

## ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ЛЕМЕША ТА СИЛИ РІЗАННЯ ҐРУНТУ РІЗЦЯМИ (ЗУБАМИ) ТРАНШЕЙНИХ ЕКСКАВАТОРІВ

Кравець С. В.<sup>1</sup>, Бундза О. З.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет водного господарства та природокористування

Супонєв В. М.<sup>3</sup>, Гапонов О. О.<sup>4</sup>

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** Отримані прості залежності для визначення довжини лемеша на критичній глибині різання різців, що дозволяє визначити їх опір різанню. Отримані апроксимаційні залежності щодо відносної довжини лемешів для асиметричного блокованого і напівблокованого різання ґрунту крайніми бічними різцями і для напівблокованого критичноглибинного різання ґрунту середніми різцями.

**Ключові слова:** довжина лемеша, ґрунт, різання, траншейний екскаватор.

### Вступ

Під час глибинного розроблення ґрунту використовується робоче обладнання лемішно-го типу. Лемешем називається нижня частина різця біля різальної кромки, що контактує з ґрунтом непорушеної структури в момент відділення елемента стружки від масиву. Від геометричних параметрів лемеша (довжини, ширини та кута різання) значною мірою залежить опір різанню різця.

### Аналіз публікацій

Аналіз наукових джерел інформації щодо різання ґрунтів ножами на глибину, сумірну з критичною, продемонстрував, що довжина лемеша визначалася переважно експериментально. Дані спостережень мають обмежений частковий характер, оскільки заміри довжини лемеша є трудомісткою операцією та в кожному конкретному випадку їх отримують для конкретних кута різання ножа та типу ґрунту. Крім того, не існує єдиної методики визначення довжини лемеша, а результати досліджень [1–5] не враховують всього комплексу факторів, що впливають на довжину лемеша та крок відділення елементів стружки.

Досить поширеною є аналітична багатофакторна модель визначення довжини лемеша для симетричного блокованого різання ґрунту [6], але її неможливо використати для бокових різців багатоскребкових ланцюгових траншейних екскаваторів. Праві і ліві бокові різці траншейних екскаваторів працюють в умовах асиметричного блокованого різання з обмеженням їх роботи з одного боку вертикальними боковими стінками траншеї, а з іншого – масивом ґрунту, що має можливість вільного виходу на денну поверхню у проце-

сі руйнування. Це є гальмівним фактором для визначення сили опору різання боковими різцями та для здійснення оптимізації робочого процесу багатоскребкових траншейних екскаваторів.

### Мета і постановка завдання

Метою роботи є визначення довжини лемеша та сили різання ґрунту різцями (зубами) траншейних екскаваторів.

Для вирішення цієї проблеми необхідно визначитися як з технологічними особливостями процесу, так і конструктивною формою наконечників виконавчих робочих органів, визначити загальну структуру їх взаємодії з ґрунтом та на основі його фізико-механічних властивостей отримати раціональну довжину лемеша і сили різання.

### Визначення довжини лемеша та сили різання ґрунту різцями

З метою визначення геометричних параметрів лемеша, що здійснює асиметричне блоковане різання ґрунту, розроблена розрахункова схема (рис. 1).

На елементарний об'єм елемента стружки висотою  $dh$  в момент, що передує попередньому відділенню його від масиву ґрунту, діють сили, що зведені у вертикальну площину ОАД (рис. 1, а): активна сила  $dN'$ , що направлена під кутом зовнішнього тертя ґрунту  $\varphi$  до нормалі лобової площини різця; нормальна реакція  $dN_c$  і дотичні сили  $dT_c$  та  $dT_{бок1} \cos \delta + dT_{бок2}$  у площині зсуву ґрунту. У момент відділення елемента стружки відбувається рівновага всіх сил, що діють на нього. Тоді система рівнянь рівноваги всіх сил

на нормальну ( $n$ ) і дотичну ( $\tau$ ) осі до площини руйнування має такий вид:

$$\begin{cases} \sum P_n = dN_c + dN' \cos(\alpha_p + \phi + \psi) = 0 \\ \sum P_\tau = dT_c + dT_{\text{бок1}} \cos \delta + dT_{\text{бок2}} - dN' \sin(\alpha_p + \phi + \psi) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

де  $\alpha_p$  – кут різання різця;  $\psi$  – кут зсуву ґрунту в поздовжній площині.

