

## КІНЕМАТИКА ПОДРІБНЕННЯ ПЛАСТА РОТОРАМИ КОМБІНОВАНОГО ПЛУГА

*М. Василич, аспірант, Ю. Панцир, к. т. н.  
Подільський державний аграрно-технічний університет*

**Постановка проблеми.** Механічний обробіток ґрунту є важливим технологічним процесом у землеробстві, який проводиться з метою створення пухкого верхнього шару, перемішування частинок ґрунту з добривами, попередньо внесеними на поверхню.

Доведена агрономічна доцільність та економічна ефективність об'єднання основного обробітку ґрунту та фрезерування орного шару [1].

Перспективним напрямом вважається розробка механізованих технологій, які будуть об'єднувати операції подрізання пласта (основний обробіток), внесення мінеральних добрив та активного кришення орного шару (роторний обробіток, фрезерування).

Відповідно теоретичне обґрунтування технологічних параметрів робочих органів комбінованих машин є сьогодні актуальною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питанням створення комбінованих плугів та обґрунтування технологічних параметрів та режимів роботи активних елементів роторів, фрез присвячені наукові дослідження І. М. Панова, В. А. Шмоніна, З. В. Ловкіса, М. Д. Поскребко, І. М. Бендери [1-8].

У результаті наукового супроводу технічної ідеї обґрунтовані технологічні параметри корпусів плуга, форми ротора, його ріжучих (ударних) елементів, взаєморозміщення пасивної і активної складових, частоти обертання роторів, режимів роботи приводу.

Вивченню одночасного внесення добрив та основного обробітку ґрунту присвячені роботи В.С. Муштая, В.Я. Коваля [9; 10].

**Постановка завдання.** Метою досліджень є визначення радіуса та частоти обертання роторів комбінованого плуга завдяки дослідженню рівномірності і повноти покриття подрібненого ґрунту та рівномірності внесення мінеральних добрив.

**Виклад основного матеріалу.** У Подільському державному аграрно-технічному університеті запропонована конструкція лемішно-полицевого плуга з вертикальними роторами та системою внесення мінеральних добрив.

Технологічний процес роботи комбінованого плуга.

Під час руху плуга лемеші подрізають пласт розміром  $a \times b$ . Пласт переміщається по полиці і в момент проходження позиції ( $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$ ,  $D'$ ) вертикального положення подрібнюється ножами вертикального ротора, який обертається з частотою  $\omega$ .

Одночасно з бункера (ящика), змонтованого на рамі плуга, тукопроводами до внутрішньої частини ротора подаються мінеральні добрива. Останні підхоплюються робочими елементами ротора – ножами – і перемішуються з подрібненим пластом.

Актуальним є питання вибору основних технологічних параметрів ротора – радіуса  $R$ , частоти обертання  $\omega$  – і вивчення характеру впливу їх на якість кришення ґрунту та загортання рослинних решток.

Дальність польоту подрібненого пласта при швидкості удару  $V_p$  та висоті ротора  $H$ :

$$L = V_p \sqrt{\frac{2H}{g}}. \quad (1)$$

Швидкість удару  $V_p$  вибирають більшою за критичну, за якої виникає руйнування комків.

Критичну швидкість  $V_{кр}$ , за якої відбувається кришення пласта, вибирають, за даними досліджень процесу удару робочими елементами роторів по пласту, проведених В.А. Шмоніним [3]:

$$V_{кр} \geq \sigma \sqrt{\frac{g}{E\gamma}} \quad (2)$$

де  $\sigma$  – межа міцності розпушення ґрунту від безпідпiрного удару;  
 $g$  – прискорення вільного падіння;

$E$  – модуль Юнга для ґрунту;

$\gamma$  – щільність ґрунту.

Критичну швидкість слід розглядати як межу мінімальної, при якій відбудеться кришення пласта за умови безпідпiрної взаємодії:  $V_{мін} \geq V_{кр}$ .

