

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ НА ПРОЦЕС ГЛИБОКОГО РІЗАННЯ ҐРУНТІВ

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процес глибокої розробки ґрунтів здійснюють багатоярусні безтраншейні укладачі та глибокорозпушувачі, а також інші землерийні машини з пасивними ножовими робочими органами традиційної конструкції (з суцільною різальною частиною по глибині і ширині захвату) [1, 2]. Робочий процес таких машин характеризується критичною глибиною різання, просторовою взаємодією робочого органа з середовищем, утворенням ядер ущільнення, законом розподілу нормального тиску середовища на робочий орган і перехідною зоною стружкоутворення [1]. Одним із шляхів вдосконалення таких робочих органів є оптимізація їх форми і параметрів на основі вивчення і врахування фізичної суті процесу глибокої розробки ґрунтів [3].

Одним з питань, що давно привернуло увагу дослідників, є вплив швидкості на зусилля та енергоємність різання ґрунтів. Аналіз літературних джерел дозволяє зробити висновок, що при малих величинах швидкості (до 2 м/с) зусилля різання практично не залежить від швидкості. Збільшення швидкості вище 2 м/с визиває значне збільшення опору ґрунту [4]. Однією з причин є розподіл енергії на загальне переміщення відділених частин ґрунту [3]. Однак, більшість дослідників вважають, що вказана причина не одна. Наприклад, А.М.Зеленін провівши досліді в польових умовах, при швидкості різання в межах від 0,05 до 0,3 м/с дійшов до висновку, що суттєвої зміни зусилля не виникає, але відмітив, що при більш великих швидкостях різання ґрунт деформується сильніше [5]. В.П.Горячкін, на основі дослідів з плугами, визначив, що швидкість різання впливає на зусилля в незначній мірі [3]. М.Г.Домбровський вважав, що зміна швидкості повороту ковша екскаватора в межах від 0,4 до 1 м/с визиває коливання питомого опору різання в межах 3...6 % [3]. М.І.Естрін, за результатами проведених дослідів пришов до висновку, що для сипучих ґрунтів питомий опір різання пропорційна швидкості [3]. М.О.Сургучев говорив, що питомий опір для ґрунту – величина постійна, а вплив швидкості полягає лише у подоланні сили інерції ґрунту при переміщенні його по передній грані ножа з наступним відкиданням [3]. Ю.О.Ветров провів дослідження на глині, використовуючи маятникову установку.

Аналіз експериментальних даних показав, що зростання опору ґрунту зі збільшенням швидкості різання проходить не тільки в результаті затрати енергії на загальне переміщення відділених кусків ґрунту, а в значній степені залежить і від дії фізичних факторів, які пояснюються повільним деформуванням ґрунту під навантаженням [3, 5]. В.Д.Кузнецов припускав, що в пластичних середовищах, в тому числі і в воді, може розвиватися крихке руйнування, якщо швидкість прикладання навантаження буде достатньо велика [3]. Для розрізного ножа збільшення швидкості різання ґрунту від 1 до 7 м/с визиває зростання зусилля різання до 40% [3].

Тому, можна сказати, що швидкість є одним із кінематичних параметрів, який суттєво впливає на робочий процес взаємодії робочого органа з ґрунтом.

Крім того, для машин з глибоким різанням ґрунту, швидкість є причиною виникнення додаткового опору на подолання в'язкості ґрунту в закритичній зоні.

На даний час існує методика визначення критичної глибини, але без врахування впливу швидкості різання та сили тяжіння ґрунту на опір його руйнування [1].

Ціль статті. Для проектування сучасних конструкцій робочих органів машин для глибокого різання ґрунту необхідно дослідити вплив швидкості руху на критичну глибину, яка є для них основним параметром [7, 8, 9].

Основний матеріал. Вплив фізичних факторів можна пояснити реологією деформування ґрунтів під навантаженням. Завдяки пористості, трьохфазному складу та складній природі сил щеплення ґрунту, деформації від прикладеного навантаження протікають поступово і з певною кінцевою швидкістю.

При малій швидкості прикладання навантаження швидкість руйнування (відділення частин ґрунту від масиву) більша від швидкості різання. Тому, ніж зустрічає своєю верхньою частиною частини ґрунту, які вже відірвані від масиву. Якщо ж швидкість прикладання навантаження більша швидкості руйнування ґрунту, то ножу приходится проходити крізь незруйноване або зруйноване частково ґрунтове середовище, долаючи набагато більший опір, чим при повільному різанні. В таких умовах відбувається крихке руйнування з інтенсивним подрібненням і відкиданням відділених частин ґрунту.

