

УДК 631.316.22

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ ТА ЕНЕРГОЄМНОСТІ КОМБІНОВАНОГО РІЗАННЯ ПРИ РОЗРОБЦІ ҐРУНТУ НА КРИТИЧНУ ГЛИБИНУ

С.В. Кравець, проф., д.т.н., Р.В. Зоря, асист., О.В. Стіньо, асист.,
Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, І.Г. Пімонов, доц., к.т.н.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Стаття присвячена математичному моделюванню процесів різання та розпушення ґрунту для отримання аналітичної залежності визначення сили комбінованого різання ґрунту та коефіцієнта енергоємності процесу розпушування з урахуванням фізико-механічних властивостей ґрунту.

Ключові слова: кут різання, глибина розпушення, ширина різання, критична глибина, сила різання, комбіноване різання, коефіцієнт енергоємності.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ И ЭНЕРГОЕМКОСТИ КОМБИНИРОВАННОГО РЕЗАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ГРУНТА НА КРИТИЧЕСКУЮ ГЛУБИНУ

С.В. Кравец, проф., д.т.н., Р.В. Зоря, ассист., О.В. Стиньо, ассист.,
Национальный университет водного хозяйства и природоиспользования,
г. Ровно, И.Г. Пимонов, доц., к.т.н.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Статья посвящена математическому моделированию процессов резки и разрыхления почвы для получения аналитической зависимости определения силы комбинированного резания ґрунта и коэффициента энергоёмкости процесса рыхления с учетом физико-механических свойств ґрунта.

Ключевые слова: угол резания, глубина рыхления, ширина резания, критическая глубина, сила резания, комбинированное резание, коэффициент энергоёмкости.

DETERMINATION OF FORCES AND POWER CONSUMPTION FOR COMBINED CUTTING WHILE EXCAVATING THE SOIL TO THE CRITICAL DEPTH

S. Kravets, D. Sc. (Eng.), R. Zoria, T. Asst., O. Stinio, T. Asst.,
National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne ,
I. Pimonov, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. The article deals with mathematical modeling of cutting and loosening the soil to obtain the analytical dependence determining the strength of the combined cutting and soil loosening process and the energy intensity factor considering the physical and mechanical properties of the soil.

Key words: cutting angle, depth of ripping, cutting width, critical depth, cutting force, combined cutting, coefficient of energy intensity.

Вступ

Основні параметри розпушувачів ґрунту визначаються за умови, що сила різання і кое-

фіцієнт енергоємності розпушування ґрунту є мінімальними. Для забезпечення мінімальної енергоємності процесу розпушування

грунту обґрунтування параметрів робочих органів необхідно проводити з урахуванням критичної глибини розпушування, оскільки розпушування ґрунту на критичній глибині забезпечує найменшу енергоємність. Отже постає необхідність визначити сили комбінованого різання і коефіцієнт енергоємності розпушування на критичній глибині.

Аналіз публікацій

Дослідження сили блокованого різання ґрунту розглядалося в роботах Ю.О. Ветрова, А.М. Зелєніна, В.В. Соколовського, В.П. Горькіна та інших. Однак отримані залежності не враховують руйнування ґрунту на критичній глибині різання і є експериментальними. Найменша енергоємність процесу розпушування ґрунту забезпечується при його розробці на критичну глибину [2, 3]. Отримано математичні залежності для визначення сили та енергоємності блокованого різання ґрунту на критичній глибині у дослідженнях С.В. Кравця [4].

Мета і постановка завдання

Маємо за мету визначення аналітичним методом сили та коефіцієнта енергоємності комбінованого різання ґрунту на критичній глибині різання.

Визначення сили та енергоємності комбінованого різання

Для суцільного розпушення ґрунту на глибину до 0,6 м розроблено конструкцію двоярусного глибокорозпушувача (рис. 1).

Для визначення сили та енергоємності руйнування ґрунту двоярусним глибокорозпушувачем необхідно виділити систему з п'яти ґрунторозробних органів, за якої відбувається комбіноване суцільне розпушування ґрунту.

Два ґрунторозробні органи 1 працюють при блокованому різанні у верхньому ярусі. Вони створюють умови для ґрунторозробного органу 2, який здійснює комбіноване різання ґрунту на повну глибину розпушування II (верхній ярус – вільне різання, нижній ярус – блоковане різання).

Після проходження двох ґрунторозробних органів у верхньому ярусі й одного – у нижньому залишаються ділянки нерозпушеного ґрунту в нижньому ярусі III, які розпушуються двома ґрунторозробними органами 3, що розміщені на одній осі із ґрунторозробними органами у верхньому ярусі I і здійснюють вільне різання на глибину робочого органу другого ярусу 2.

