кут встановлення та заточки робочих елементів. Дослідники відмічають наступні критерії якості виконання технологічного процесу обробки ґрунту ротаційними органами: швидкість відкидання агрегату ґрунту, перекриття робочих зон суміжних робочих елементів, коефіцієнт корисності обробки, енергетичні витрати на обробку та інші [6, 7].

Однак, відомі теоретичні підходи до обґрунтування раціональних параметрів ротаційних органів не дають змоги визначити вплив конструктивних та режимних параметрів на процес переміщення утворених грудочок ґрунту у вертикальній площині, і як наслідок, неможливо визначити фактори впливу на якість технологічного процесу обробітку ґрунту з точки зору виносу вологовмісних шарів ґрунту на поверхню поля.

**Метою статті** є теоретичне дослідження умов переміщення частинок подрібненого ґрунту у вертикальній площині, для визначення раціональних конструктивно-режимних параметрів активних ротаційних органів, при яких запобігається винос нижніх вологовмісних шарів ґрунту на поверхню поля.

**Результати досліджень.** Досліджено процес обробітку ґрунту ротаційним органом, що складається з двох концентрично розташованих дисків з робочими елементами (зубами), яким надається примусовий рух у протилежних напрямках [8, 9]. У робочій зоні ротаційного утворені подрібненням грудочки ґрунту піддаються дії закручування (рис.1).

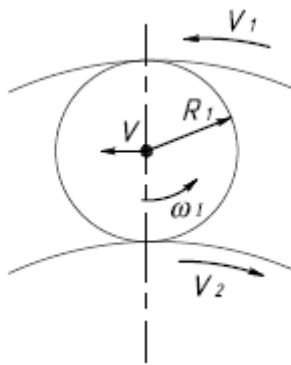


Рис. 1. Схема закручування грудочки ґрунту в зоні взаємодії ротаційного робочого органу

Ділянка ґрунту виконує два рухи: обертається навколо своєї осі з кутовою швидкістю  $\omega_1$  і рухається поступально зі швидкістю  $V_1$ . У випадку, коли ділянка ґрунту не обертається, швидкості дисків були б рівними між собою і відповідали значенню поступальної швидкості  $V_1$ , що фізично неможливо. Обертання призводить до збільшення відносної швидкості зовнішнього диску і зменшення внутрішнього диску на величину  $\omega_1 R_1$ . Тоді, лінійна швидкість на колі ділянки ґрунту, при русі зовнішнього і внутрішнього дисків у зустрічних напрямках, буде:

$$V_1 = V + \omega_1 R_1 \quad V_2 = V - \omega_1 R_1.$$

Звідси:

$$V = \frac{1}{2}(V_1 + V_2); \quad \omega_1 = \frac{V_1 - V_2}{2R_1}.$$

Якщо диски обертаються в одну сторону, то будемо мати:

$$V = \frac{1}{2}(V_1 + V_2); \quad \omega_1 = \frac{V_1 - V_2}{2R_1}.$$

Обертаючись зі швидкістю  $\omega_1$  і переміщуючись із швидкістю  $V_1$ , ґрунт руйнується на окремі грудочки, які перемішуються в цій зоні.

Розглянемо цей рух на прикладі переміщень однієї грудочки (рис.2).

Як вже відмічалось, лінії ковзання при руйнуванні розміщені на циліндрі конічної гвинтової лінії, яка обертаючись, описує параболоїд. Тоді поверхня, яка описує рух ліній ковзання обертається навколо вертикальної осі з постійною кутовою швидкістю  $\omega_1$  (рис. 2). Під дією відцентрової сили, що виникає при обертанні ділянки ґрунту, грудочка отримує горизонтальну швидкість  $V_0$ .

Вісі ZY обертаються разом з поверхнею ліній ковзання, які можна розкласти на відносно до поверхні та переносне разом з поверхнею навколо вертикальної осі Z.

Зобразимо грудочку в положенні  $\omega(Z, Y)$ , в припущенні, що рух вздовж поверхні вгору позначимо вагу грудочки  $P_e$ .