Цей процес, витягання ґрунту на денну поверхню і одночасно відкидання його, призводить до зміни критичної глибини.

Визначимо критичну глибину застосувавши закономірність, яка дає можливість описати фізичну суть при різній швидкості робочого органу [3]. Приймаємо наступні передумови:

1) ґрунт – однорідні ізотропне середовище, яке характеризується зчепленням, зовнішнім і внутрішнім тертям, щільністю вологістю ;

2) елемент стружки розглядається як тверде тіло у вигляді трикутної призми з двома симетричними конічними секторами по боках;

3) критична глибина різання постійна незалежно від того працює землерийний робочий орган у режимі заглиблення чи в сталому режимі;

4) закон розподілу нормального тиску на лобову площу ножа в зоні сколювання ґрунту прийнятий лінійним по глибині.

Мінімальний тиск діє на денній поверхні (рис. 1):

$$q_0 = \tilde{n} \cdot \text{ctg} \varphi_0 (A_1 - 1), \quad (1)$$

а на критичній глибині він досягає максимально можливого значення по несучій спроможності ґрунту, при якому ґрунт втрачає стійкість, вираховується по формулі Паукера:

$$q_{\text{кр}} = \left(\gamma_{\text{гр}} h + \frac{c}{\text{tg} \varphi_0} q_0 \right) \text{tg}^4 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right), \quad (2)$$

де $\gamma_{\text{гр}}$, c – питома вага і коефіцієнт зчеплення ґрунту; h_c – середня глибина сколювання ґрунту ножом; φ_0 – кут внутрішнього тертя; A_1 – коефіцієнт, який залежить від кута різання ножа.

На елементарний об'єм елемента стружки висотою dh в момент попередній сколюванню діють наступні сили, які приведені у вертикальну площину ОАД (рис. 1,а): активна сила

$dN' = \frac{dN}{\cos \varphi}$, яка направлена під кутом зовнішнього тертя ґрунту φ до нормалі лобової

площини ножа; нормальна реакція dN_c і дотичні сили dT_c і $2dT_{\text{бок}} \cos \delta$ в площині зсуву ґрунту.

Тоді, система рівнянь рівноваги всіх сил на нормальну (n) і дотичну (τ) осі до лобової площини сколювання мають вигляд:

$$\begin{cases} \sum P_n = dN_c + dN' \cos(\alpha_p + \varphi + \psi) = 0; \\ \sum P_\tau = dT_c + 2dT_{\text{бок}} \tilde{n} \sin \delta - dN' \sin(\alpha_p + \varphi + \psi) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

З першого рівняння системи (3) маємо

$$dN_c = -\frac{dN}{\cos \varphi} \cos(\alpha_p + \varphi + \psi) = -\frac{qb_c}{\cos \varphi \sin \alpha_p} \cos(\alpha_p + \varphi + \psi) dh, \quad (4)$$

де dh – елементарна глибина різання.

Закон розподілу нормального тиску ґрунту на ніж по глибині з врахуванням швидкості представимо у вигляді

$$q(h, v) = \left(1 + \frac{1}{\varepsilon \delta} \right) \left[q_0 + \frac{q_{\varepsilon \delta} - q_0}{h_{кр}} \cdot h + \gamma_{\varepsilon \delta} \left(1 + \frac{h}{b_c} \operatorname{ctg} \gamma \right) \cdot \frac{\cos \psi \cdot \cos \alpha_p \cdot \sin^2 \alpha_p}{\sin(\alpha_p + \psi) \cdot \sin(\alpha_p + \dots)} \cdot v^2 \right], \quad (5)$$

де q_0 - нормальний тиск ґрунту на ніж b_c , h - поточне значення ширини і глибини різання; φ - кут зовнішнього тертя ґрунту; v - швидкість робочого органу; α_p - кут різання; γ - кут бічного сколювання ґрунту у вертикальній площині; $v_{кр}$ - критична швидкість різання; v - швидкість робочого органу.

