

## ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 624.133.3

<https://doi.org/10.31713/vt3202429>

**Степанюк Б. І., майстер виробничого навчання, Холоденко В., студент, Лук'янчук О. П., к.т.н., доцент, Кравець С. В., д.т.н., професор** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, b.i.stepaniuk@nuwm.edu.ua)

### ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОГО ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ НОРМАЛЬНОГО ТИСКУ НА ФРОНТАЛЬНУ (ЛОБОВУ) ПЛОЩИНУ ЗЕМЛЕРИЙНОГО РОБОЧОГО ОРГАНА

У статті обґрунтований закон розподілення нормального тиску на лобову поверхню ножа, який здійснює руйнування ґрунту під певним кутом. Також проведено аналітичні розрахунки, по яких досліджений вплив глибини та швидкості різання в межах їх критичних значень на тиск, що діє на лобову площину ножа для різних кутів різання.

**Ключові слова:** розподіл тиску; глибина різання; швидкість різання; кут різання; опір ґрунту різанню.

**Постановка проблеми.** Відомо [1], що збільшення швидкості різання впливає на критичну глибину різання, розподіл нормального тиску ґрунту на ніж, опір ґрунту різанню. Тому доцільно розглянути закон розподілу нормального тиску на лобову площину ножа з урахуванням швидкості різання.

**Викладення основного матеріалу.** При різанні ґрунту ножем енергія витрачається на деформацію і руйнування зсувом шару, що відділяється, а також на подолання сил інерції відокремлених елементів стружки. Ці два процеси протікають взаємопов'язано один з одним. Виходячи з цього, силу різання при швидкості ( $\mathcal{G}$ ) можна розглянути як суму двох складових [1; 2].

$$P_{\mathcal{G}} = (P_0 + P_{кин}) \cdot \left( 1 + \frac{\mathcal{G}}{\mathcal{G}_{кр}} \right), \quad (1)$$

де  $P_0$  – сила різання, що необхідна для утворення елементної стружки при швидкості близькій до нуля ( $\mathcal{G} \approx 0$ );  $P_{кин}$  – додаткова сила, що необхідна для надання кінетичної енергії відділеним

елементам стружки;  $g_{кр}$  – критична швидкість, при якій змінюється природа руйнування ґрунту [2]. Тому закон розподілення нормального тиску на лобову площину також залежить від швидкості руху ножа. У літературі [1; 3; 4] цей закон приймається без обґрунтування.

Обґрунтуємо закон розподілення нормального тиску на лобову поверхню ножа, який здійснює руйнування ґрунту під кутом різання ( $\alpha_p$ ). У цьому випадку силу різання ( $P_0$ ) можна визначити через нормальну ( $N$ ) і силу тертя ( $N \cdot \tan \varphi$ ), що діють на лобовій площині ножа, з проєктуванням їх на горизонталь (рис. 1).

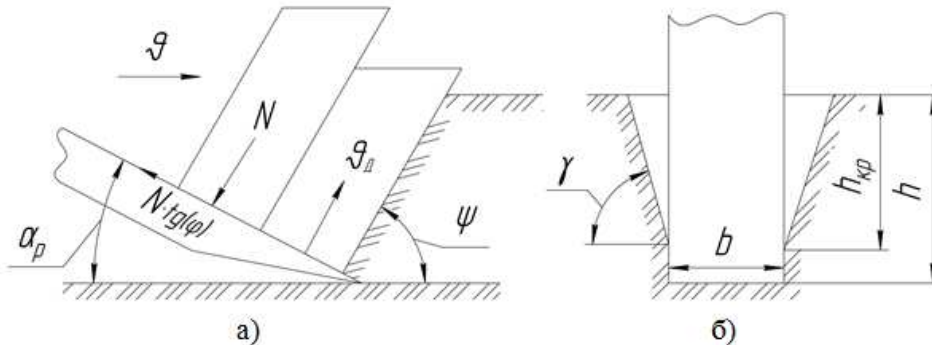


Рис. 1. Схема утворення елементної стружки в процесі різання ґрунту елементарним ножом: а) у профільній площині; б) у фронтальній площині

$$\begin{aligned}
 P_0 &= N \cdot \sin \alpha_p + N \cdot \tan \varphi \cdot \cos \alpha_p = N \cdot \left( \sin \alpha_p + \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \cdot \cos \alpha_p \right) = \\
 &= N \cdot \frac{\sin \alpha_p \cdot \cos \varphi + \sin \varphi \cdot \cos \alpha_p}{\cos \varphi} = N \cdot \frac{\sin(\alpha_p + \varphi)}{\cos \varphi}. \quad (2)
 \end{aligned}$$