Із першого рівняння системи (1) визначаємо

$$\begin{aligned} dN_c &= -dN' \cos(\alpha_p + \phi + \psi) = -\frac{dN}{\cos \phi} \cos(\alpha_p + \phi + \psi) = \\ &= -qdF \frac{\cos(\alpha_p + \phi + \psi)}{\cos \phi} = -\frac{\cos(\alpha_p + \phi + \psi)}{\cos \phi \sin \alpha_p} qb_p dh \end{aligned} \quad (2)$$

Відомо [3, 6], що тиск від ножа розповсюджується тільки в пластичній зоні ОАД елемента стружки (див. рис. 1, а). Отже:

$$\begin{cases} q = q_{\text{сеп}}, & \text{якщо } h \geq h_c - l_c \sin \alpha_p \\ q = 0, & \text{якщо } h < h_c - l_c \sin \alpha_p \end{cases} \quad (3)$$

де  $q$  – тиск ґрунту на леміш;  $b_p$  – ширина різця (різання);  $h$  – поточне значення глибини;  $h_c$  – глибина зони сколювання ґрунту;  $l_c$  – довжина лемеша в перехідній зоні (зоні стружкоутворення). Закон зміни середнього тиску на лемеші, як це доведено в [6], прийнятий лінійним вздовж глибини різання  $h_p$ :

$$q_{\text{сеп}} = \frac{q_{\text{кр}}}{2} + \frac{0,55q_{\text{кр}}}{2} \cdot \frac{h_p}{h_{\text{кр}}} \quad (4)$$

де  $q_{\text{кр}}$  – максимальний тиск на леміш, що визначається несучою спроможністю ґрунту;  $h_{\text{кр}}$  – критична глибина різання.

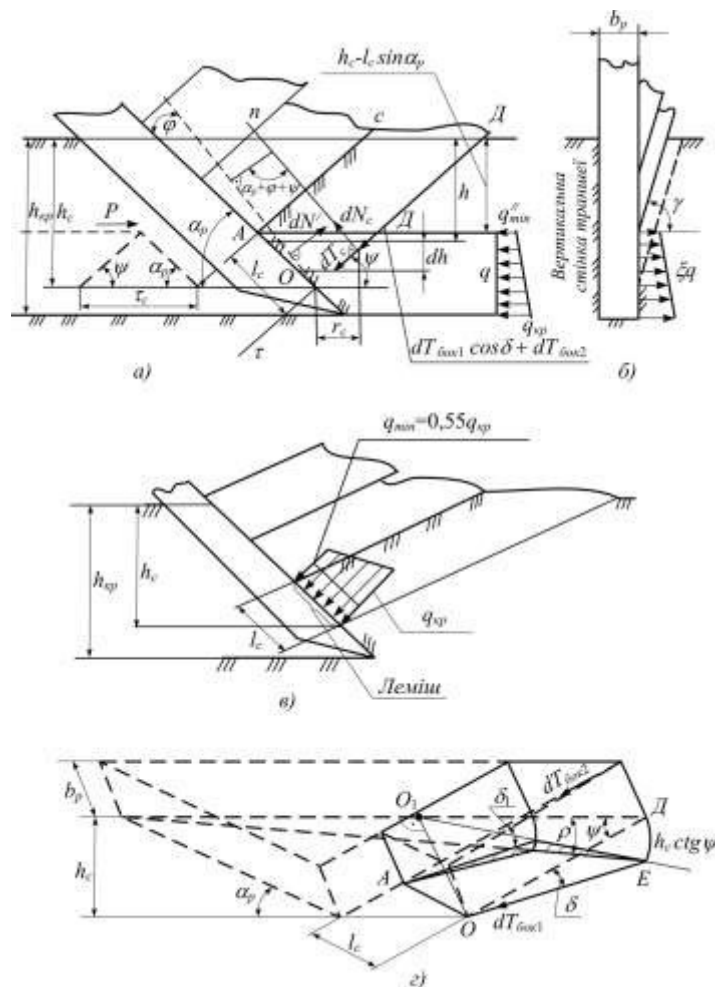


Рис. 1. Схема для визначення довжини лемеша різців багатоскребкових траншейних екскаваторів: а, б – схеми дії сил на елемент стружки у профільній і фронтальній площинах; в – схема розподілу тиску на різць; г – форма елемента стружки у разі сталого режимі різання

Якщо  $h_p = h_{кр}$

$$q_{сеп} = 0,78q_{кр}. \quad (5)$$

Елементарні дотичні сили, що діють у лобовій ( $dT_c$ ) і бічних площинах ( $dT_{бок1}$  і  $dT_{бок2}$ ) сколювання, визначаються за законом Кулона для ґрунтів. Для визначення сили  $dT_{бок1}$  у верхньому ярусі відповідно до рекомендацій [6] необхідно прийняти  $\xi q_{сеп} = 0$ :

$$dT_c = tg\varphi_0 dN_c + cdF_c \quad (6)$$

$$dT_{бок1} = (\xi q_{сеп} \cos\delta tg\varphi_0 + c) dF_{бок1} \quad (7)$$

$$dT_{бок2} = (\xi q_{сеп} tg\varphi_0 + c) dF_{бок2}, \quad (8)$$

де  $dF_c$ ,  $dF_{бок1}$ ,  $dF_{бок2}$  – елементарні площі лобової та бокових площин зсуву;  $\xi$  – коефіцієнт бокового тиску ґрунту;  $\varphi_0$  – кут внутрішнього тертя ґрунту.