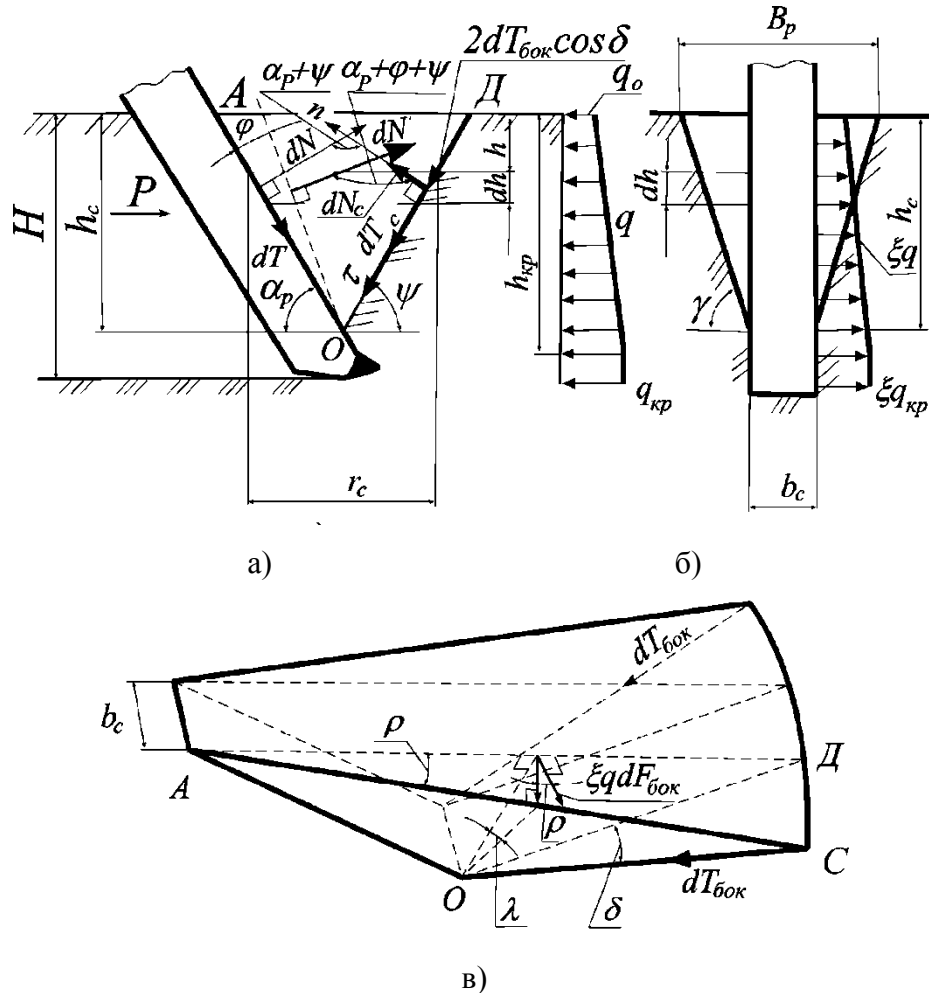


Рис. 1. Схема взаємодії ножа з ґрунтовим середовищем:

а) – у поздовжній площині; б) – у поперечній площині; в) – форма елемента стружки у процесі заглиблення ножа.

Повинна виконуватися умова $v < v_{кр}$. Елементарні дотичні сили, які діють у лобовій (dT_c) і боковій ($dT_{бок}$) площинах сколювання, визначаються по закону Кулона для ґрунтів.

$$dT_c = \operatorname{tg} \varphi_0 dN_c + c dF_c \quad ; \quad (6)$$

$$dT_{бок} = (\xi \cdot q \cdot \cos \rho \cdot \cos \lambda \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 \cdot dN_c + c) \cdot dF_{бок}, \quad (7)$$

де $dF_{бок}$, dF_c - елементарні площі відповідно лобової і бокової площин сколювання; ξ - коефіцієнт бокового тиску; λ , ρ , δ - кути, які утворюються боковою площиною сколювання з вертикальною площиною. При цьому елементарні площі відповідно дорівнюють:

$$dF_c = (b_c + 2\rho \cdot r_c) \frac{dh}{\sin \psi} = [b_c + 2\rho(ctg\alpha_p + ctg\psi)(h_c - h)] \frac{dh}{\cos \psi}, \quad (8)$$

$$dF_{\hat{a}\hat{i}\hat{e}} = r_c \frac{dh}{\sin \psi} = (ctg\alpha_p + ctg\psi)(h_c - h) \frac{dh}{\cos \lambda}, \quad (9)$$

де r_c – поточне значення радіуса сколювання ґрунту.

Якщо підставити вирази (6) і (7) в друге рівняння системи (3) з врахуванням рівностей (4), (8) і (9), а потім інтегрувати в межах від 0 до h_c , то після проміжних математичних перетворень отримаємо математичну модель глибини h_c грантованого сколювання ґрунту і критичної глибини різання.