Для визначення сили комбінованого різання ґрунту розглянемо процес руйнування ґрунту сколом на основі схеми (рис. 2). При цьому як вихідні умови візьмемо:

- 1) ґрунт – однорідне ізотропне середовище, яке характеризується зчепленням, внутрішнім і зовнішнім тертям, щільністю і вологістю;
- 2) елемент стружки розглядаємо як тверде тіло у вигляді двох трикутних призм із двома симетричними кінцевими секторами по боках (рис. 2, в);
- 3) впливом швидкості різання на опір його руйнування знехтуємо [1];
- 4) закон розподілу нормального тиску на лобову поверхню ножа в зоні сколювання ґрунту у верхньому і нижньому ярусах беремо лінійним по глибині [5];
- 5) критична глибина є постійною незалежно від того, чи працює землерийний робочий орган в режимі заглиблення, чи у сталому режимі.

Для визначення сили комбінованого різання спроектуємо всі сили на вісь OX

$$\begin{aligned} \sum P_{ox} = & -dN_{c,bl} \cdot \sin \psi - \\ & -dN_{c,b} \cdot \sin \psi - dT_{c,bl} \cdot \cos \psi - \\ & -dT_{c,b} \cdot \cos \psi - 2dT_{бок,bl} + \\ & + dN' \cdot \sin(\alpha_p + \varphi) \cdot \sin \psi = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

де $dN_{c,b}$, $dN_{c,bl}$ – нормальна реакція для вільного та блокованого різання; dN' , dN – елементарні нормальні сили на робочу поверхню ідеального клина та ножа, $dN' = \frac{dN}{\cos \varphi}$; $dT_{c,b}$, $dT_{c,bl}$, $2dT_{бок,bl} \cos \delta$ – дотичні сили для вільного і блокованого різання у площинах зсуву ґрунту; φ – кут зовнішнього тертя ґрунту; α_p – кут різання ґрунторозробного органу; ψ – кут повздовжнього сколу ґрунту.