Ніж ротора взаємодіє з пластом, який подається в результаті руху плуга із результуючою швидкістю (рис. 1):

$$\vec{V}_p = \vec{V}_n + \vec{V}_{кол}. \quad (3)$$

У точці входження ножа в пласт ( $A$ ):

$$V_p^A = \sqrt{V_n^2 + V_{кол}^2}. \quad (4)$$

У будь-якій іншій точці (наприклад,  $B$ ) значення результуючої швидкості буде більше, ніж  $V_p^B$ , а саме:

$$V_p^B = \sqrt{V_{кол}^2 + V_n^2 + 2V_{кол} \cdot V_n \cos \varphi}. \quad (5)$$

Відповідно визначення робочої колової швидкості проводимо за мінімальним значенням  $V_p^A$ :

$$V_p^A \geq V_{кр}. \quad (6)$$

Підставивши в рівняння (5), отримаємо формулу

$$V_{\text{кол}} \geq \sqrt{\left(\sigma \sqrt{\frac{g}{By}}\right)^2 - V_{\text{п}}^2}. \quad (7)$$

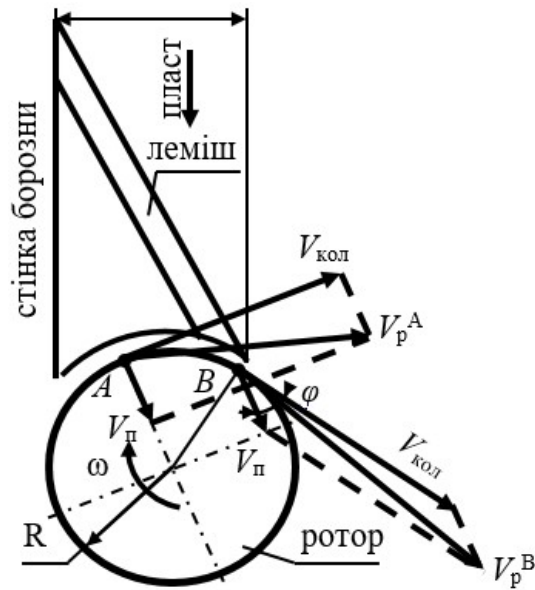


Рис. 1. Визначення колової швидкості.

Враховуючи, що  $V_{\text{кол}} = \omega R$ , мінімальна частота обертання ротора, при якій відбуватиметься кришення ґрунту, визначиться так:

$$\omega_{\text{мін}} \geq \frac{\sqrt{\left(\sigma \sqrt{\frac{g}{By}}\right)^2 - V_{\text{п}}^2}}{R}. \quad (8)$$

Робочу швидкість дії ножа на пласт вибирають з огляду повного покриття повернутого пласта  $A_0B_0C_0D_0$  при висоті  $H$  (рис. 2):

$$H = h_1 + h_2 + \Delta h; \quad (9)$$

Величину  $h_1$  визначають з  $\triangle ABF$  та з урахуванням кута стійкості повернутого пласта:

$$h_1 = a \cos \alpha. \quad (10)$$

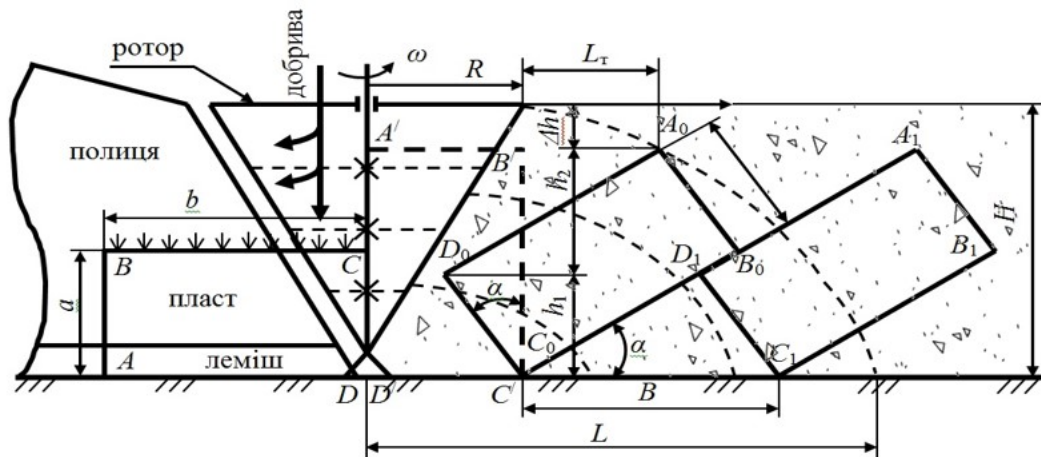


Рис. 2. Технологічний процес роботи комбінованого плуга.

Величину  $h_2$  визначають з  $\Delta BCK$ :

$$h_2 = b \cos \alpha. \quad (11)$$

Величина  $\Delta h$  вибирають з умови повного покриття гребенів подрібненою масою та добривами, а також непересипання пласта через ротор,  $\Delta h = 5 \dots 8$  см.