Кути δ , ρ , λ визначаються із геометричних співвідношень (рис. 2, в)

$$\cos \rho = \sqrt{1 - \left(\frac{ctg \gamma}{ctg \alpha_p + ctg \psi} \right)^2}; \quad (10)$$

$$\tilde{n}\tilde{i}s \lambda = \sqrt{1 + \left(\frac{ctg \alpha_p \cdot ctg \gamma}{ctg \alpha_p + ctg \psi} \right)^2}; \quad (11)$$

$$\tilde{n}\tilde{i}s \delta = 1 - 2(ctg \alpha_p + ctg \psi)^2 \sin^2 \psi \cdot \sin^2 \frac{\rho}{2}. \quad (12)$$

Ця методика дозволяє визначити критичну глибину різання ґрунту як у верхньому так і в нижніх ярусах:

$$h_{c_1} = \frac{\left(1 + \frac{g}{g_{kp}} \right) \left[q_0 + \frac{q_{kp} - q_0}{2} \cdot k_{nep} + \frac{\gamma_{zp} \cdot \cos \psi \cdot \cos \varphi \cdot \sin^2 \alpha_p \cdot g^2}{g \cdot \sin(\alpha_p + \psi) \cdot \sin(\alpha_p + \varphi)} \right] \cdot \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cdot \cos \varphi_0 \cdot \sin \alpha_p} - \frac{c}{\sin \psi}}{c \cdot (ctg \alpha_p + ctg \psi) \left(\frac{\rho}{\sin \psi} + \frac{\cos \delta}{\cos \lambda} \right) - \left(1 + \frac{v}{g_{kp}} \right) \cdot \frac{\gamma_{zp} \cdot \cos \psi \cdot \cos \varphi \cdot \sin^2 \alpha_p \cdot v^2}{g \cdot \sin(\alpha_p + \psi) \cdot \sin(\alpha_p + \varphi)} \cdot \frac{ctg \gamma}{2} \cdot \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cdot \cos \varphi_0 \cdot \sin \alpha_p}} \cdot b_c. \quad (13)$$

Аналіз розрахункових значень відносної глибини сколювання для ґрунтів показав, що зі збільшенням швидкості робочого органу, яка не перевищує критичну швидкість, маємо збільшення критичної глибини, а при критичній швидкості ці значення будуть максимальними (рис. 2.).

Характер залежностей є близький до лінійного, тому, для практичного використання проведемо апроксимацію цих залежностей методом найменших квадратів для різних типів ґрунтів. Загальний вигляд апроксимованої залежності буде наступним:

$$\frac{h_c}{b_c} = a_v \cdot v + n_{\alpha_p}, \quad (14)$$

де a_v , n_{α_p} – коефіцієнти апроксимації (табл. 1).

При різанні ґрунту енергія затрачається на деформацію відділеного шару і прилеглих до нього частин, а також на подолання сил інерції відділених частин і кусків. Ці процеси протікають взаємопов'язано між собою.