Елементарні площі дорівнюють

$$dF_c = (b_p + \rho r_c) \frac{dh}{\sin\psi} = [b_p + \rho(h_c - h)ctg\psi] \frac{dh}{\sin\psi} \quad (9)$$

$$dF_{бок1} = (h_c - h)(ctg\alpha_p + ctg\psi) \frac{dh}{\cos\delta}, \quad (10)$$

якщо  $h \geq h_c - l_c \sin\alpha_p$

$$dF_{бок1} = l_c \sin\alpha_p (ctg\alpha_p + ctg\psi) \frac{dh}{\cos\delta}, \quad (11)$$

якщо  $h < h_c - l_c \sin\alpha_p$

$$dF_{бок2} = (h_c - h)(ctg\alpha_p + ctg\psi) dh, \quad (12)$$

якщо  $h \geq h_c - l_c \sin\alpha_p$

$$dF_{бок2} = l_c \sin\alpha_p (ctg\alpha_p + ctg\psi) dh, \quad (13)$$

якщо  $h < h_c - l_c \sin\alpha_p$

де  $\rho$ ,  $\delta$  – кути, що утворюються площинами зсуву з вертикальною площиною;  $r_c$  – поточне значення радіуса зсуву ґрунту. Кути  $\rho$  і  $\delta$  визначаються з геометричних співвідношень (див. рис. 1, г):

$$\rho = \arcsin\left(\frac{tg\psi}{tg\gamma}\right); \quad (14)$$

$$\cos\delta = 1 - \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{tg\psi}{tg\gamma}\right)^2}\right] \cos^2\psi, \quad (15)$$

де  $\gamma$  – кут бокового сколювання ґрунту у вертикальній фронтальній площині визначається відповідно до [7].

Для підсумку сил вздовж бокової поверхні елемента стружки підставляємо вирази (6)–(8) в друге рівняння системи (1) та з урахуванням рівностей (2), (9)–(13) проінтегруємо його в межах від 0 до  $h_c$ :

$$\begin{aligned} & -tg\varphi_0 \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos\varphi \sin\alpha_p} q_{сеп} b_p \int_{h_c - l_c \sin\alpha_p}^{h_c} dh + \frac{c}{\sin\psi} \int_0^{h_c} [b_p + \rho(h_c - h)ctg\psi] dh + \\ & + (\xi q \cos\delta tg\varphi_0 + c) \times (ctg\alpha_p + ctg\psi) \int_{h_c - l_c \sin\alpha_p}^{h_c} (h_c - h) dh + \\ & + 2c \cdot l_c \sin\alpha_p (ctg\alpha_p + ctg\psi) \int_0^{h_c - l_c \sin\alpha_p} dh + \\ & + (\xi q tg\varphi_0 + c) (ctg\alpha_p + ctg\psi) \int_{h_c - l_c \sin\alpha_p}^{h_c} (h_c - h) dh - \\ & - \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos\varphi \sin\alpha_p} q_{сеп} b_p \int_{h_c - l_c \sin\alpha_p}^{h_c} dh = 0 \end{aligned} \quad (16)$$

Після інтегрування виразу (16) та здійснення проміжних математичних перетворень маємо квадратне рівняння для визначення довжини лемеша в перехідній зоні верхнього ярусу:

$$\begin{aligned} & \frac{\sin^2\alpha_p}{2} (ctg\alpha_p + ctg\psi) (\xi q_{сеп} tg\varphi_0 (1 + \cos\delta) - 2c) l_c^2 + \\ & + \left[ 2 \sin\alpha_p (ctg\alpha_p + ctg\psi) ch_c - \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos\varphi \cos\varphi_0} q_{сеп} b_p \right] l_c + \\ & + \frac{ch_c}{\sin\psi} \left( b_p + \frac{\rho h_c}{2} ctg\psi \right) = 0. \end{aligned} \quad (17)$$

Дійсне розв'язання рівняння (17), що відповідає фізичному змісту та реальним параметрам процесу різання, записуємо таким чином:

$$l_c = \frac{-B_* - \sqrt{B_*^2 - 4A_*C_*}}{2A_*}, \quad (18)$$

де

$$\begin{cases} A_* = \frac{\sin^2 \alpha_p}{2} (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) (\xi q_{\text{cep}} \operatorname{tg} \varphi_0 (1 + \cos \delta) - 2c); \\ B_* = 2 \sin \alpha_p (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) c \cdot h_c - \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cos \varphi_0} q_{\text{cep}} b'_p; \\ C_* = \frac{ch_c}{\sin \psi} \left( b'_p + \frac{\rho h_c}{2} \operatorname{ctg} \psi \right) \end{cases} \quad (19)$$

де  $b'_p$  – ширина крайніх бокових різців.

Розв'язання (18) може бути використане для визначення довжини лемеша як у випадку асиметричного блокованого різання в верхньому ярусі, так і у разі симетричного блокованого різання з утворенням прорізу з вертикальними стінками у нижньому ярусі. Для визначення довжини лемеша в верхньому ярусі коефіцієнт  $A_*$  вираховується за умови  $\xi q_{\text{cep}} \cos \delta = 0$ , а  $\rho \neq 0$ , а в нижньому ярусі – за умови, якщо  $\xi q_{\text{cep}} \neq 0$ ,  $\gamma = \frac{\pi}{2}$ ,  $\rho = 0$  і  $\cos \delta = 1$  [6].