Якщо нормальну силу виразити через закон розподілення нормального тиску ґрунту на лобову площину ножа та її площу ( $b \cdot h$ ), де  $b$  і  $h$  відповідно ширина ножа та глибина різання, то вираз (2) переписеться у вигляді (3).

$$P_0 = q_{сер} \cdot b \cdot h \cdot \frac{\sin(\alpha_p + \varphi)}{\sin \alpha_p \cdot \cos \varphi}, \quad (3)$$

де  $q_{сер}$  – середній тиск ґрунту на лобову площину ножа на глибині.

У літературі [5] на основі теорії Ю. О. Вєтрова обґрунтований лінійний закон зміни нормального тиску ґрунту на ніж по глибині (4).

$$q_{сер} = q_0 + \frac{q_{кр} - q_0}{2 \cdot h_{кр}} \cdot k_{неп} \cdot h, \quad (4)$$

(4)

де  $q_0$  – мінімальний тиск, що діє на ніж на денній поверхні;  $q_{кр}$  – критичний тиск на ґрунт по несучій спроможності, що діє на критичній глибині;  $h$  – поточне значення глибини різання;  $h_{кр}$  – критична глибина різання;  $k_{неп}$  – відношення глибини зони гарантованого сколу ґрунту до критичної глибини різання ( $k_{неп} = 0,9...0,95$ ).

З урахуванням (4) залежність (3) перепишеться (5)

$$P_0 = \left( q_0 + \frac{q_{кр} - q_0}{2 \cdot h_{кр}} \cdot k_{неп} \cdot h \right) \cdot b \cdot h \cdot \frac{\sin(\alpha_p + \varphi)}{\sin \alpha_p \cdot \cos \varphi}. \quad (5)$$

Ю. О. Ветров [1; 2] визначив додаткову силу різання для надання кінетичної енергії елемента стружки, що відділяється (6)

$$P_{кін} = \frac{\gamma_{зп}}{g} \cdot F_{нр} \cdot g^2 \cdot \frac{\sin \alpha_p \cdot \cos \psi}{\sin(\alpha_p + \psi)} =$$

$$= \frac{\gamma_{зп}}{g} \cdot (b + h \cdot ctg \gamma) \cdot h \cdot g^2 \cdot \frac{\sin \alpha_p \cdot \cos \psi}{\sin(\alpha_p + \psi)}, \quad (6)$$

де  $\gamma_{зп}$  – питома сила тяжіння ґрунту;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $F_{нр}$  – фронтальна площа трапецієвидного руйнування ґрунту ножем;  $\psi$  – кут поздовжнього зсуву ґрунту;  $\gamma$  – кут нахилу бокових сторін поперечного трапецеїдального прорізу до горизонту.

Із рівняння (3) з урахуванням (1) визначимо динамічний закон розподілу тиску на лобову площину ножа в залежності від швидкості ( $g$ ) та глибини різання ( $h$ ).

$$q(h, g) = \frac{P_g \cdot \sin \alpha_p \cdot \cos \varphi}{b \cdot h \cdot \sin(\alpha_p + \varphi)} = \left( 1 + \frac{g}{g_{кр}} \right) \cdot \left[ \left( q_0 + \frac{q_{кр} - q_0}{2 \cdot h_{кр}} \cdot k_{неп} \cdot h \right) + \right.$$

$$\left. + \frac{\gamma_{зп}}{g} \left( 1 + \frac{h}{b} \cot \gamma \right) \frac{\cos \psi \cdot \cos \varphi \cdot \sin^2 \alpha_p}{\sin(\alpha_p + \varphi) \cdot \sin(\alpha_p + \psi)} \cdot g^2 \right]. \quad (7)$$

**Результати досліджень.** На рис. 2, 3 побудовано графічні залежності тиску, що діє на лобову площину ножа від глибини та

швидкості різання для різних кутів. Дані для розрахунку взято із таблиці Д.1 [3]. Ширина ножа ( $b=0,06$  м), тип ґрунту – твердий супісок.

Для спрощення розрахунків проведена апроксимація рівняння розподілу тиску на лобову площину ножа в залежності від швидкості та глибини різання ( $h$ ). В результаті отримані спрощені рівняння (8, 9) та значення коефіцієнтів апроксимації ( $Y_{1...3}$ ) (див. таблицю) для твердого супіску.