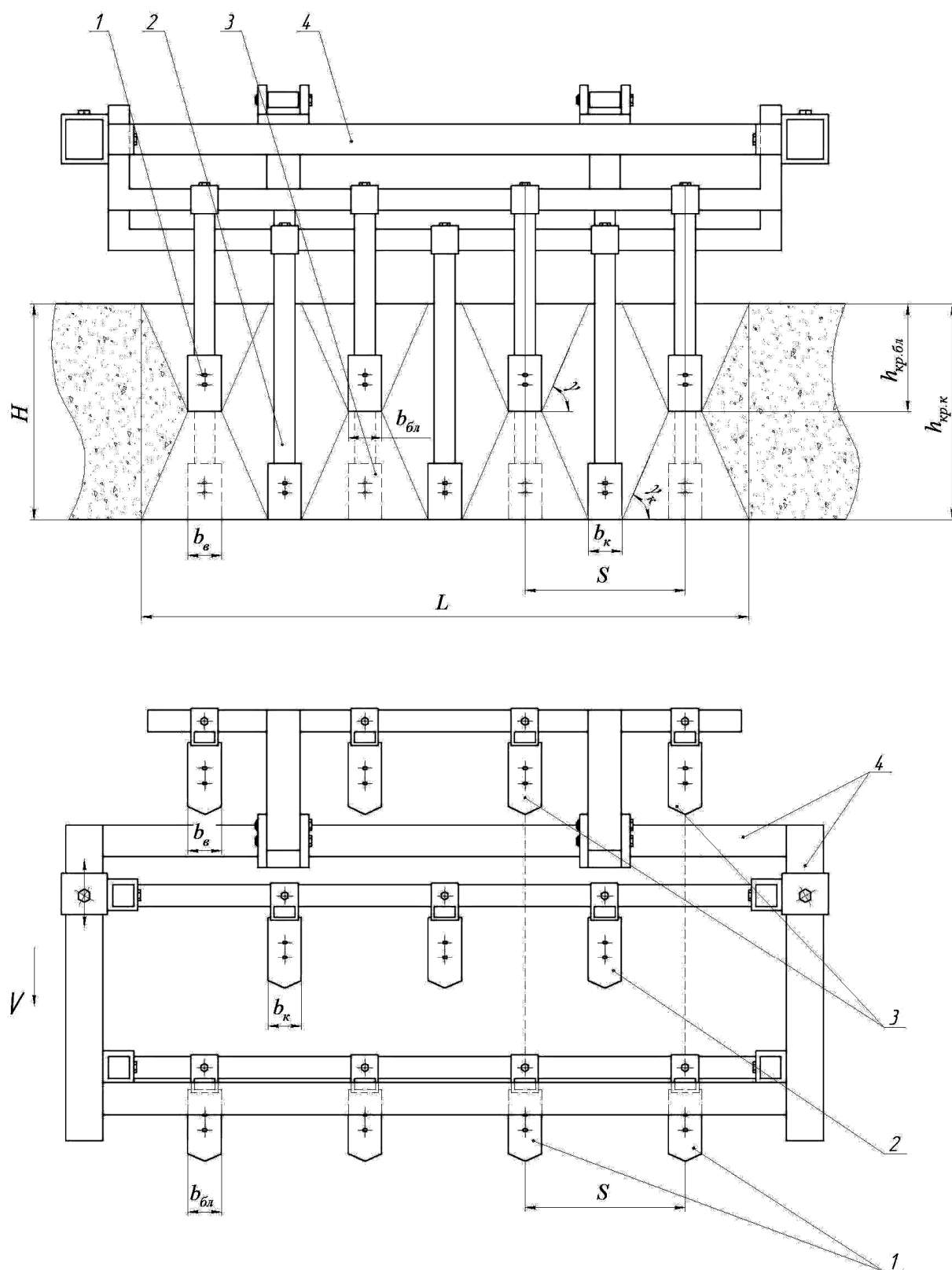


Рис. 1. Вигляд двоярусного глибокорозпушувача: а – спереду; б – зверху; 1 – зона блокованого різання ґрунту; 2 – зона комбінованого різання ґрунту; 3 – зона вільного різання ґрунту; 4 – рама глибокорозпушувача; S – крок розміщення ґрунторозробних органів у верхньому ярусі; L – ширина захвату ґрунту

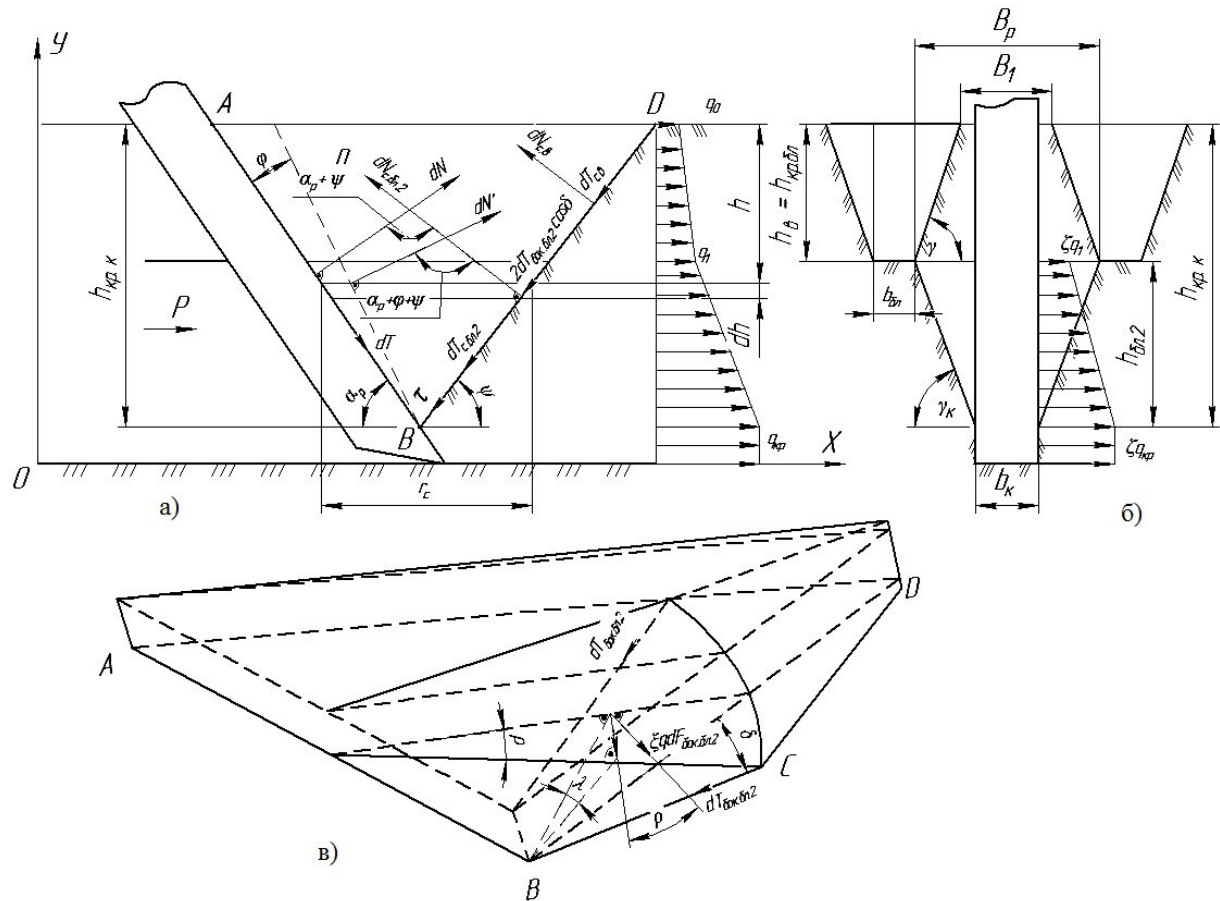


Рис. 2. Схема взаємодії ножа із ґрунтовим середовищем при комбінованому різанні ґрунту: а – у повздовжній площині; б – у поперечній площині; в – форма елемента стружки у процесі заглиблення ножа