Для напівблокованого різання середніми різцями в системі (1) необхідно прийняти  $dT_{\text{бок}2} = 0$ ,  $\rho \neq 0$ . Тоді коефіцієнти квадратного рівняння (17) матимуть такий вид:

$$\begin{cases} A_* = \frac{\sin^2 \alpha_p}{2} (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) (\xi q_{\text{cep}} \cos \delta \operatorname{tg} \varphi_0 - c); \\ B_* = \sin \alpha_p (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) c \cdot h_c - \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cos \varphi_0} q_{\text{cep}} b_p; \\ C_* = \frac{ch_c}{\sin \psi} \left( b_p + \frac{\rho h_c}{2} \operatorname{ctg} \psi \right) \end{cases} \quad (20)$$

Для напівблокованого різання крайніми боковими різцями в системі (1) необхідно прийняти  $dT_{\text{бок}1} = 0$ ,  $\rho = 0$  і коефіцієнти квадратного рівняння (17) переписуються таким чином:

$$\begin{cases} A_* = \frac{\sin^2 \alpha_p}{2} (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) (\xi q_{\text{cep}} \operatorname{tg} \varphi_0 - c); \\ B_* = \sin \alpha_p (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) c \cdot h_c - \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cos \varphi_0} q_{\text{cep}} b'_p; \\ C_* = \frac{cb'_p}{\sin \psi} h_c \end{cases} \quad (21)$$

у залежності (19) і (21)

$$h_c = (a' - n' \alpha_p) b'_p k_{\text{пер}}, \quad (22)$$

де  $a'$ ,  $n'$  – коефіцієнти апроксимації;  $b'_p$  – ширина крайніх бокових різців;  $k_{\text{пер}}$  – перехідний коефіцієнт від критичної глибини  $h_{\text{кр}}$  до глибини сколювання  $h_c$  [1, 6].

У залежності (20) для верхнього ярусу необхідно прийняти  $\xi q_{\text{cep}} = 0$ .

У рівності (18) є невідомий параметр  $\psi$ . Визначаємо його на основі припущення, що кожного разу, якщо  $h_p = h_{\text{кр}}$ , значення кута зсуву  $\psi$  встановлюється таким чином, що опір зсуву елемента стружки, а отже, і опір різанню будуть мінімальні [6]. У загальному випадку опір різанню можна визначити через повну довжину лемеша  $l_L = l_c / 0,9 \dots 0,95$ :

$$P = q_{\text{cep}} l_L b_p \sin \alpha_p + f q_{\text{cep}} l_L b_p \cos \alpha_p = q_{\text{cep}} l_L b_p \sin \alpha_p (1 + f \operatorname{ctg} \alpha_p), \quad (23)$$

де  $f$  – коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту ( $f = \operatorname{tg} \varphi$ ).

Продиференціюємо вираз (23) за кутом  $\psi$ :

$$\frac{dP}{d\psi} = q_{\text{cep}} b_p \sin \alpha_p (1 + f \operatorname{ctg} \alpha_p) \frac{dl_L}{d\psi} = 0 \quad (24)$$

Отже,  $dl_L/d\psi = 0$  і  $l_L = \min$ , оскільки за умови, коли  $l_L = \max$ , то  $P_{\max}$ , а це суперечить умові. Таким чином, значення кута  $\psi$  визначається мінімальною довжиною лемеша.

Характерні залежності довжини лемеша від кутів зсуву елементів стружки ґрунтів для різних кутів різання різців наведені на рис. 2. Кут зсуву ґрунту інтерполюється лінійною спадною залежністю  $\psi = a_\psi - k_\psi \alpha_p$ , де  $a_\psi$  і  $k_\psi$  – коефіцієнти інтерполяції, що подані в таблиці, а  $\alpha_p$  – кут різання в градусах.

На рис. 3–5 наведені залежності мінімальної відносної (до ширини лемеша) довжини лемешів різців для асиметричного блокованого різання крайніми боковими різцями, для напівблокованого різання середніми різцями та для напівблокованого різання крайніми боковими різцями. Графічні залежності подані для напівтвердих суглинку та глини, а також для твердого супіску для кутів різання різця – 20–50°.