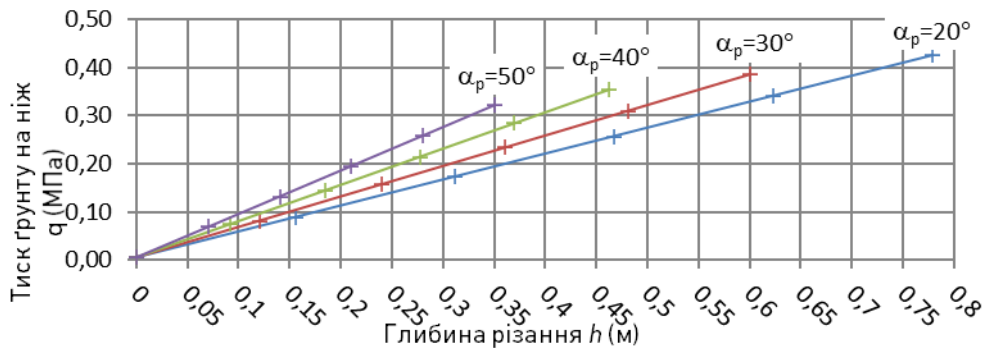


Рис. 2. Залежність нормального тиску від глибини різання при різних кутах різання

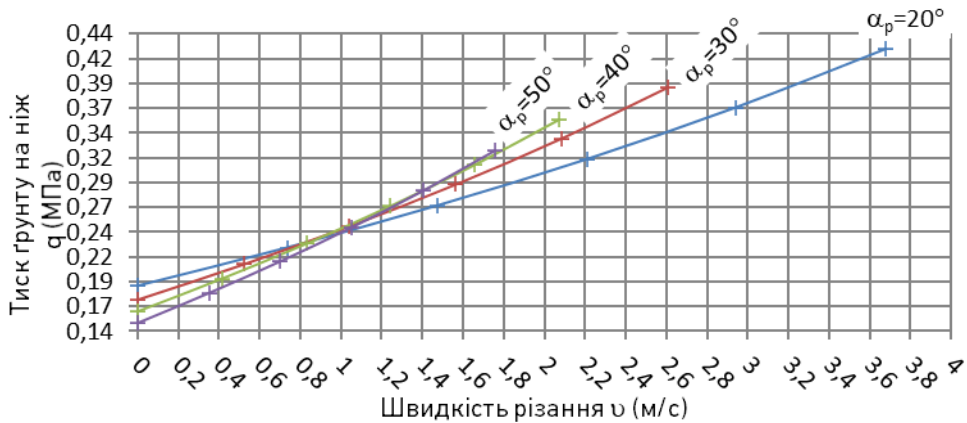


Рис. 3. Залежність нормального тиску від швидкості різання при різних кутах різання

$$q(v) = Y_1 \cdot v^2 + Y_2 \cdot v + Y_3; \quad (8)$$

$$q(h) = Y_1 \cdot h + Y_2, \quad (9)$$

де  $Y_{1...3}$  – коефіцієнти апроксимації.

Таблиця

Коефіцієнтів апроксимації для твердого супіску

$\alpha_p$ (град.)	$v$ (м/с)				$h$ (м)		
	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$R^2$	$Y_1$	$Y_2$	$R^2$
20	0,0047	0,0474	0,1859	100	0,5374	0,0058	100
30	0,0072	0,0628	0,1726	100	0,6326	0,0056	100
40	0,0091	0,0739	0,1605	100	0,7514	0,0055	100
50	0,0101	0,0811	0,1484	100	0,9035	0,0055	100

де  $R^2$  – достовірність апроксимації (%).

**Висновок.** З отриманих даних, які наведені на графіках (рис. 2, 3), можна зробити наступні висновки:

При ширині ножа ( $b=0,06$  м), зі зменшенням кута різання ( $\alpha_p$ ) від  $50^\circ$  до  $20^\circ$ , для твердого супіску критична глибина різання ( $h_{кр}$ ) зросла з 0,351 м до 0,779 м (в 2,22 рази), а критична швидкість різання ( $\mathcal{G}_{кр}$ ) зростає від 1,757 м/с до 3,68 м/с (в 2,1 рази), при цьому тиск ґрунту на фронтальну (лобову) площину ножа ( $q$ ) збільшується від 0,323 Мпа до 0,424 Мпа (в 1,3 рази).

При цьому незалежно від кута різання при певній швидкості тиск, що діє на фронтальну (лобову) площину ножа, прямує до єдиного значення (див. рис. 3), перетнувши яке зростає зі зростанням кута різання.