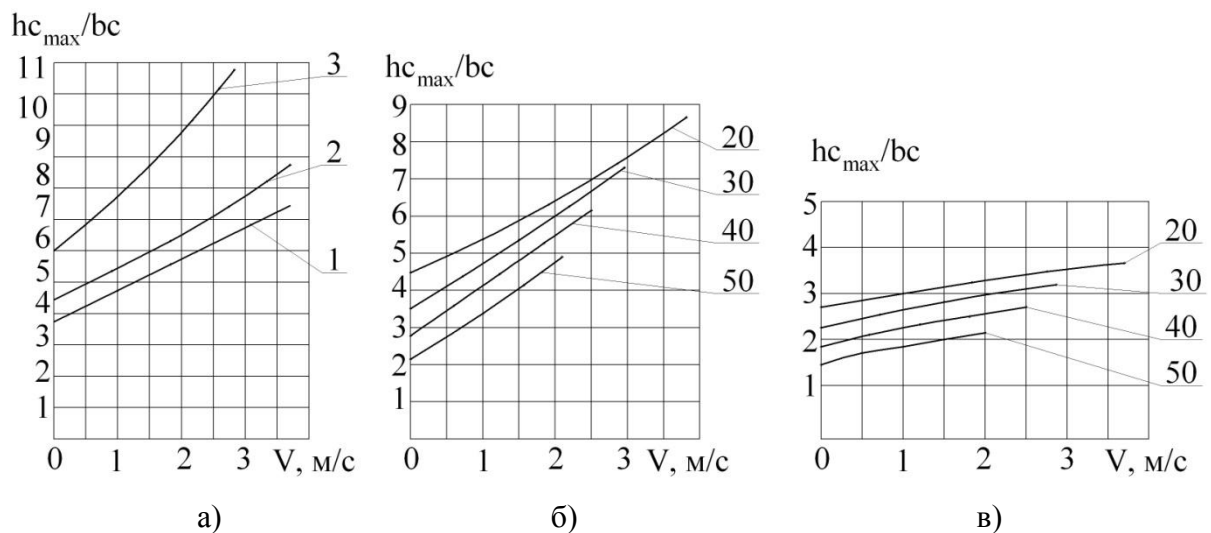


Рис. 2. Залежність відносної глибини сколювання ґрунтів від швидкості різання ножа: а – у верхньому ярусі з кутом різання 20° для тугопластичної глини (1), напівтвердого суглинку (2); твердого супіску (3); б, в – відповідно, у верхньому та нижньому ярусах для напівтвердого суглинку при різних кутах різання.

Таблиця 1.

Значення коефіцієнтів апроксимації для різних типів ґрунтів

Тип ґрунту	Кут різання, α_p , град.	Критична швид., $v_{кр}$, м/с	Коефіцієнти апроксимації для верхнього (індекс 1) і нижніх (індекс 2) ярусів			
			a_{v1}	$n\alpha_{p1}$	a_{v2}	$n\alpha_{p2}$
Супісок твердий	20	2,88	1,4215	4,3252	0,2746	2,7071
	30	2,23	1,2099	3,2481	0,1903	2,378
	40	1,97	1,0913	2,3576	0,1678	1,8249
	50	1,58	0,8088	1,8485	0,1381	1,449
Напівтвердий суглинок	20	3,71	1,0378	3,2659	0,2499	2,4488
	30	2,87	0,9354	2,5216	0,2126	2,0973
	40	2,42	0,8292	1,9354	0,1914	1,6992
	50	2,03	0,6726	1,4461	0,1628	1,3328
Тугопластична глина	20	3,74	0,8754	2,9408	0,2451	2,3944
	30	2,89	0,8146	2,2023	0,2453	1,9544
	40	2,44	0,7415	1,6678	0,2203	1,6555
	50	2,05	0,6145	1,2509	0,1942	1,300

Висновки. Проведені дослідження визначення критичної глибини різання залежно від швидкості відкривають перспективу максимального збільшення питомої продуктивності машин для глибокого різання ґрунту через оптимізацію багаторусної конструкції робочого органа і схеми руйнування ґрунтового середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кравець С.В. Грунтозахисні та енергозберігаючі машини. Основи теорії, проектування та створення. – Рівне: РДТУ, 1999. – 277 с.
2. Томин Е.Д. Бестраншейное строительство закрытого дренажа. – М.: Колос, 1981. – 240с.
3. Станевский В.П. Совершенствование рабочего процесса землеройных машин. – К.: Вища школа. Изд-во при КГУ, 1984. – 128с.
4. Дорожные машины. ч. I. Машины для земляных работ/ Т.В. Алексеева, К.А. Артемьев, А.А. Бромберг и др. –М.: Машиностроение, 1972. – 504с.
5. Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.П. Машины для земляных работ. – М.: Машиностроение, 1975. – 424с.
6. Ветров Ю.А. Резания грунтов землеройными машинами. – М.: Машиностроение, 1972. – 359с.
7. Кравець Л.Б. Влияние угла заострения ножа на критическую глубину резания грунта. – В кн.: Роль мелиорации в программе «Интенсификации - 90»: Сб. Науч. тр. – Л.: СевНИИГиМ, 1986. – С. 10-14.
8. Баладинский В.Л., Пузырев Ю.В., Смирнов В.Н., Кисленко А.А. Производительность и долговечность землеройных мелиоративных машин. – К.: Урожай, 1988. - 152с.
9. Баладинский В.Л., Баранников В.Ф., Ошарпаев Т.А. Механика рабочих процессов строительных машин. – Алма-Ата: ЛАФЦЧИПКС, 1982. - 95 с.

УДК 621.879. 064: 622. 23. 054.

С.В. КРАВЕЦ, докт.техн.наук, **А.Л. РОМАНОВСКИЙ**, канд.техн.наук,
В.Д. КИРИКОВИЧ, инженер, **С.С. ШВАРАПА**, студент.

Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ ГЛУБИНЫ РЕЗАНИЯ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ПОЯРУСНОМ РЕЗАНИИ ГРУНТОВ ГИДРОФРЕЗОЙ.

В Национальном университете водного хозяйства и природопользования создан землеройный рабочий орган для добычи полезных ископаемых, который разрабатывает грунт с отделением от массива и подачей его в пульпообразную среду, при смешивании с которой янтарь освобождается и всплывает на поверхность [1].