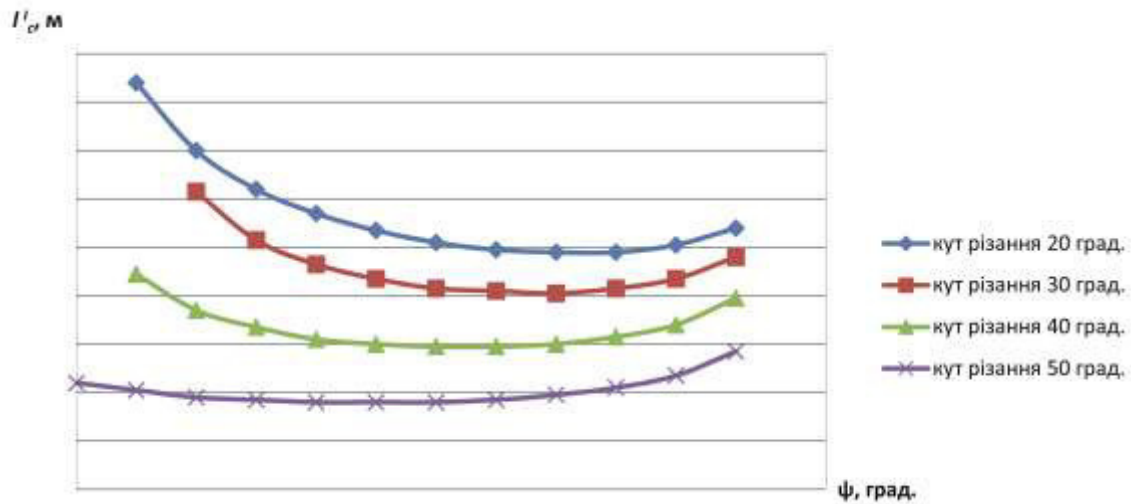


Рис. 2. Залежність довжини лемеша різців від кута зсуву елементів ґрунтової стружки

Таблиця 1 – Значення інтерполюючих коефіцієнтів

Тип ґрунту	Схема різання	Асиметричне блоковане різання крайніми боковими різцями		Напівблоковане різання середніми різцями		Напівблоковане різання крайніми боковими різцями	
		$\alpha_{\psi}$	$k_{\psi}$	$\alpha_{\psi}$	$k_{\psi}$	$\alpha_{\psi}$	$k_{\psi}$
Напівтвердий суглинок		52,2	0,17	52,0	0,20	62,1	0,36
Напівтверда глина		55,8	0,23	53,5	0,20	59,2	0,27
Твердий супісок		51,0	0,20	50,8	0,23	60,5	0,40

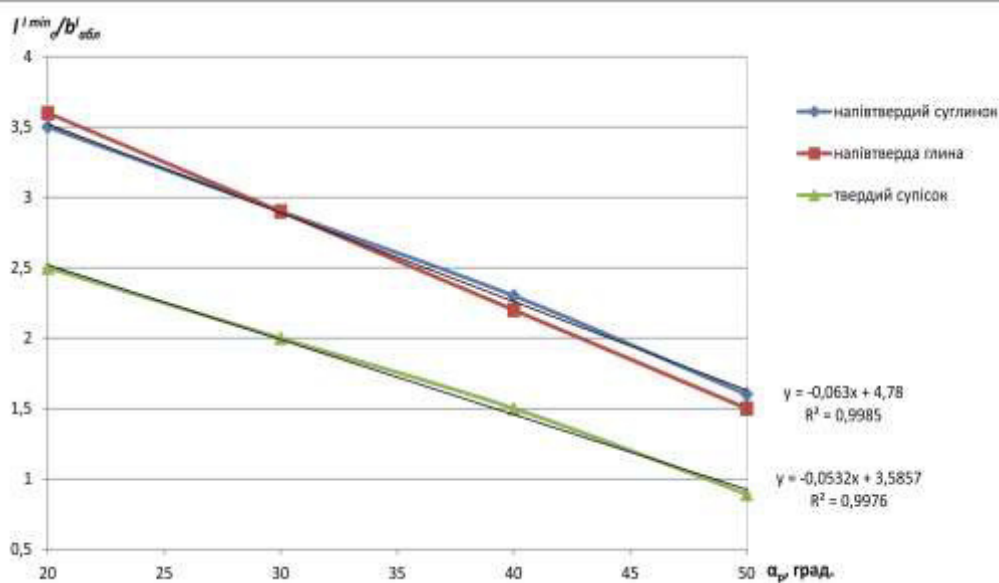


Рис. 3. Залежність мінімальної відносної довжини лемешів від кута різання різців для асиметричного блокованого різання крайніми боковими різцями