1. Критичноглибинні двоярусні ґрунторозпушувачі : монографія / С. В. Кравець, М. П. Скоблюк, О. В. Стіньо, Р. В. Зоря ; за заг. ред. С. В. Кравець. Рівне : НУВГП, 2018. 235 с. 2. Станевський В. П. Удосконалення робочого процесу землерийних машин : монографія. Київ : Вища школа, 1984. 128 с. 3. Кравець С. В., Кованько В. В., Лук'янчук О. П. Наукові основи створення землерийно-ярусних машин і підземно протяжних пристроїв : монографія. Рівне : НУВГП, 2015. 322 с. 4. Кравець С. В., Лук'янчук О. П., Савін Р. М. Вплив швидкості на процес глибокого різання ґрунтів. *Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування* : зб. наук. пр. Сер. Підйомно-транспортні, будівельні і дорожні машини і обладнання. Дніпро : ПДАБА, 2010. Вип. 57. С. 51–57. 5. Кравець С. В., Косяк О. В., Зоря Р. В. Вплив швидкості на критичну глибину комбінованого різання. *Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування* : зб. наук. праць. Сер. Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні машини і обладнання. Дніпро : ПДАБА, 2017. Вип. 97. С. 81–90.

## REFERENCES:

1. Krytychnohlybynni dvoiarusni gruntorozpushuvachi : monohrafiia / S. V. Kravets, M. P. Skobliuk, O. V. Stino, R. V. Zoria ; za zah. red. S. V. Kravets. Rivne : NUVHP, 2018. 235 s.
  2. Stanevskyi V. P. Udoskonalennia robochoho protsesu zemleryinykh mashyn : monohrafiia. Kyiv : Vyshcha shkola, 1984. 128 s.
  3. Kravets S. V., Kovanko V. V., Lukianchuk O. P. Naukovi osnovy stvorennia zemleryino-iarusnykh mashyn i pidzemno protiazhnykh prystroiv : monohrafiia. Rivne : NUVHP, 2015. 322 s.
  4. Kravets S. V., Luk'ianchuk O. P., Savin R. M. Vplyv shvydkosti na protses hlybokoho rizannia gruntiv. *Budivnytstvo. Materialovedennia. Mashynobuduvannia* : zb. nauk. pr. Ser. *Pidiomno-transportni, budivelni i dorozhni mashyny i obladdannia*. Dnipro : PDABA, 2010. Vyp. 57. S. 51–57.
  5. Kravets S. V., Kosiak O. V., Zoria R. V. Vplyv shvydkosti na krytychnu hlybynu kombinovanoho rizannia. *Budivnytstvo. Materialovedennia. Mashynobuduvannia* : zb. nauk. prats. Ser. *Pidiomno-transportni, budivelni, dorozhni mashyny i obladdannia*. Dnipro : PDABA, 2017. Vyp. 97. S. 81–90.
- 

**Stepaniuk B. I., Master of Industrial Training, Kholodenko V., Senior Student, Lukianchuk O. P., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Kravets S. V., Doctor of Engineering, Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

### **DETERMINATION OF THE DYNAMIC LAW OF NORMAL PRESSURE DISTRIBUTION ON THE FRONTAL (HEAD) PLANE OF THE WORKING BODY FOR SOIL DEVELOPMENT**

When cutting soil with a knife, energy is spent on deformation and shearing of the separated layer and on overcoming the inertia forces of the separated chip elements. These two processes are interconnected.

The article substantiates the law of distribution of normal pressure on the frontal surface of a knife, which destroys the soil at a certain angle.

Analytical calculations were also carried out, according to which the influence of depth and speed of cutting within their critical values on the pressure acting on the frontal plane of the knife for different cutting angles was studied. With a knife width ( $b=0.06$  m), with a decrease in the cutting angle ( $\alpha_p$ ) from  $50^\circ$  to  $20^\circ$ , for hard sandy loam, the critical cutting depth ( $h_{kp}$ ) increased from 0.351 m to 0.779 m (by 2.22 times), and the critical cutting speed ( $v_{kp}$ ) increased

**from 1.757 m/s to 3.68 m/s (by 2.1 times), while the soil pressure on the frontal (frontal) plane of the knife ( $q$ ) increased from 0.323 MPa to 0.424 MPa (by 1.3 times). In this case, regardless of the cutting angle, at a certain speed, the pressure acting on the frontal (frontal) plane of the knife tends to a single value, after crossing which it increases with increasing cutting angle.**

***Keywords:* pressure distribution; depth of cut; cutting speed; cutting angle; soil resistance to cutting.**