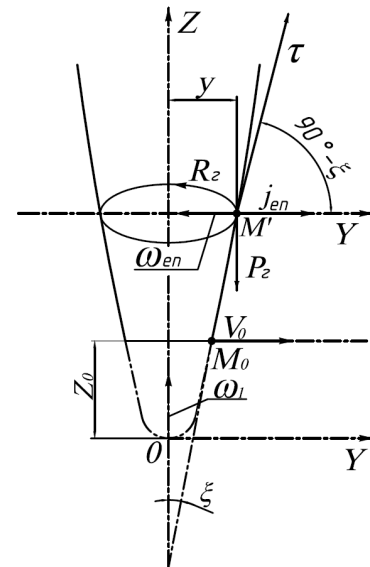


Рис. 2. Схема ковзання грудочки ґрунту під дією ротаційного органу.

До грудочки прикладені сили:  $P_e$  – вага грудочки,  $R$  – нормальна сила реакції поверхні ковзання. Додамо сили інерції в переносному русі  $j_e$  і коріолісову силу інерції  $j_c$ .

При рівномірному обертанні грудочки з кутовою швидкістю  $\omega_1$  її кутове прискорення  $\epsilon$  дорівнює нулю. Отже, переносне обертове прискорення грудочки  $\omega_{er}$  і обертובה сила інерції в переносному русі  $j_{er}$  дорівнює нулю. Переносне доцентрове прискорення  $\omega_{en}$  грудочки направлене по горизонталі вліво, причому:

$$\omega_{en} = y\omega_1^2.$$

Тому, відцентрова сила інерції в переносному русі  $j_{en}$  направлена по горизонталі вправо і по модулю дорівнює:

$$j_{en} = \frac{P}{g}y\omega_1^2.$$

Прискорення Коріоліса  $\vec{\omega}_c = 2\vec{\omega}_1 \times \vec{V}_r$  направлено перпендикулярно до площини рисунку від нас ( $\vec{V}_r$ , згідно припущення, направлено по дотичній до грудочки в точці M вгору). Отже, коріолісова сила інерції  $\vec{j}_c$  направлена перпендикулярно до площини рисунку вперед і по модулю дорівнює:

$$j_c = 2\frac{P}{g}\omega_1\vec{V}_r \sin \xi \quad (1)$$

(кут  $\xi$  утворений позитивним напрямком осей Z і  $\tau$ ).

Складемо диференціальне рівняння відносно руху грудочки в проекції на дотичні  $\tau$  до грудочки в даній точці M:

$$\frac{P}{g}\omega_{r\tau} = j_{en} \sin \alpha - P \cos \alpha, \quad (2)$$

(сили  $\vec{R}$  і  $\vec{j}_c$  проектується на вісь  $\tau$ ).

Враховуючи, що  $j_{en} = \frac{p}{g} \omega_1^2 y^2$ ; а  $\omega_{r\tau} = \frac{dV_r}{dt}$ , знаходимо:

$$\frac{dV_r}{dt} = \omega_1^2 y \sin \alpha - g \cos \alpha. \quad (3)$$

Так як  $\frac{dy}{dz} = tg \alpha$ , то очевидно, що  $\sin \alpha = \frac{dy}{d\sigma}$ , а  $\cos \alpha = \frac{dz}{d\sigma}$ . Крім того,

$$\frac{dV_r}{dt} = \frac{dV_r}{d\sigma} \cdot \frac{d\sigma}{dt} = V_r \frac{dV_r}{d\sigma}.$$

Тепер рівняння (3) приймає вигляд:

$$V_r dV_r = \omega_1^2 y^2 dy - g dz. \quad (4)$$

Після інтегрування отримуємо:

$$V_r^2 = \omega_1^2 y^2 - 2gz + c$$

Тоді, по умові  $y^2 = 2az$ , будемо мати:

$$V_r^2 = 2(a\omega_1^2 - g)z + c \quad (5)$$

Визначимо швидкість грудочки  $V$  у відносному русі, знаючи, що в початковий момент грудочка знаходиться у спокої в положенні  $M_0$  з абсцисою  $Z_0$ .

Підставляючи в рівняння (4)  $z = z_0$ ,  $V_r = 0$ , отримуємо, що  $c = -2(2a\omega_1^2 - g)z_0$ . Отже, рівняння (4) приймає вигляд:

$$V_r^2 = 2(2a\omega_1^2 - g)(z - z_0),$$

$$V_r = \sqrt{2(a\omega_1^2 - g)(z - z_0)}, \quad (6)$$

Розглянувши формулу (6), можна зробити висновки про напрямки руху грудочки.

При русі грудочки вздовж поверхні ковзання вгору  $z > z_0$ . Тому що підкореневий вираз в формулі (6) позитивний, то  $a\omega_1^2 > g$ , тобто кутова швидкість обертання грудочки повинна задовольняти умові  $\omega_1^2 > \frac{g}{a}$ , а – параметр.

При русі грудочки вздовж лінії ковзання, вниз  $z < z_0$ . Отже,  $a\omega_1^2 < g$ , звідки  $\omega_1^2 < \frac{g}{a}$ .

При відносному спокої грудочки, тобто при  $V_r = 0$ , отримуємо, що:  $a\omega_1^2 = g$ , звідки випливає, що грудочка буде знаходитися на поверхні у відносному спокої, якщо кутова швидкість обертання грудочки задовольняє умові:  $\omega_1^2 = g/a$ .

Визначимо, в яку точку поверхні повинна піднятися грудочка, яка в початковий момент знаходиться на початку координат і їй була надана швидкість  $V_0$  по горизонталі направо.

Підставивши в рівняння (4)  $z = 0$ ,  $V_r = V_0$ , отримуємо, що  $c = V_0^2$ . Отже, рівняння (5) приймає вигляд:

$$V_r^2 = V_0^2 + 2(a\omega_1^2 - g)z$$

Звідки:

$$V_r = \sqrt{V_0^2 + 2(a\omega_1^2 - g)z}.$$

В найвищій точці підйому грудочки  $V_r = 0$ , тому:

$$z_{\max} = \frac{V_0^2}{2(g - a\omega_1^2)} \quad (7)$$

Враховуючи, що  $y^2 = 2az$ , знаходимо:

$$y_{\max} = \sqrt{2az_{\max}} = \sqrt{\frac{aV_0^2}{g - a\omega_1^2}} \quad (8)$$

Так, як  $z_{\max} > 0$ , тобто  $\omega_1^2 < \frac{g}{a}$ .

Якщо ж  $\omega_1^2 < \frac{g}{a}$ , то  $V_r$  обернеться в нуль, а грудочка буде необмежено підніматися по поверхні вгору.

У випадку  $\omega_1^2 \cong \frac{g}{a}$  з формули (6) випливає, що  $V_r \cong V_0$ , тобто грудочка буде рухатися по поверхні з постійною по модулю швидкістю  $V_0$ .

Таким чином, приведені на рис. 2 і судження показують можливість переміщення окремих грудочок у вертикальному напрямку, що сприяє перемішуванню ґрунту в робочій зоні ротаційного органу. По мірі віддалення від поверхні ковзання частота обертання зменшується грудочка може залишатися на одній висоті або навіть опускатися вниз.

**Висновок.** Згідно мети досліджень проведено теоретичні дослідження умов переміщення частинок подрібненого ґрунту у вертикальній площині. За їх результатами створені фізична і математична моделі взаємодії активного ротаційного робочого органу з ґрунтом. Використання отриманої математичної моделі дає змогу отримати теоретичним шляхом залежності напрямку переміщення подрібненого ґрунту у вертикальній площині. Це дозволяє обґрунтувати раціональні конструктивно-режимні параметри активних ротаційних органів. При цьому забезпечується ефективне рихлення та перемішування ґрунту без виносу вологовмісних шарів ґрунту на поверхню поля, і як наслідок, збереження продуктивної вологи та оптимальні умови розвитку культурних рослин.

## Література

1. Тягово-приводные комбинированные почвообрабатывающие машины: Теория, расчет, результаты испытаний: монография / [В.И. Ветохин, И.М. Панов, В.А. Шмонин, В.А. Юзбашев]. – К. : Феникс, 2009. – 264 с.
2. Кушнарьов А.С. Механико-технологические основы обработки почвы / А.С. Кушнарьов, В.И. Кочев. – К. : Урожай, 1989. – 138 с.
3. Пастухов В.І., Браженко С.А. Ротаційні робочі органи для обробітки міжрядь просапних культур // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Вип. 107, Т. 1, 2011. – С. 292 – 297.
4. Слинко О.П. Обґрунтування технологічного процесу та параметрів комбінованого культиватора для обробітки просапних культур: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук / О.П.Слико. Київ, 2006. – 20 с.
5. Зангаладзе Д.Я. Исследование почвообрабатывающих фрез рабочих органов с верти-

кальной осью вращения в междурядьях виноградников орошаемой зоны Грузии : автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук / Д.Я. Зангаладзе. – Тбилиси, 1974. – 37 с.

6. Абдрахманов Р.К. Разработка и обоснование параметров комбинированного рабочего органа пропашного культиватора : автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук / Р.К. Абдрахманов. – Челябинск, 1984. – 19 с.

7. Фан Суан Зунг. Обоснование параметров ротационного рабочего органа пропашного культиватора : автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук / Фан Суан Зунг. – Ташкент, 1992. – 17 с.

8. Пат. 97072 Україна, МПК А01В 35/16, А01В39/08, А01В39/18, А01В21/06, А01В33/06 (2006.01). Ротаційний робочий орган культиватора / В.І. Пастухов, С.А. Браженко; заявник та патентовласник В.І. Пастухов, С.А. Браженко. – № а201104043; заявл. 04.04.2011; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24.

9. Пат. 98581 Україна, МПК А01В 35/16, А01В33/06, А01В35/16, А01В39/20, А01В39/08 (2006.01). Спосіб обробітку міжрядь просапних культур / В.І. Пастухов, С.А. Браженко; заявник та патентовласник В.І. Пастухов, С.А. Браженко. – № а201105809; заявл. 10.05.2011; опубл. 25.05.2012, Бюл. № 22.

#### Аннотация

### Исследование перемещения измельченного грунта в вертикальной плоскости под действием ротационных почвообрабатывающих машин

В.І.Пастухов, С.А.Беловол С.А.

*По результатам теоретических исследований получена математическая модель процесса перемещения частиц измельченной почвы в вертикальной плоскости под действием активного рабочего органа с вертикальной осью вращения, что позволило определить рациональные конструктивно-режимные параметры ротационного органа, обеспечивающих сохранение продуктивной влаги в корнеобитаемом слое почвы, путем предотвращения выноса нижних слоев на поверхность поля.*

**Ключевые слова:** междурядную обработку почвы, ротационный рабочий орган, комочки почвы, направление перемещения.

#### Abstract

### Investigation of displacement of crushed soil in a vertical plane under the action of rotary tillage machines

V.I.Pastukhov, S.A.Bielovol

*Analysis of scientific and technical information and of work experience by mechanical inter-row tillage has been conducted. The feasibility of using active working bodies for inter-row tillage was justified. The problem of justifying the rational parameters of active workers was highlighted. For this purpose, theoretical studies of displacement crushed soil in a vertical plane under the action of working organ were performed. Terms of soil movement in the working zone of the rotary working body were identified. The mathematical model of the interaction of the rotary working body with the soil was obtained. According to the resulting model the rational parameters of rotary working bodies have been substantiated. They are provides an effective milling and mixing of the soil without the removal of its layers to the surface of the field.*

**Keywords:** inter-row tillage, rotary working body, lumps of soil, the direction of movement.

Представлено: А.І.Завгородний / Presented by: A.I.Zavgorodnij

Рецензент: В.Ф.Пашенко / Reviewer: V.F.Pashhenko

Подано до редакції / Received: 15.10.2014