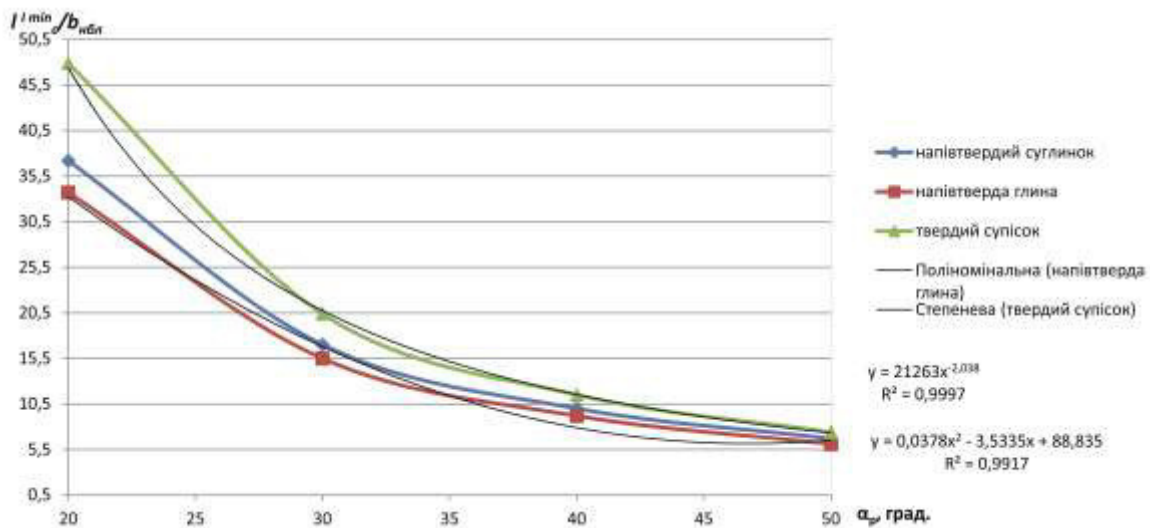


Рис. 4. Залежність мінімальної відносної довжини лемешів від кута різання різців для напівблокованого різання середніми різцями

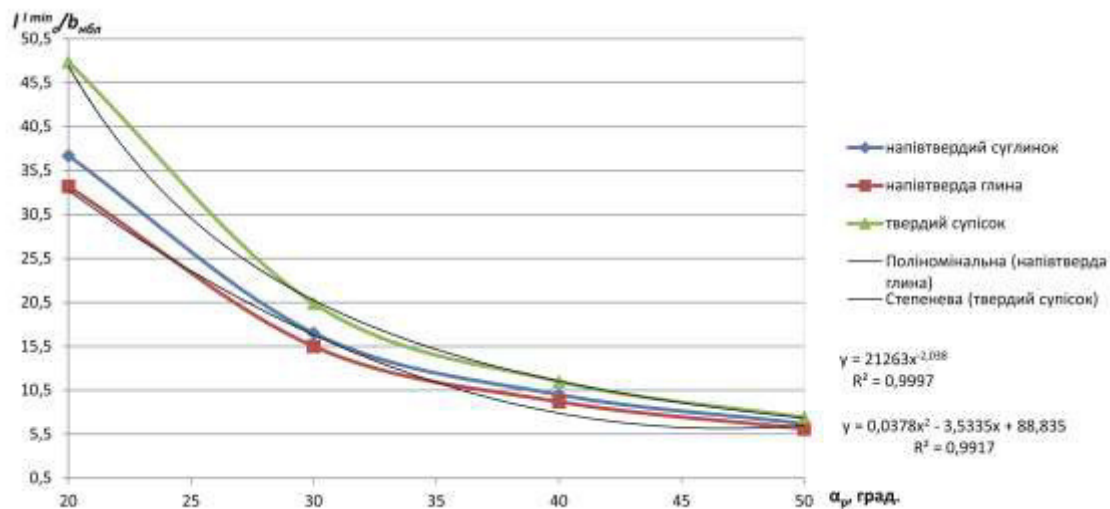


Рис. 5. Залежність мінімальної відносної довжини лемешів від кута різання різців для напівблокованого різання крайніми боковими різцями

Аналіз залежностей дозволив встановити, що відносна довжина лемеша залежить від схеми та кута різання різців і фізико-механічних властивостей ґрунтів. Так, у разі зміни кута різання різців від  $20^\circ$  до  $50^\circ$  відносна довжина лемешів зменшується: для схеми асиметричного блокованого різання крайніми боковими різцями від 3,52 до 1,63 для напівтвердих суглинку та глини та від 2,52 до 0,93 для твердого супіску; для схеми напівблокованого різання середніми різцями від 33,3 до 6,66 для напівтвердих суглинку та глини та від 47,2 до 7,27 для твердого супіску; для схеми напівблокованого різання крайніми боковими різцями від 1,8 до 1,5 для

напівтвердої глини, від 1,33 до 1,12 для напівтвердого суглинку та від 0,87 до 0,66 для твердого супіску.