Після підстановки значень $dN_{\text{с.бл.}}$, $dN_{\text{с.в.}}$, $dT_{\text{с.бл.}}$, $dT_{\text{с.в.}}$, $dT_{\text{бок.бл.}}$, dN' [2],[4] отримаємо рівняння

$$\begin{aligned}
 & \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} b_k \cdot q_0 \cdot \left(1 + \frac{h}{b_k} \operatorname{ctg} \gamma\right) dh \cdot \sin \psi + \\
 & + \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} b_k \cdot \left(q_b + \frac{q_{\text{кр}} - q_b}{h_{\text{бл.2}}} \times \right. \\
 & \quad \left. \times k_{\text{пер}} h\right) dh \cdot \sin \psi + \\
 & + \operatorname{tg} \varphi_0 \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} b_k \cdot q_0 \times \\
 & \times \left(1 + \frac{h}{b_k} \operatorname{ctg} \gamma\right) dh \cdot \cos \psi - \\
 & - c \cdot \left(\frac{2h_{\text{бл.2}} \cdot \operatorname{ctg} \gamma_k - 2h_b \operatorname{ctg} \gamma}{b_k + 2h \cdot \operatorname{ctg} \gamma} + \right) \frac{dh}{\sin \psi} \cdot \cos \psi + \\
 & + \operatorname{tg} \varphi_0 \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} b_k \times \\
 & \times \left(q_b + \frac{q_{\text{кр}} - q_b}{h_{\text{бл.2}}} k_{\text{пер}} h\right) dh \cdot \cos \psi - \\
 & - c \cdot \left(2\rho (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) \times \right. \\
 & \quad \left. \times (h_{\text{бл.2}} - h) + b_k\right) \frac{dh}{\sin \psi} \cdot \cos \psi - \\
 & - 2 \cos \delta \cdot c \cdot (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) (h_{\text{бл.2}} - h) \frac{dh}{\cos \lambda} \cdot \cos \psi + \\
 & + 2 \cos \delta \cdot \zeta \left(q_b + \frac{q_{\text{кр}} - q_b}{h_{\text{бл.2}}} k_{\text{пер}} h\right) (h_{\text{бл.2}} - h) \frac{dh}{\cos \lambda} \times \\
 & \times \cos \rho \cdot \cos \lambda \cdot \cos \psi \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) + \\
 & + dN' \cdot \sin(\alpha_p + \varphi) \sin \psi = 0,
 \end{aligned} \quad (2)$$

де γ – кут нахилу бічних стінок прорізу до горизонту; φ_0 – кут внутрішнього тертя; b_k – ширина ґрунторозробного робочого органу при комбінованому різанні ґрунту; h_b – глибина вільного різання ґрунту; $h_{\text{бл.2}}$ – глибина блокованого різання ґрунту у нижньому ярусі; h – поточне значення глибини; δ , ρ , λ – кути, які утворюються боковою площиною

сколювання з вертикальною площиною; $k_{\text{пер}}$ – відношення глибини зони гарантованого сколювання ґрунту до повної глибини різання ($k_{\text{пер}}=0,9-0,95$); ζ – коефіцієнт бокового тиску; q_0 – мінімальне значення тиску, який діє на денній поверхні; $q_{\text{кр}}$ – максимально можливе значення тиску за несучою спроможністю ґрунту, за якого він втрачає свою стійкість; $q_{\text{в}}$ – значення тиску ґрунту при вільному різанні у верхньому ярусі (при $h=h_{\text{кр.бл}}$); c – питома сила зчеплення (коефіцієнт зчеплення).

Проінтегрувавши рівняння (2) для $dN_{\text{с.в.}}$, $dT_{\text{с.в.}}$ в межах від 0 до $h_{\text{в}}$ для $dN_{\text{с.бл.}}$, $dT_{\text{с.бл.}}$, $dT_{\text{бок.бл.}}$ в межах від 0 до $h_{\text{бл.2}}$, отримаємо

$$\begin{aligned} & \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} b_{\text{к}} \cdot h_{\text{в}} \cdot q_0 \cdot \left(1 + \frac{h_{\text{в}}}{2b_{\text{к}}} \text{ctg} \gamma\right) \times \\ & \sin \psi + \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} b_{\text{к}} \times \\ & \times h_{\text{бл.2}} \left(q_{\text{в}} + \frac{q_{\text{кр}} - q_{\text{в}}}{2} k_{\text{пер}}\right) \times \\ & \sin \psi + \text{tg} \varphi_0 \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} b_{\text{к}} \cdot h_{\text{в}} \cdot q_0 \times \\ & \times \left(1 + \frac{h_{\text{в}}}{2b_{\text{к}}} \text{ctg} \gamma\right) \cdot \cos \psi - \\ & - c \cdot \left(2h_{\text{в}} h_{\text{бл.2}} \text{ctg} \gamma_{\text{к}} - 2h_{\text{в}}^2 \text{ctg} \gamma + \right. \\ & \left. + b_{\text{к}} h_{\text{в}} + h_{\text{в}}^2 \text{ctg} \gamma\right) \cdot \text{ctg} \psi - \\ & - \text{tg} \varphi_0 \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} b_{\text{к}} \times \\ & \times \left(q_{\text{в}} + \frac{q_{\text{кр}} - q_{\text{в}}}{2} k_{\text{пер}}\right) \cos \psi + \\ & + c \cdot \left(b_{\text{к}} h_{\text{бл.2}} + h_{\text{бл.2}}^2 \rho (\text{ctg} \alpha_p + \text{ctg} \psi)\right) \times \\ & \times \text{ctg} \psi + h_{\text{бл.2}}^2 \cos \delta \cdot c \cdot (\text{ctg} \alpha_p + \text{ctg} \psi) \frac{\cos \psi}{\cos \lambda} - \\ & - 2 \cos \delta \cdot \zeta \cdot \left(q_{\text{в}} \cdot \left(h_{\text{бл}}^2 - \frac{h_{\text{бл.2}}^2}{2}\right) + \right. \\ & \left. + \frac{q_{\text{кр}} - q_{\text{в}}}{h_{\text{бл.2}}} k_{\text{пер}} \left(\frac{h_{\text{бл.2}}^3}{2} - \frac{h_{\text{бл.2}}^3}{3}\right)\right) \times \\ & \times \cos \rho \cdot \cos \psi \cdot \text{tg} \varphi_0 (\text{ctg} \alpha_p + \text{ctg} \psi) + \\ & + dN' \cdot \sin(\alpha_p + \varphi) \sin \psi = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Спростимо вираз (3)

$$\begin{aligned} P_{\text{к}} = & - \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} b_{\text{к}} \cdot h_{\text{в}} \cdot q_0 \times \\ & \times \left(1 + \frac{h_{\text{в}}}{2b_{\text{к}}} \text{ctg} \gamma\right) \cdot (\text{tg} \varphi_0 \cos \psi + \sin \psi) - \\ & - \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} b_{\text{к}} \cdot h_{\text{бл.2}} \times \\ & \times \left(q_{\text{в}} + \frac{q_{\text{кр}} - q_{\text{в}}}{2} k_{\text{пер}}\right) \cdot (\text{tg} \varphi_0 \cos \psi + \sin \psi) + \\ & + c \cdot (2h_{\text{в}} h_{\text{бл.2}} \text{ctg} \gamma_{\text{к}} - h_{\text{в}}^2 \text{ctg} \gamma + b_{\text{к}} h_{\text{в}}) \times \\ & \times \text{ctg} \psi + c \cdot b_{\text{к}} h_{\text{бл.2}} \cdot \text{ctg} \psi + \\ & + h_{\text{бл.2}}^2 (\text{ctg} \alpha_p + \text{ctg} \psi) \times \\ & \times \left(c \cdot \rho \cdot \text{ctg} \psi + c \frac{\cos \delta \cos \psi}{\cos \lambda}\right) \times \\ & \times 2 \cos \delta \cdot \zeta \cdot h_{\text{бл.2}}^2 \times \\ & \times \left(\frac{3q_{\text{в}} + (q_{\text{кр}} - q_{\text{в}})}{6} k_{\text{пер}}\right) \cos \rho \times \\ & \times \cos \psi \cdot \text{tg} \varphi_0 (\text{ctg} \alpha_p + \text{ctg} \psi). \end{aligned} \quad (4)$$

Взявши заміну $h_{\text{бл.2}} = h_{\text{кр.к}} - h_{\text{в}}$, вираз (4) запишеться у вигляді

$$\begin{aligned} P_{\text{к}} = & - \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} b_{\text{к}} \cdot h_{\text{в}} \cdot q_0 \times \\ & \times \left(1 + \frac{h_{\text{в}}}{2b_{\text{к}}} \text{ctg} \gamma\right) \cdot (\text{tg} \varphi_0 \cos \psi + \sin \psi) - \\ & - \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} b_{\text{к}} \cdot (h_{\text{кр.к}} - h_{\text{в}}) \times \\ & \times \left(q_{\text{в}} + \frac{q_{\text{кр}} - q_{\text{в}}}{2} k_{\text{пер}}\right) \cdot (\text{tg} \varphi_0 \cos \psi + \sin \psi) + \\ & + c \cdot \left(2h_{\text{в}} (h_{\text{кр.к}} - h_{\text{в}}) \text{ctg} \gamma_{\text{к}} - \right. \\ & \left. - h_{\text{в}}^2 \text{ctg} \gamma + b_{\text{к}} h_{\text{в}}\right) \cdot \text{ctg} \psi + \\ & + c \cdot b_{\text{к}} (h_{\text{кр.к}} - h_{\text{в}}) \cdot \text{ctg} \psi + \\ & + (h_{\text{кр.к}} - h_{\text{в}})^2 (\text{ctg} \alpha_p + \text{ctg} \psi) \times \\ & \times \left(c \cdot \rho \cdot \text{ctg} \psi + c \frac{\cos \delta \cos \psi}{\cos \lambda}\right) \times \\ & \times 2 \cos \delta \cdot \zeta \cdot (h_{\text{кр.к}} - h_{\text{в}})^2 \times \end{aligned} \quad (5)$$

$$\times \left(\frac{3q_B + (q_{кр} - q_B)}{6} k_{пер} \right) \cos \rho \times \\ \times \cos \psi \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi).$$

Провівши певні математичні перетворення, визначаємо силу комбінованого різання ґрунту на критичній глибині, з урахуванням бічного тиску та сили бічного тертя

$$P_k = - \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} b_k \times \\ \times \left(h_B \cdot q_0 \cdot \left(1 + \frac{h_B}{2b_k} \operatorname{ctg} \gamma \right) + \right. \\ \left. \left(h_{кр.к} - h_B \right) \left(q_B + \frac{q_{кр} - q_B}{2} k_{пер} \right) \right) \times \\ \times (\operatorname{tg} \varphi_0 \cos \psi + \sin \psi) + \\ + c \cdot \left(\begin{matrix} -2h_B^2 \operatorname{ctg} \gamma_k + 2h_B h_{кр.к} \operatorname{ctg} \gamma_k - \\ -h_B^2 \operatorname{ctg} \gamma + b_k h_{кр.к} \end{matrix} \right) \operatorname{ctg} \psi + \\ + (h_{кр.к} - h_B)^2 (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) \times \\ \times \left(\begin{matrix} c \cdot \rho \cdot \operatorname{ctg} \psi + c \frac{\cos \delta \cos \psi}{\cos \lambda} + \\ + 2 \cos \delta \cdot \zeta \left(\frac{3q_B + (q_{кр} - q_B)}{6} k_{пер} \right) \times \\ \times \cos \rho \cdot \cos \psi \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 \end{matrix} \right).$$

Робочі органи у верхньому ярусі при блокуваному різанні утворюють прорізи з кутом нахилу стінок прорізу до горизонту γ . Відстань між робочими органами верхнього ярусу є максимальною шириною комбінованого різання ґрунту. Якщо зменшувати відстань між ґрунторозробними органами верхнього ярусу ($\gamma_k < \gamma$), тоді виникає боковий тиск ζq на бічних гранях елемента стружки, внаслідок чого зростає сила та енергоємність різання ґрунту [2]. Для забезпечення мінімальної енергоємності відстань між ґрунторозробними органами у верхньому ярусі обирається такою, щоб кут бокового зміщення робочих органів у нижньому ярусі відносно робочих органів першого ярусу був рівним куту нахилу бічних стінок прорізу до горизонту ($\gamma_k = \gamma$). При цьому відсутній бічний тиск і сила бічного тертя на бічних стінках елемента стружки, забезпе-

чується незалежна робота ґрунторозробних органів і вираз для визначення сили комбінованого різання (6) на критичній глибині запишеться у вигляді

$$P_k = - \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} b_k \times \\ \times \left(h_B \cdot q_0 \cdot \left(1 + \frac{h_B}{2b_k} \operatorname{ctg} \gamma \right) + \right. \\ \left. + (h_{кр.к} - h_B) \left(q_B + \frac{q_{кр} - q_B}{2} k_{пер} \right) \right) \times \\ \times (\operatorname{tg} \varphi_0 \cos \psi + \sin \psi) + \\ + c \cdot \left(\begin{matrix} -2h_B^2 \operatorname{ctg} \gamma_k + 2h_B h_{кр.к} \operatorname{ctg} \gamma_k - \\ -h_B^2 \operatorname{ctg} \gamma + b_k h_{кр.к} \end{matrix} \right) \operatorname{ctg} \psi + \\ + (h_{кр.к} - h_B)^2 (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) \times \\ \times c \cdot \left(\rho \cdot \operatorname{ctg} \psi + \frac{\cos \delta \cdot \cos \psi}{\cos \lambda} \right).$$

Для розпушування ґрунту глибина розпушування є вихідним параметром. Для забезпечення розпушування ґрунту на критичній глибині при зміні глибини розпушування і кута різання ширина різання для кожного конкретного випадку обчислюється за формулою [4]

$$b_k = \frac{h_k \cdot (\operatorname{tg} \alpha_p)^{n_k}}{a_k}.$$

Графіки залежності сили комбінованого різання P_k від кута різання для різних типів ґрунту зображені на рис. 3.

Як видно із графіків на рис. 3, 4, зі збільшенням глибини та кута різання спостерігається прискорене збільшення сили комбінованого різання для всіх типів ґрунту.

Для оцінки енергоефективності процесу глибокого розпушування ґрунтів на критичній глибині визначимо енергоємність комбінованого різання ґрунту

$$E_k = \frac{A_k}{V_k} = \frac{P_k \cdot L}{F_k \cdot L}, \quad (8)$$

де A_k – робота, виконана ґрунторозробним органом при комбінованому різанні ґрунту; L – довжина переміщення ґрунторозробного

органу; V_k – об'єм розпушеного ґрунту; F_k – площа поперечного перерізу розпушеного шару ґрунту при комбінованому різанні

$$F_k = h_{кр.к} \cdot b_k + (h_{кр.к} - h_b)^2 \cdot \text{ctg} \gamma_k + h_b^2 \text{ctg} \gamma. \quad (9)$$

Аналогічно визначається енергоємність комбінованого різання ґрунту при комбіно-

ваному різанні на критичній глибині за відсутності бічного тиску та сили бічного тертя з урахуванням залежності (7).

Графіки залежності енергоємності розпушування ґрунту від кута різання $\alpha_{р.к}$ на критичній глибині комбінованого різання наведені на рис. 5.

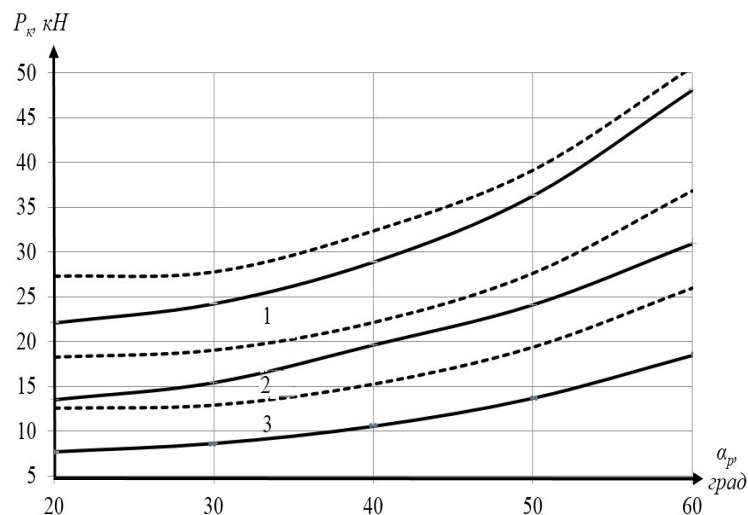


Рис. 3. Залежність сили комбінованого різання ґрунту від кутів різання α_p за заданого значення глибини різання $h_{кр.к}=0,6$ м, $h_b=0,3$ м: 1 – напівтверда глина; 2 – напівтвердий суглинок; 3 – твердий супісок; ----- – сила різання з урахуванням бокового тиску та сили бічного тертя при $\gamma_k = 80^\circ$; ——— – сила різання за відсутності бокового тиску та сили бічного тертя $\zeta q = 0$

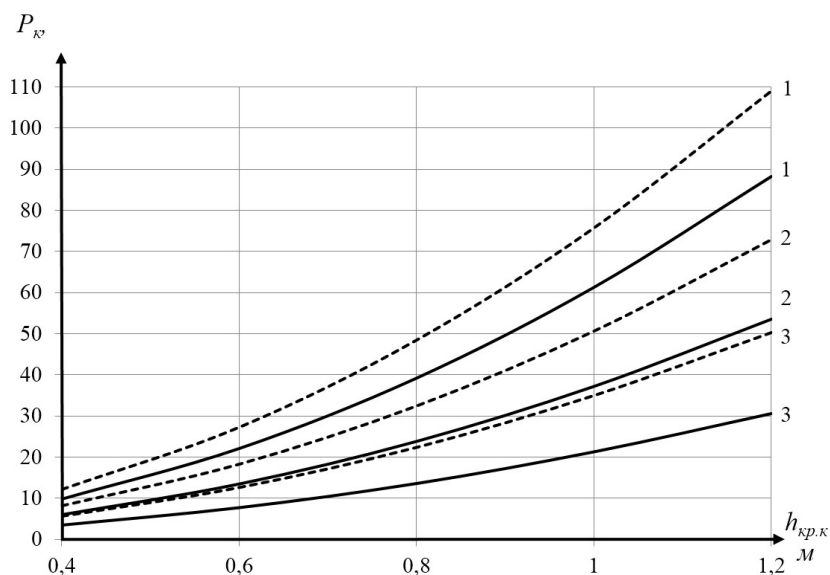


Рис. 4. Залежність сили комбінованого різання ґрунту від глибини різання $h_{кр.к}$, враховуючи, що ($h_{кр.к} = 2h_{кр.бл}$) для кута різання $\alpha_p = 20^\circ$: 1 – напівтверда глина; 2 – напівтвердий суглинок; 3 – твердий супісок; ----- – сила різання з урахуванням бокового тиску та сили бічного тертя при $\gamma_k = 80^\circ$; ——— – сила різання за відсутності бокового тиску та сили бічного тертя $\zeta q = 0$

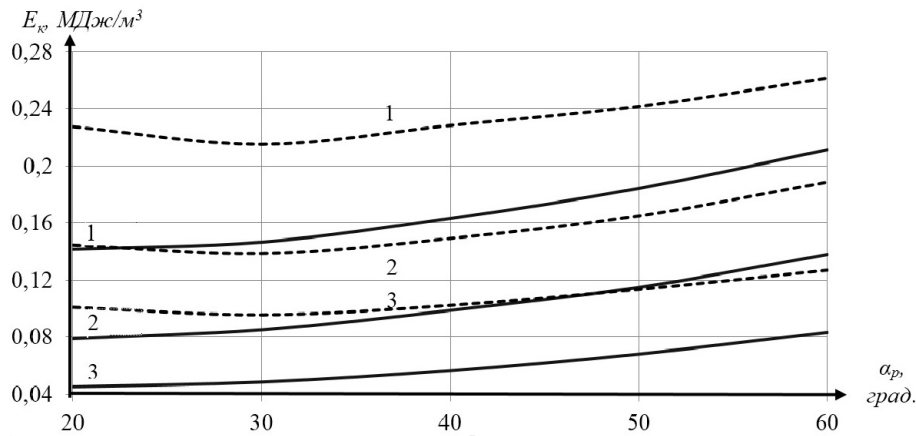


Рис. 5. Залежність енергоємності комбінованого різання ґрунту від кута різання α_p за заданого значення глибини різання $h_{кр,к}=0,6$ м, $h_b=0,3$ м: 1 – напівтверда глина; 2 – напівтвердий суглинок; 3 – твердий супісок; ----- – енергоємність з урахуванням бокового тиску та сили бічного тертя при $\gamma_k = 80^\circ$; ——— – енергоємність за відсутності бокового тиску та сили бічного тертя $\zeta q = 0$

Як видно з рис. 5, за сталого значення глибини різання спостерігається збільшення енергоємності комбінованого різання ґрунту зі збільшенням кута різання. При розпушуванні ґрунту у стисненому просторі енергоємність різання ґрунту значно зростає, порівняно з різанням ґрунту за відсутності бічного тиску та сили бічного тертя. Це відбувається за рахунок збільшення сили різання (рис. 3) та зменшення площі зруйнованого шару ґрунту. Для твердого супіску найменші значення коефіцієнта енергоємності розпушування ґрунту спостерігаються при куті різання $\alpha_p = 20^\circ \div 30^\circ$. Для напівтвердого суглинка при $\alpha_p = 20^\circ \div 25^\circ$. Для напівтвердої глини при $\alpha_p = 20^\circ \div 28^\circ$.

Висновки

Сила комбінованого різання двоярусного розпушувача (критична глибина розпушення – 0,6 м) зі збільшенням кута різання від 20° до 60° для різних ґрунтів збільшується по криволінійній залежності від 7,67 кН до 48,08 кН, при незалежній роботі ґрунторозробних органів, і від 12,55 кН до 50,64 кН – при їх залежній роботі. Зниження сили комбінованого різання при незалежній роботі становить 16–39 %.

Зі збільшенням критичної глибини розпушення ($\alpha_p=20^\circ$) від 0,4 м до 1,2 м сила комбінованого різання зростає для різних ґрунтів від 3,38 кН до 88,26 кН, при незалежній роботі ґрунторозробних органів, і

від 5,58 кН до 108,96 кН – при їх залежній роботі.

При руйнуванні ґрунту на критичній глибині енергоємність розпушування ґрунту є постійною для кожного кута різання незалежно від глибини розпушування. Мінімальна енергоємність комбінованого різання ґрунту спостерігається при кутах різання ножа $\alpha_p=20^\circ\text{--}30^\circ$.

Література

1. Станевский В.П. Совершенствование рабочего процесса землеройных машин / В.П. Станевский. – К.: Вища школа. Изд-во КГУ, 1984. – 128 с.
2. Кравець С.В. Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладання підземних комунікацій. / С.В. Кравець. – Рівне: РДТУ, 1999. – 278 с.
3. Хмара Л.А. Машини для земляних робіт / Л.А. Хмара. – Рівне – Дніпропетровськ – Харків. – 2010. – 558 с.
4. Кравець С.В. Визначення сили блокового різання та коефіцієнта енергоємності розпушування ґрунту / С.В. Кравець, О.В. Стіньо // Науковий вісник НГУ. – 2016. – №3. – С. 24–28.
5. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами / Ю.А. Ветров. – М.: Машиностроение, 1972. – 360 с.

Рецензент: Є.С. Венцель, професор, д.т.н., ХНАДУ.