Враховуючи значення  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $\Delta h$ , з формули (2) визначають швидкість удару, при якій подрібнений ґрунт повністю покриває рослинні рештки:

$$V_0 = \frac{L}{\sqrt{\frac{2H}{g}}}. \quad (12)$$

Технологічну дальність польоту вибирають зі схеми:

$$L_T = b \cos \alpha - 2a \sin \alpha. \quad (13)$$

Беручи до уваги, що радіус ротора повинен бути не меншим  $2/3a$ , з формули (12), робоча частота обертання дорівнюватиме:

$$\omega = \frac{L}{\sqrt{\frac{2H}{g}} \cdot R}. \quad (14)$$

Таким чином, наведена аналітика дає підстави для вибору основних параметрів комбінованого корпусу – висоти  $H$ , радіуса  $R$ , частоти обертання  $\omega$  залежно від розмірів пласта ( $a \times b$ ) при граничній швидкості руйнування пласта  $V_{кр}$ .

Якщо ґрунт вологий і процес взаємодії робочих елементів має більше ріжучий характер, ніж ударний, то частоту обертання вибирають за технологічною величиною стружки, параметр якої – товщина  $S_z$  (вибирається з агротехнічних вимог, залежно від поступальної швидкості  $V_{п}$ , числа ножів):

$$S_z = \frac{2\pi V_{п}}{\omega z}, \quad (15)$$

Вважаючи що  $S_z$  – агропоказник, необхідна частота буде визначатися так:

$$\omega = \frac{2\pi V_n}{S_z \cdot Z} \quad (16)$$

Використовуючи формулу (16), доцільно побудувати номограму з оперативного вибору технологічних параметрів залежно від бажаної якості та фіксованої кількості ножів  $Z$  (рис. 3).

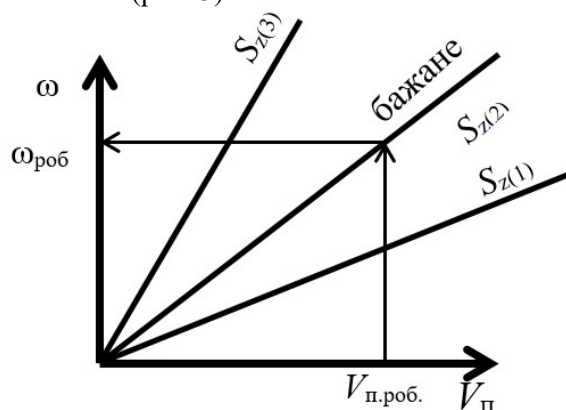


Рис. 3. Номограма з визначення технологічних параметрів роторів.

На горизонтальній осі ( $V_{п\text{ роб}}$ ) номограми вибирають поступальну робочу швидкість руху  $V_{п\text{ роб}}$ , через вертикаль до перетину з лінією (бажане  $S_{z(2)}$ ) на вертикальній осі вибирають необхідну робочу кутову частота обертання  $\omega_{роб}$ .

**Висновки.** Отримано аналітичні залежності для визначення дальності польоту подрібненого пласта комбінованого плуга, при якому забезпечується загортання рослинних решток.

Визначені мінімальне та робоче значення частоти обертання ротора, при яких забезпечується якісне кришення (різання при вологому ґрунті) пласта.

Запропонована номограма з визначення робочої частоти обертання ротора при заданій поступальній швидкості руху агрегату та необхідній якості обробітку ґрунту.

### Бібліографічний список

1. Ветохин В. И., Панов И. М., Шмонин В. А., Юзбашев В. А. Тягово-приводные комбинированные почвообрабатывающие машины : Теория, расчет, результаты испытаний: монография. Киев : Феникс, 2009. 264 с.: илл.
2. Панов И. М., Токушев Ж. Е. Теория, конструкция и расчет ротационных почвообрабатывающих машин. Кокшетау: Изд-во Кокшетауского университета, 2005. 314 с.
3. Шмонин В. А. Теоретическое и экспериментальное исследование работы комбинированных плужных корпусов. *Сб. науч. тр. ВИСХОМ*. 1972. Вып. 69. С. 19-26.

4. Ловкис З. В., Бендера И. Н. Обоснование взаимного расположения корпуса и ротора комбинированного плуга. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1986. Вып. 29.
5. Ловкис З. В., Бендера И. Н. Плуг для обработки тяжелых переувлажненных почв с гидроприводом роторов. *Тракторы и сельхозмашины*. 1987. № 1. С. 12-14.
6. Ловкис З. В., Бендера И. Н. Обоснование формы ротора комбинированного плуга. *Земледельческая механика*. Москва : МИИСП, 1985. С. 17-19.
7. Бендера И. Н., Лахмаков В.С. Обоснование геометрических параметров режущих элементов ротора комбинированного плуга. *Механизация возделывания и уборки картофеля в Белорусской ССР*. Горки, 1987. С. 53-58.
8. Бендера И. Н. Применение комбинированного плуга для обработки почвы под картофель. *Механизация возделывания и уборки картофеля в Белорусской ССР*. Горки, 1987. С. 84-87.
9. Коваль В. Я., Муштай В. С. Результаты экспериментальных исследований локального внесения минеральных удобрений распределяюще заделывающими устройствами. *Збірник наукових праць Луганського державного аграрного університету. Технічні науки*. Луганськ: Вид-во ЛДАУ, 2000. № 6/17. С. 98-101.
10. Муштай В. С. Определение качества внесения минеральных удобрений распределяюще-заделывающими устройствами. *Збірник наукових праць Луганського державного аграрного університету. Технічні науки*. Луганськ : ЛДАУ, 2001. № 10(22). С. 137-140.

**Василинич М., Панцир Ю. Кінематика подрібнення пласта роторами комбінованого плуга**

Класичні схеми обробітку ґрунту під посів та посадку сільськогосподарських культур передбачають основний, передпосівний та активний обробітки.

Пропонується технологічна схема комбінованого плуга, яка об'єднує всі операції в одну. У наукових матеріалах наведена аналітика з визначення основних технологічних параметрів та режимів роботи активного робочого органа ротора: радіуса, кутової частоти обертання, висоти, дальності польоту подрібненої маси – з огляду на забезпечення якісних показників: кришення ґрунту, загортання рослинних решток та мінеральних добрив, дроблення (ґрунту) від безпідпирного удару робочими органами ротора по пласту.

Під час визначення технологічних параметрів та режимів роботи використовувалися методи математичного моделювання процесу польоту подрібненої маси ґрунту як тіла, кинутого із початковою швидкістю паралельно до горизонту робочим елементом з висоти розміщення ротора.

**Ключові слова:** комбінований плуг, ротор, ґрунт, корпус, добрива, політ частинок, параметр, режим роботи, кришення, загортання рослинних решток, якість.

**Vasylynych N., Pantsyr Y. Kinematics of layer crushing by the combined plow rotors**

Classical schemes of soil cultivation for sowing and planting crops provides for certain operation manufacturing operation - fertilization, main and preplant active tillage.

The technological scheme of the combined plow is offered that integrates all operations into one. In scientific materials we present an analytics of determining the basic technological parameters and operating modes of rotor active working body - radius, angle speed rotation, altitude, flight distance of crushed mass with a view to quality ensuring indicators - soil crushing, preparation of vegetable residues and fertilizers, crushing soil materials without retaining impact of rotor working bodies on the layer.

While determining of the certain process parameters and operating modes we used methods of mathematical modeling, the flight process of crushed soil mass as the body thrown with an initial velocity parallel to the horizon by the working part from the the rotor placement height.

**Key words:** combined plow, rotor, soil, building, fertilizers, particles flight, parameter, setting mode, crushing, plant residues preparation, quality.

#### **Василинич М., Панцирь Ю. Кинематика измельчения пласта роторами комбинированного плуга**

Классические схемы обработки почвы под посев и посадку сельскохозяйственных культур предусматривают основной, предпосевной и активный возделывания.

Предлагается технологическая схема комбинированного плуга, которая объединяет все операции в одну. В научных материалах приведена аналитика по определению основных технологических параметров и режимов работы активного рабочего органа ротора: радиуса, угловой частоты вращения, высоты, дальности полета измельченной массы – с учетом обеспечения качественных показателей: измельчения почвы, заделки растительных остатков и минеральных удобрений, дробления (почвы) от безподпорного удара рабочими органами ротора по пласту.

При определении технологических параметров и режимов работы использовались методы математического моделирования, процесса полета измельченной массы почвы как тела, брошенного с начальной скоростью параллельно горизонту рабочим элементом с высоты размещения ротора.

**Ключевые слова:** комбинированный плуг, ротор, почва, корпус, удобрения, полет частиц, параметр, режим работы, измельчение, заделки растительных остатков, качество.