Аналітичні залежності апроксимуються з достатньою для практичних розрахунків точністю (для крайніх бокових різців – до 2,0 %, а для середніх – до 7,0 %) залежностями, що подані на рис. 3–5, якщо кут різання в градусах. Якщо кут різання підставляти в радіанах, маємо такі залежності:

– для схеми асиметричного блокованого різання крайніми боковими різцями  $\alpha_p$  в рад:  
напівтверді суглинок і глина:

$$\frac{l'_{min}}{b'_{абл}} = 4,78 - 3,61\alpha_p, \quad (25)$$

твердий супісок:

$$\frac{l'_{min}}{b'_{обл}} = 3,586 - 3,05\alpha_p; \quad (26)$$

– для схеми напівблокованого різання середніми різцями:

напівтверді суглинок і глина:

$$\frac{l'_{min}}{b_{обл}} = 124,11\alpha_p^2 - 202,47\alpha_p + 88,4, \quad (27)$$

твердий супісок:

$$\frac{l'_{min}}{b_{обл}} = \frac{5,508}{\alpha_p^{2,04}}; \quad (28)$$

– для схеми напівблокованого різання крайніми боковими різцями:

напівтверда глина:

$$\frac{l'_{min}}{b'_{обл}} = -1,64\alpha_p^2 + 1,43\alpha_p + 1,5, \quad (29)$$

напівтвердий суглинок:

$$\frac{l'_{min}}{b'_{обл}} = 1,47 - 0,4\alpha_p, \quad (30)$$

твердий супісок:

$$\frac{l'_{min}}{b'_{обл}} = 1,012 - 0,4\alpha_p. \quad (31)$$

Спадні залежності на рис. 3–5 можна пояснити таким чином: зі збільшенням кута різання різця рівності (22) зменшується критична глибина різання, а отже, і довжина лемеша. Якщо збільшується ширина лемеша, то і прямо пропорційно збільшується критична глибина різання різця, а отже, і його довжина.

### Висновки

1. Отримані прості залежності для визначення довжини лемеша на критичній глибині різання різців, що дає можливість визначити їх опір різанню за залежністю (23).

2. Відносна довжина лемешів різців від їх кута різання на критичній глибині для асиметричного блокованого та напівблокованого різання ґрунту крайніми боковими різцями описується лінійною спадною, а для напівтвердої глини – спадною квадратно-параболічними залежностями.

3. Для напівблокованого критично глибинного різання ґрунту середніми різцями відносна довжина лемешів описується квадратно-параболічною спадною функцією, а для твердого супіску – степеневу залежністю.

### Література

1. Ветров Ю. А. Резание ґрунтов землеройными машинами. Москва: Машиностроение, 1972. 359 с.
2. Вольтерс А. Ю. Закономерности стружкообразования при щелевом и последовательном резании. Горн., строит., дор. и мел. машины. Киев: КИСИ, 1991. Вып. 45. С. 39–45.
3. Крупко В. А., Смирнов В. Н., Шемет И. А. Размеры области пластической деформации модели ґрунта при резании плоским ножом. Горн., строит., дор. машины. Киев: Техніка, 1985 Вып. 38. С.47–50.
4. Зеленин А. Н. Карасев А. В., Красильников Л. В. Лабораторный практикум по резанию ґрунтов: учебное пособие. Москва: Высшая школа, 1969. 310 с.
5. Станевский В. П. Совершенствование рабочего процесса землеройных машин. Киев : Высшая школа, изд-во при КГУ, 1984. 128 с.
6. Кравець С. В., Кованько В. В., Лук'яничук О.П. Наукові основи створення землерійно-ярусних машин і підземнорухомих пристроїв: монографія. Рівно: НУВГП, 2015. 322 с.
7. Кравець С. В., Скоблюк М. П., Стіньо В. О., Зоря Р. В. Критичноглибинні двоярусні ґрунторозпушувачі: монографія. Рівне: НУВГП, 2018. 235 с.

### References

1. Vetrov YU. A. Rezanie ґруntov zemlerojnymi mashinami Moskva: Mashinostroenie, 1972. 359 s.
2. Vol'ters A.YU. Zakonomernosti struzhkoobrazovaniya pri shchelevom i posledovatel'nom rezanii. Gorn., stroit., dor. i mel. mashiny. Kii'v : KISI, 1991. Vyp. 45. S. 39–45.
3. Krupko V. A., Smirnov V. N., Shemet I. A. Razmery oblasti plasticheskoy deformacii modeli ґrunta pri rezanii ploskim nozhom. Kii'v: Tekhnika, 1985. Vyp. 38. S. 47–50.
4. Zelenin A. N. Karasev A. V., Krasil'nikov L. V. Laboratornyj praktikum po rezaniyu ґруntov: Uchebnoe posobie. Moskva: Vysshaya shkola, 1969, 310 s.
5. Stanevskij V. P. Sovershenstvovanie rabochego processa zemlerojnyh mashin. Kii'v: Vishcha shkola, izd-vo pri KGU 1984, 128 s.
6. Kravec' S. V., Kovan'ko V. V., Luk'yanchuk O. P. Naukovi osnovi stvorenniya zemlerijno-yarusnih mashin i pidzemnoruhomih pristroiv. Monografiya/Rivne: NUVGP, 2015. 322 s.
7. Kravec' S. V., Skoblyuk M. P., Stin'о V. O., Zorya R. V. Kritichnoglibinni dvojarusni ґруntoroz-pushuvachi: monografiya. Rivne: NUVGP, 2018. 235 s.

**Кравець Святослав Володимирович**<sup>1</sup>, д.т.н., професор +380 (50) 301-99-58, [s.v.kravets@nuwm.edu.ua](mailto:s.v.kravets@nuwm.edu.ua),

**Бундза Олег Зіновійович**<sup>2</sup>, к.т.н., +380 (50) 301-99-58, [s.v.kravets@nuwm.edu.ua](mailto:s.v.kravets@nuwm.edu.ua),

<sup>1</sup>Національний університет водного господарства та природокористування,

**Супонев Володимир Миколайович**<sup>3</sup>, к.т.н., доцент, +380 (50) 301-99-58, [v-suponev@ukr.net](mailto:v-suponev@ukr.net),

**Гапонов Олексій Олександрович**<sup>4</sup>, +380 (63) 288-56-87, [v-suponev@ukr.net](mailto:v-suponev@ukr.net),

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

### **Determination of the length of the ploughshare and the intensity of soil cutting by the cutters (teeth) of trench excavators**

**Abstract.** Analysis of the literary sources of information about deep cutting of the soil showed that the length of the ploughshare was determined mainly experimentally. Analytical calculations will give possibility to solve an important **problem** with the reduction of the energy costs of the development of trenches using rational parameters of chain excavators working equipment. Based on the **results** of the research simple dependencies were received to determine the length of the ploughshare on the critical depth of cut that help to determine their resistance to cutting. Approximations of the length dependence of shares were received for asymmetric blocked and semi-blocked soil cutting by outside lateral cutters and semi-blocked critical-depth soil cutting by medium-sized cutters. In the **methodology** of calculations there are the ideas of mechanics of loose media and physico-mechanical properties of soils. **Practical** significance of obtained results of the work is in the possibility of choice in the process of adopting technical solution for creating efficient equipment of chain excavators. Recommendations are based on original technical solutions and design of work equipment, which allow to considerably increase the efficiency of laying engineering communications.

**Key words:** plowshare, soil, cutting, trench excavator.

**Kravec Svyatoslav Vladimirovich**<sup>1</sup>, Ph.D., Professor, 380 (50) 301-99-58, [s.v.kravets@nuwm.edu.ua](mailto:s.v.kravets@nuwm.edu.ua),

**Bundza Oleh Zinovyevich**<sup>2</sup>, Ph.d., 380 (50) 301-99-58, [s.v.kravets@nuwm.edu.ua](mailto:s.v.kravets@nuwm.edu.ua),

National University of water management and environmental sciences,

**Suponeyev Vladimir Nikolaevich**<sup>3</sup>, Ph.d., Associate Professor, + 380 (50) 301-99-58,

[v-suponev@ukr.net](mailto:v-suponev@ukr.net), Kharkiv

**Garonov Oleksiy oleksandrovych**<sup>4</sup>, + 380 (63) 288-56-87, graduate student, [v-suponev@ukr.net](mailto:v-suponev@ukr.net),

<sup>2</sup>Kharkiv national automobile and highway University.

### **Определение длины лемеха и силы резания грунта резцами (зубами) траншейных экскаваторов**

**Аннотація.** Аналіз літературних джерел інформації про глибоке різання ґрунту показав, що довжина лемеха визначається експериментально. Отримання аналітичних розрахунків дає можливість вирішити важливу **проблему**, пов'язану з зменшенням затрат енергії розробки траншеї з використанням раціональних параметрів робочого обладнання ланцюгових экскаваторів. На основі результатів досліджень були отримані прості залежності для визначення довжини лемеха на критичній глибині різання, які дозволяють визначити їх опір процесу. Отримані апроксимаційні залежності довжини лемехів для асиметричного блокуваного і полублокуваного різання ґрунту крайніми боковими резцями і для полублокуваного критически глибокого різання ґрунту середніми резцями. В основі **методології** розрахунків заложені представлення про механіку сыпучих серед і фізико-механічних властивостей ґрунтів. **Практичне значення** отриманих результатів роботи заключається в можливості вибору на стадії прийняття технічного рішення про створення ефективного обладнання ланцюгових экскаваторів. В основі розроблених рекомендацій лежать **оригінальні** технічні рішення і конструкції робочого обладнання, які дозволяють суттєво підвищити ефективність прокладки інженерних комунікацій.

**Кравець Святослав Володимирович**<sup>1</sup>, д.т.н., професор +380 (50) 301-99-58, [s.v.kravets@nuwm.edu.ua](mailto:s.v.kravets@nuwm.edu.ua),

**Бундза Олег Зіновієвич**<sup>2</sup>, к.т.н., +380 (50) 301-99-58, [s.v.kravets@nuwm.edu.ua](mailto:s.v.kravets@nuwm.edu.ua),

<sup>1</sup>Національний університет водного господарства та природопольовання,

**Супонев Володимир Николаєвич**<sup>3</sup>, к.т.н., доцент, +380 (50) 301-99-58,

[v-suponev@ukr.net](mailto:v-suponev@ukr.net),

**Гапонов Алексей Александрович**<sup>4</sup>, +380 (63) 288-56-87, [v-suponev@ukr.net](mailto:v-suponev@ukr.net)

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет.