

УДК 624.132.3

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.92.1.192

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОГЛИБИННИХ СИЛ РІЗАННЯ ҐРУНТІВ ТА ЕНЕРГОЄМНОСТІ ЛАНЦЮГОВО-СКРЕБКОВИХ ТРАНШЕЙНИХ ЕКСКАВАТОРІВ

Кравець С.В., Супонєв В.М., Гапонов О.О.

¹Національний університет водного господарства та природокористування
²Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Отримані залежності для визначення силових та енергетичних параметрів ланцюгово-скребкових траншейних екскаваторів, у яких різці працюють у режимі критичної глибини різання ґрунтів. За результатами проведених досліджень розроблено методика ком-плексного розрахунку екскаваторів безперервної дії ланцюгового типу, які широко використовуються в процесі траншейного прокладання лінійно-протяжних ділянок інженерних комунікацій.

Ключові слова: траншейний екскаватор, ланцюговий робочий орган, скребок, різці, різання ґрунту, критична глибина різання.

Вступ

Найбільш значущою складовою процесу копання ґрунту ланцюгово-скребковим робочим органом є різання ґрунту різцями (зубами) та скребками (балками). Під час розрахунку сил різання робочий орган приймається як складна механічна система тягових ланцюгів і скребоків, на яких у визначеному порядку розставлені та закріплені різці з відомими кутковими параметрами. Відділення стружки від масиву ґрунту здійснюється скребками-різцями в умовах блокованого, напівблокованого та вільного різання ґрунту. У схемах із блокованим та вільним різанням установлені також зачисні скребки без різців. Варто також мати на увазі зміну питомого опору та енергоємності різання ґрунту зі зміною товщини стружки [1, 2]. Мінімальна енергоємність руйнування ґрунту має місце на критичній глибині різання [3]. Тому методика розрахунку параметрів ланцюгово-скребкових робочих органів траншейних екскаваторів ґрунтується на критичноглибинному різанні ґрунтів.

Аналіз публікацій

Усебічний аналіз літературних джерел показав, що більшість досліджень було присвячено окремим питанням розроблення ґрунту екскаваторами безперервної дії. Так, у статті [4] надається аналітична залежність для оцінки співвідношення первинної вологості ґрунту на тривалість вивантаження ковшу екскаватора у вигляді полінома другого ступеня, але не розглянуто вплив форми, кі-

лькості та розміщення різців на продуктивність машини.

У роботі [5] на основі наукових досліджень процесів копання траншей багатоскребковими екскаваторами безперервної дії закладені основи проектування екскаваторів безперервної дії, визначені раціональні конструктивні та кінематичні параметри ланцюгово-балкового робочого органа землерийних машин. Питання зменшення енерговитрат у цих роботах шляхом зменшення енергозатрат під час різання ґрунту різцями екскаватора не розглядається. Запропоновані в роботі [6] розрахункові залежності визначають силове навантаження базового шасі універсальної землерийної машини з віяльно-поступальною подачею її робочого обладнання на забій процесів різання ґрунтів та тяглові розрахунки також не дають чіткої відповіді на це питання. Пошуку раціональних режимів роботи траншейних ланцюгових екскаваторів за рахунок інноваційних землерийних машин безперервної дії присвячена робота [7]. У ній також обґрунтовано вибір головних параметрів різального інструмента ланцюгових екскаваторів. У праці [8] визначається число ліній різання та висоти ґрунто-транспортувальних скребоків ланцюгово-скребкових траншейних екскаваторів, але не враховуються інші показники та можливість зменшення енергоємності процесу різання ґрунту різцями в режимі критичних глибин.

З проведеного огляду можна зробити висновки, що відомі методики не розглядають здійснення робочого процесу на критичній глибині різання із споживанням мінімальної

питомої енергії та з максимальною продуктивністю. Цей ефект буде можливим, якщо всі різці, незалежно від їх розміщення, типу різання та ґрунтових умов, будуть руйнувати ґрунт на критичну глибину різання, що забезпечується абсолютними значеннями та співвідношенням швидкостей різання та подання робочого органа в забій. Про це згадується в роботі [9] для умов глибокого різання ґрунтів ножовими робочими органами.

Отже, можна стверджувати, що проведення дослідження, спрямованого на визначення технічних показників екскаваторів та розмірів його різців, які працюють у режимі критичної глибини різання ґрунтів, є доцільним. У роботі [10] наводяться розрахунки таких показників, як швидкість подачі та швидкість різання ланцюгово-скребковими траншеєкопачами, що здійснюють критичноглибинне різання ґрунту. У дослідженнях [11] отримані залежності, які дозволяють встановити розміри різців та їхнє розташування на ланцюгу, що забезпечує їхню роботу в критичноглибинному режимі різання ґрунту. У праці [12] визначається довжина лемеша та сили різання ґрунту.

Але наведені результати не визначають такого показника, як сумарна сила різання ґрунту та її вплив на енергоємність ланцюгово-скребкових екскаваторів, що не дає змоги завершити побудову комплексної методики траншейних екскаваторів ланцюгового типу.

Мета і постановка завдання

Метою цієї роботи є визначення закономірностей взаємодії робочого обладнання ланцюгово-скребкових траншейних екскаваторів, у яких різці працюють у режимі критичної глибини різання ґрунтів та встановлення впливу на величини їхніх параметрів.

Завданням досліджень є отримання теоретичної залежності для визначення величини силових та енергетичних параметрів екскаваторів із критичноглибинним різанням ґрунту.

Визначення критичноглибинних сил різання ґрунтів та енергоємності

Вихідними даними для розрахунку є: ширина різців $b_{\text{ол}}$, м та їхній кут різання α_p , град.; максимальна глибина траншеї H , м; ширина траншеї B , м; фізико-механічні характеристики ґрунтів (коефіцієнт зчеплення c , МПа, питома сила тяжіння $\gamma_{\text{гр}}$, МН/м³, кути внутрішнього φ_0 і зовнішнього тертя φ , град.).

З'ясуємо зусилля різання різцями на основі знання визначеної в [12] довжини лемеша. Сила блокованого різання одним різцем дорівнює

$$P_{\text{ол}} = q_{\text{сеп}} \cdot l_{\text{ол}} \cdot b_{\text{ол}} \cdot \sin \alpha_p (1 + f \cdot \text{ctg} \alpha_p), \quad (1)$$

де $q_{\text{сеп}}$ – середній тиск ґрунту на леміш різця; $b_{\text{ол}}$, $l_{\text{ол}}$ – відповідно ширина та довжина лемеша; α_p – кут різання лемеша.

Дослідженнями [13, 14] встановлено, що найменші значення енергоємності блокованого різання знаходяться в межах кута різання $\alpha_p = 20 \dots 30^\circ$. Тому для подальших досліджень вибраний кут різання різців $\alpha_p = 30^\circ$. Число різців, що одночасно розробляють ґрунт в умовах блокованого різання, якщо в забї знаходиться одна група різців ($Z_{\text{зр}}^3 = 1$), дорівнює $Z_p = i_{\text{л}}^{\text{ол}}$. Тоді сумарна сила блокованого різання всіма різцями визначиться таким чином:

$$\begin{aligned} P_{\Sigma_p} &= (i_{\text{л}}^{\text{ол}} - 2) P_{\text{ол}} + 2P'_{\text{ол}} + P_{\Sigma_{\text{е}}} = \\ &= \left[(i_{\text{л}}^{\text{ол}} - 2) l_{\text{ол}} \cdot b_{\text{ол}} + 2l'_{\text{ол}} \cdot b'_{\text{ол}} \right] q_{\text{сеп}} \sin \alpha_p \cdot \\ &\cdot (1 + f \text{ctg} \alpha_p) + P_{\Sigma_{\text{е}}}, \end{aligned} \quad (2)$$

де $P'_{\text{ол}}$ – сила асиметричного блокованого різання крайнім боковим різцем; $b'_{\text{ол}}$, $l'_{\text{ол}}$ – відповідно ширина та довжина лемеша крайніх бокових різців. $P_{\Sigma_{\text{е}}}$ – сумарна сила вільного різання ґрунту, який залишився незруйнованим у фронтальному поперечному перерізі між різцями у вигляді трикутників з основою a_p і висотою $h_{\text{кр}}$ [8].

$$\begin{aligned} P_{\Sigma_{\text{е}}} &= \left[\frac{-(\sin \psi_{\text{е}} + \text{tg} \varphi_0 \cdot \cos \psi_{\text{е}})}{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi_{\text{е}})} q_0 + c \cdot \text{ctg} \psi_{\text{е}} \right] + \\ &+ h_{\text{кр}}^2 \cdot (i_{\text{л}}^{\text{ол}} - 1), \end{aligned} \quad (3)$$

де $\psi_{\text{е}}$ – кут зсуву ґрунту у фронтальній (повздовжній) площині за умови вільного різання ґрунту

$$\psi_{\text{е}} = 90^\circ - \frac{\alpha_p + \varphi + \varphi_0}{2}. \quad (4)$$

Мінімальний нормальний тиск ґрунту на скребок q_0 у разі контакту з незруйнованими

грунтовими виступами трикутної форми, що залишилися між різцями, дорівнює [8]

$$q_0 = c \cdot (A_1 - 1) \operatorname{ctg} \varphi_0, \quad (5)$$

де A_1 – коефіцієнт, що залежить від кута різання різця та кута внутрішнього тертя ґрунту, чисельні значення якого наведені в літературі [8].

Точні значення довжини лемешів відповідно до відомого рішення [12] наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Точні значення довжини лемешів у напівтвердому суглинку

Тип різання	Кут, різання $b'_{обл}$, α_p , м	20°	30°	40°	50°
		Симетричне блоковане	0,02	0,37	0,17
	0,03	0,57	0,27	0,16	0,11
Асиметричне блоковане	0,02	0,07	0,06	0,05	0,03
	0,03	0,10	0,09	0,07	0,05

Значення сумарної сили блокованого та вільного різання напівтвердого суглинку різцями залежно від кутів різання та ширини траншеї для однієї групи різців у графічному вигляді наведені на рис. 1.

Сила опору транспортування зрізаного ґрунту на поверхні забою дорівнює [13]

$$P_{mp} = \frac{B h_{кр} \cdot H \gamma_{zp}}{k_p \sin \beta} (1 + \operatorname{tg} \varphi_0 \cdot \operatorname{ctg} \alpha). \quad (6)$$

Сила натягу ланцюга, що необхідна для підйому ґрунту із забою, дорівнює силі тягіння цього ґрунту

$$P_{нід} = B h_c \gamma_{zp} \left(\frac{H}{2} + H_0 \right) \cdot \frac{k_n}{\sin \alpha \cdot k_p}. \quad (7)$$

Тоді сумарне зусилля в ланцюгу, якщо в забої знаходиться Z_{zp}^3 різців, дорівнює

$$P_{\Sigma} = \left(P_{\Sigma P} + P_{mp} + P_{нід} \right) Z_{zp}^3. \quad (8)$$

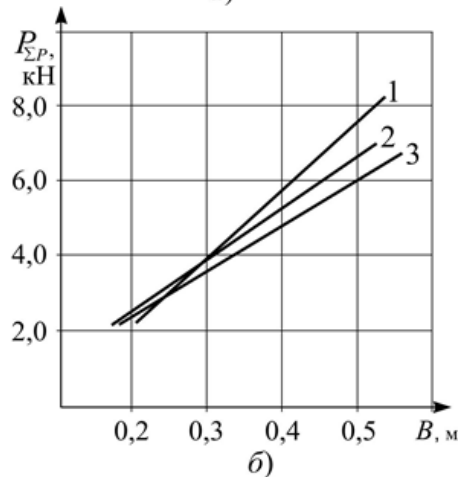
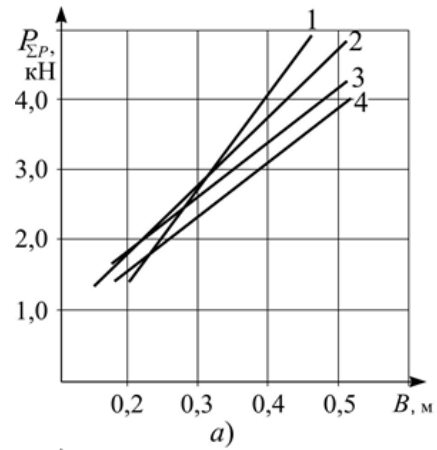


Рис. 1. Залежність сумарної сили критичноглибинного різання різцями від ширини траншеї (ґрунт – напівтвердий суглинок): а – для $b'_{обл}=0,02$ м; б – для $b'_{обл}=0,03$ м: 1 – $\alpha_p=20^\circ$ ($b'_{обл}=0,041$ м); 2 – $\alpha_p=30^\circ$ ($b'_{обл}=0,035$ м); 3 – $\alpha_p=40^\circ$ ($b'_{обл}=0,033$ м); 4 – $\alpha_p=50^\circ$ ($b'_{обл}=0,033$ м)

Енергоємність руйнування одного кубічного метра ґрунту чисельно дорівнює питомому опору копанню

$$E_{м^3} = \frac{P_{\Sigma} \cdot 1 м}{B \cdot h_{кр} \cdot 1 м}. \quad (9)$$

Необхідна потужність двигуна на приводі ланцюгово-скребкового робочого органа

$$N_{p.o} = \frac{\left(P_{\Sigma P} + P_{mp} + P_{нід} \right) Z_{zp}^3 g_p}{\eta_{np} \cdot \eta_{ланц.}}, \quad (10)$$

де $\eta_{np}, \eta_{ланц.}$ – відповідно коефіцієнти корисної дії привода та ланцюга [13].

Якщо задана потужність двигуна $N_{\text{дв}}$, базової машини, то можна визначити $Z_{\text{зр}}^3$ із балансу потужності

$$\frac{(P_{\Sigma P} + P_{\text{пр}} + P_{\text{нід}}) Z_{\text{зр}}^3 \cdot \mathcal{G}_p + N_{\text{шн}}}{\eta_{\text{пр}} \cdot \eta_{\text{ланц}}} + N_{\text{пер}} = N_{\text{дв}},$$

$$Z_{\text{зр}}^3 = \frac{(N_{\text{дв}} - N_{\text{пер}}) \eta_{\text{пр}} \cdot \eta_{\text{ланц}} - N_{\text{шн}}}{(P_{\Sigma P} + P_{\text{пр}} + P_{\text{нід}}) \cdot \mathcal{G}_p}, \quad (11)$$

де $N_{\text{шн}}$, $N_{\text{пер}}$ – потужності на привод транспортувальних шнеків і переміщення машини визначаються відповідно до літератури [14, 15, 16].

На рис. 2. і 3 наведені залежності сумарного зусилля натягу ланцюга та енергоємності розроблення 1 м³ ґрунту від ширини траншеї та кута різання різців.

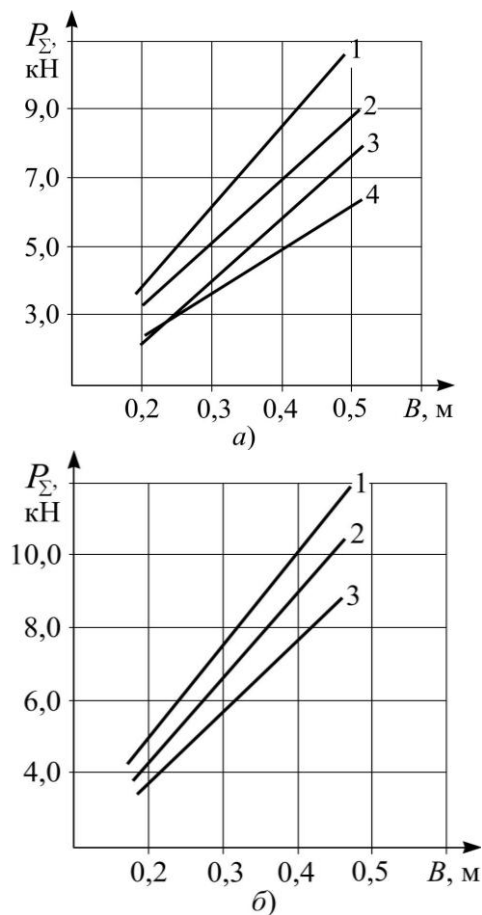


Рис. 2. Залежність сумарної сили копання від ширини траншеї (ґрунт – напівтвердий суглинок): а – для $b_{0.2} = 0,02$ м; б – для $b_{0.2} = 0,03$ м: 1 – $\alpha_p = 20^\circ$; 2 – $\alpha_p = 30^\circ$; 3 – $\alpha_p = 40^\circ$; 4 – $\alpha_p = 50^\circ$

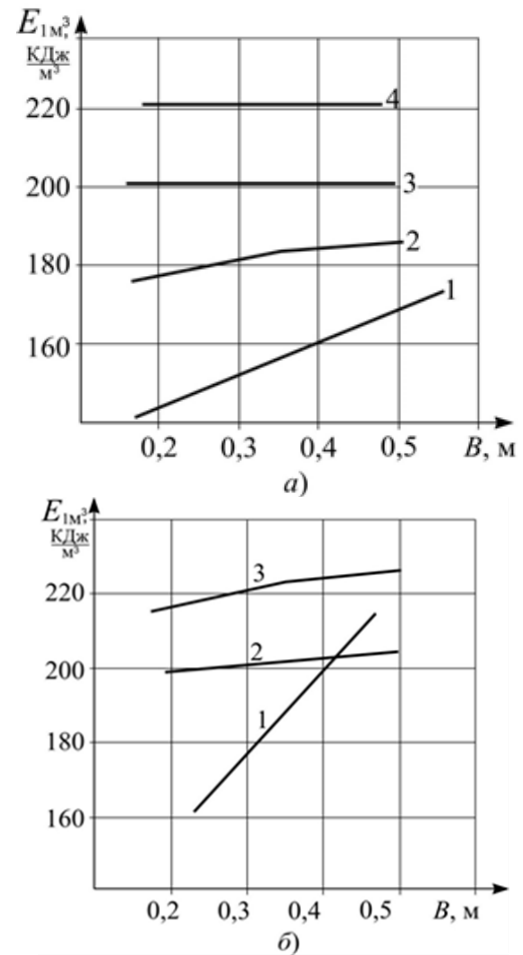


Рис. 3. Залежність енергоємності розроблення одного кубічного метра ґрунту від ширини траншеї (ґрунт – напівтвердий суглинок): а – для $b_{0.2} = 0,02$ м; б – для $b_{0.2} = 0,03$ м: 1 – $\alpha_p = 20^\circ$; 2 – $\alpha_p = 30^\circ$; 3 – $\alpha_p = 40^\circ$; 4 – $\alpha_p = 50^\circ$

Аналіз розрахункових даних показав, що сумарна сила критичноглибинного різання прямопропорційно зростає із збільшенням ширини траншеї для всіх кутів різання в межах $\alpha_p = 20 \dots 50^\circ$. Із зменшенням кута різання критичноглибинна сила різання зростає, що пояснюється збільшенням критичної глибини різання та подачі на різець. Енергоємність робочого процесу, навпаки, мінімальні значення приймає в разі кутів різання різців $\alpha_p = 20 \dots 30^\circ$, прямопропорційно зростаючи із збільшенням ширини траншеї. Якщо кути різання різців $\alpha_p = 40 \dots 50^\circ$ енергоємність стабілізується та практично не залежить від ширини траншеї. До того ж енергомiсткiсть (вiдношення енергоємностi до продуктивностi E_m) робочого процесу пiд час розроблення ґрунту II категорiї (напiвтвердий суглинок) знаходиться в межах: для $b_{0.2} = 0,02$ м –

$E_m = 0,22 \dots 0,39$ кВт·год/м³; для $b_{ол.} = 0,03$ м – $E_m = 0,20 \dots 0,22$ кВт·год/м³, тобто енергомісткість зменшується із збільшенням ширини різців, що підтверджується результатами інших досліджень [11].

Питома сила копання (на критичній глибині різання) чисельно дорівнює енергоємності розроблення одного кубічного метра ґрунту та для напівтвердого суглинку (ґрунт II категорії) змінюється від 147,7 кПа для $\alpha_p = 20^\circ$ до 225,8 кПа для $\alpha_p = 50^\circ$, (див. рис. 3).

Висновки

Отримані в роботі залежності щодо визначення критичноглибинних сил різання ґрунту та енергоємності процесу розриву траншеї ланцюгово-скребковим екскаватором безперервної дії дозволяють доповнити розрахунки та створити комплексну методику розрахунку машини, в основі якої закладені принципи найбільш ефективного руйнування ґрунту блокованого та напівблокованого різання ґрунту різцями робочого органа екскаватора.

Література

1. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. Москва: Машиностроение, 1971. 360 с.
2. Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.П. Машины для земляных работ. Москва: Машиностроение, 1975. 424 с.
3. Кравець С.В., Кованько В.В., Лук'янчук О.П. Наукові основи створення землерійно-ярусних машин і підземно-рухомих пристроїв: монографія. Рівне: НУВГП, 2015. 322 с.
4. Sobolevskiy R., Korobiichuk V., Levytskyi V. Optimization of the process of efficiency managment of the primary kaolin excavation on the curvea face of the concutioned area. Rudarsko-geolosko-naftni zbornik. 2020. Vol. 35, no. 1. P. 123–138. (Web of Science).
5. Palomba I., Richiedi D., Trevisani A. Estimation of the digging and payload forces in excavators by means of state observers. Mechanical systems and signal progressing. 2019. Vol. 134, no. 106356. (Web of Science).
6. Мусійко В.Д., Коваль А.Б. Визначення силового навантаження базового шасі універсальної землерійної машини з віяльно-поступальною подачею її робочого обладнання на забій. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. Днепропетровськ: ПГСА, 2014. Вип. 79. С. 133–140.
7. Мусійко В.Д., Кравець С.В., Пухтаєвич О.І. Визначення раціональних режимів роботи інтенсифікатора розвантаження ґрунту з робочого органу землерійних машин безперервної дії. Вісник Національного транспортного ун-ту. 2018. № 1(40). С. 241–251.
8. Кравець С.В., Косяк О.В., Гапонов О.О., Янчик Т.О. Визначення числа ліній різання та висоти ґрунтотранспортуючих скребків ланцюгово-скребкових траншейних екскаваторів. Зб. наукових праць ПДАБА: Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. Інтенсифікація робочих процесів будівельних та дорожніх машин. Серія «Підйомно-транспортні, будівельні та дорожні машини і обладнання». Дніпро: ДВНЗ «ПДАБА», 2019. Вип. 107. С. 66–74.
9. Косяк О.В., Гапонов О.О., Пухтаєвич О.Г. Передумови створення критичноглибинних режимів роботи багатоскребкових ланцюгових траншейних екскаваторів. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. 2018. Вып. 103. С.145–151.
10. Визначення робочої швидкості подачі та швидкості різання ланцюгово-скребкового траншеєкопачами, що здійснюють критичнеглибинне різання ґрунту / С.В. Кравець та ін. DINAMIKS OF THE DEVELOPMENT OF WORLD SKIENCE. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference. Vancouver, Canada, 25–27 September 2019. С. 328–334.
11. Kravets V., Suponyev A., Goponov S., Kovalevskiy A. Determination of efficient operating modes and sizes of blades for multi-scraper trench excavators. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2020. № 4/1(16). С. 23–28. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.208957.
12. Кравець С.В., Супонев В.М., Бундза О.З., Гапонов О.О. Визначення довжини лемеша та сили різання ґрунту різцями (зубами) траншейних екскаваторів. Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр., 2019. Вип. 87. Т. 2. С. 78–86. (Index Copernicus, DOAJ).
13. Дорожные машины. Ч.1. Машины для земляных работ / В.А. Алексеева и др. Москва: Машиностроение, 1972. 504 с.
14. Критичноглибинні двоярусні ґрунторозпушувачі: монографія / С.В. Кравець, М.П. Скоблюк, О.В. Стіньо, Р.В. Зоря. Рівне: НУВГП, 2018. 322 с.
15. Мусійко В.Д. Теорія та створення інноваційних землерійних машин безперервної дії: монографія. Київ: НТУ, СПД Чалнеська Н.В., 2016. 208 с.
16. Мусійко В.Д. Екскаватори поздовжнього копання: навч. посіб. Київ: НТУ, Віполь, 2008. 240 с.
17. Машины для земляных работ: подручник / Л.А. Хмара та ін.; за заг. ред. д.т.н., проф. Л.А. Хмари та д.т.н. проф. С.В. Кравця. Харків: ХНАДУ, 2014. 548 с.

References

1. Vetrov YU.A. Rezanie gruntov zemlerojnymi mashinami. M.: Mashinostroenie, 1971. 360 s.

2. Zelenin A.N., Balovnev V.I., Kerov I.P. Mashiny dlya zemlyanyh rabot. M.: Mashinostroenie, 1975. 424 s.
 3. Kravec' S.V., Kovan'ko V.V., Luk'yanchuk O.P. Naukovi osnovi stvorenniya zemlerijno-yarusnih mashin i pidzemno-ruhomih pristroiv: monografiya. Rivne: NUVGP, 2015. 322 s.
 4. Sobolevskiy R., Korobiichuk V., Levytskyi V. Optimization of the process of efficiency managment of the primary kaolin excavation on the curvea face of the concutioned area. Rudarsko-geolosko-naftni zbornik. 2020. Vol. 35, no. 1, p. 123-138. (Web of Science).
 5. Palomba I., Richiedeì D., Trevisani A. Estimation of the digging and payload forces in excavators by means of state observers. Mechanical systems and signal progressing. 2019. Vol. 134, no. 106356. (Web of Science)
 6. Musijko V.D., Koval' A.B. Vznachennya silovogo navantazhennya bazovogo shasi universal'noi zemlerijnoi mashini z viyal'no-postupal'noyu podacheyu ii robochogo oblad-nannya na zabij. Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Intensifikaciya rabochih processov stroitel'nyh i dorozhnyh mashyn. Dnipropetrovs'k: PGSA, 2014. Vyp. 79. S. 133-140.
 7. Musijko V.D., Kravec' S.V., Puhtaevich O.I. Vznachennya racional'nih rezhimiv roboti intensifikatora rozvantazhennya gruntu z robochogo organu zemlerijnih mashin bezperervnoi dii. Visnik Nacional'nogo transportnogo un-tu. 2018. No. 1(40). S. 241-251.
 8. Kravec' S.V., Kosyak O.V., Gaponov O.O., YAnchik T.O. Vznachennya chisla linij rizannya ta visoti gruntotransportuyuchih skrebkiv lancyugovo-skrebkovih transhejnih ekskavatoriv. Sb. naukovih prac' PDABA: Budivnictvo, materialoznavstvo, mashinobuduvannya. Intensifikaciya rabochih procesiv budivel'nih ta dorozhnyh mashin. Seriya: Pidjomnotransportni, budivel'ni ta dorozhni mashini i obladnannya. Dnipro: DVNZ «PDABA», 2019. Vyp. 107. S. 66-74.
 9. Kosyak O.V., Gaponov O.O., Puhtaevich O.G. Peredumovi stvorennya kritich-noglibinnih rezhimiv roboti bagatoskrebkovih lancyugovih transhejnih ekskavatoriv. Str-vo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Pod'omnotransp., stroit., dor. mashiny i obor. 2018. Vyp. 103. S.145-151.
 10. Kravec' S.V., Suponev V.M., Gaponov O.O., Bundza O.Z. Vznachennya robochoi shvidkosti podachi ta shvidkosti rizannya lancyugovoskrebkovogo transheekopachami, shcho zdijsnyuyut' kritichne-glibinne rizannya gruntu. DINAMIKS OF THE DEVELOPMENT OF WORLD SKIENCE. Abstracts of I International Scientific and Practical Conference. Vancouver, Canada, 25-27 September 2019. S. 328-334.
 11. Kravets V. Suponyev A. Goponov S. Kovalevskiy A. Determination tfficient operating modes and sizes of blades for multi-scraper trench excavators. Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tekhnologij. 2020. No. 4/1(16). S. 23-28. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.208957.
 12. Kravec' S.V. Suponev V.M., Bundza O.Z., Gaponov O.O. Vznachennya dovzhini lemesha ta sili rizannya gruntu rizcyami (zubami) transhejnih ekskavatoriv. Vestik HNADU: sb. nauch. tr. 2019. Vyp. 87. T. 2. S. 78-86. (Index Copernicus, DOAJ).
 13. Dorozhnye mashiny. CH. 1. Mashiny dlya zemlyanyh rabot / V.A. Alekseeva, K.A. Artem'ev, A.A. Bromberg i dr. M.: Mashinostroenie, 1972. 504 s.
 14. Kritichnoglibinni dvoyarusni gruntorozpushuvachi: monografiya / S.V. Kravec', M.P. Skoblyuk, O.V. Stin'o, R.V. Zorya. Rivne: NUVGP, 2018. 322 s.
 15. Musijko V.D. Teoriya ta stvorennya innovacijnih zemlerijnih mashin bezperervnoi dii: monografiya. Kyiv: NTU, SPD CHalnes'ka N.V., 2016. 208 s.
 16. Musijko V.D. Ekskavatori pozdovzhn'ogo kopannya: navchal'nij posibnik. Kyiv: NTU, Vipol', 2008. 240 s.
 17. Mashini dlya zemlyanih robot. Pidruchnik / L.A. Hmara, S.V. Kravec', M.P. Skoblyuk ta in. Za zag. red. d.t.n., prof. L.A. Hmari ta d.t.n. prof. S.V. Kravcyu. Harkiv: HNADU, 2014. 548 s.
- Кравець Святослав Володимирович**, доктор технічних наук, професор кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання, Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028, E-mail: s.v.kravets@nuwm.edu.ua, тел.: +38097-28-915-89, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4063-1942>.
- Супонєв Володимир Миколайович**, доктор технічних наук, доцент кафедри будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, Україна, 61002, E-mail: v-suponev@ukr.net, тел.: +38050-30-199-58, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7404-6691> https://www.researchgate.net/profile/Vladimir_Supon_yev.
- Гопонов Олексій Олександрович**, аспірант кафедри будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, Україна, 61002, E-mail: kaf_bdm@ukr.net, тел.: +38099-13-984-32, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7853-3005>.

Determination of critical depth forces of cutting soils and energy consumption of chain scraper trench excavators

Abstract. *The presented results of scientific research are aimed at solving the **problem**, which is associated with an increase in the productivity of the development of trenches for laying engineering communications due to the use of new less energy-intensive soil development processes with the working equipment of chain trench excavators. The **aim** of the work is to establish the regularities of the interaction of the working equipment of the chain scraper excavator with the soil, in which the cutters work in the critical cutting depth mode. Among the tasks that are directed to achieve the goal, it was necessary to establish the influence of soil development processes in these conditions on the technical parameters of the machine. The **methodology** for solving the problem is based on the idea of the theory of soil mechanics and the provisions on the critical depth of soil cutting. Applying this knowledge to the operation of the cutters of the chain excavator for cutters guarantees the consumption of the minimum specific energy and obtaining the maximum performance of the machine. Existing studies do not give a complete picture for calculating the parameters of trench excavators in which the cutters of the working body operate in the mode of critical cutting of the soil, which in turn does not allow carrying out a comprehensive calculation of the chain trench excavator and assessing the energy efficiency of its operation. The **result** of the research is the obtaining of theoretical dependencies for determining the cutting forces of the soil by the working body of the excavator under the conditions of the critical depth of the work of its cutters, as well as dependencies for calculating the energy indicators of the machine. The **originality** of the solution to the problem lies in an integrated approach, namely, it took into account not only the influence of the work of the cutters in conditions of a critical depth of cut on the technical parameters of the machine, but also the properties of the soils that are being developed. The **practical significance** of the results of the research is to obtain dependencies that can be used as the basis for the engineering methodology for the integrated calculation of chain-type trench excavators in which the cutters operate in the critical blocked and half blocked cutting mode of the soil.*

Key words: trench excavator, chain working body, scraper, cutters, soil cutting, critical cutting depth.

Kravets Svyatoslav, Doctor of Technical Sciences, professor, Department of building, road, melioration, agricultural machinery and equipment National University of Water and Environmental Engineering Soborna str., 11, Rivne, Ukraine, 33028, E-mail: s.v.kravets@nuwm.edu.ua, phone number:

+38097-28-915-89,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4063-1942>.

Vladimir Suponyev, PhD, Associate Professor, Department of build and travelling machines, Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslava Mudroho str., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002, E-mail: v-suponev@ukr.net, tel.: +38050-30-199-58,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7404-6691>

https://www.researchgate.net/profile/Vladimir_Suponyev.

Aleksej Goponov, Postgraduate student Department of build and travelling machines, Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslava Mudroho str., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002, E-mail: kaf_bdm@ukr.net, tel.: +38099-13-984-32,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7733-0919>.

Определение критичноглубинных сил резания грунтов и энергоёмкости цепных скребковых траншейных экскаваторов

Аннотація. *Представлені результати наукових досліджень направлені на рішення **проблеми**, котра пов'язана з підвищенням продуктивності розробки траншей для прокладки інженерних комунікацій за счёт застосування нових менше енергоємних процесів розробки ґрунту робочим обладнанням цінних траншейних екскаваторів. **Цілью** роботи являється встановлення закономірностей взаємодії робочого обладнання цінного скребкового екскаватора з ґрунтом, у котрого режці працюють в режимі критичної глибини резання. Серед завдань, котрі направлені на досягнення цілі, необхідно було встановити вплив процесів розробки ґрунту в цих умовах на технічні параметри машини. В основі **методології** рішення задачі лежить представлення о теорії механіки ґрунтів і положення о критичній глибині резання ґрунту. Застосування цих знань к роботі режців цінного екскаватора гарантує споживання мінімальної удільної енергії і отримання максимальної продуктивності машини. Сущіснуючі дослідження не дають повної картини для расчёта параметрів траншейних екскаваторів, у котрих режці робочого органа працюють в режимі критично глибокого резання ґрунту, що в свою чергу не дозволяє провести комплексний расчёт цінного траншейного екскаватора і оцінити енергетичну ефективність його роботи. **Результатом** проведених досліджень являється отримання теоретических залежностей для определения сил резання ґрунту робочим органом екскаватора в умовах критичної глибини роботи его режців, а також залежностей для расчёта енергетических показателей машини. **Оригинальність** рішення задачі заключається в комплексном підході, а именно ухвачено не тільки вплив роботи*

резцов в условиях критической глубины резания на технические параметры машины, но и свойства грунтов, которые разрабатываются. Практическое значение результатов проведенных исследований заключается в получении зависимостей, которые могут быть положены в основу инженерной методики комплексного расчёта траншейных эскаваторов цепного типа, у которых резцы работают в режиме критического заблокированного и на половину заблокированного резания грунта.

Ключевые слова: траншейный экскаватор, цепной рабочий орган, скребок, резцы, резание грунта, критическая глубина резания.

Кравец Святослав Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры строительных, дорожных, мелиоративных, сельскохозяйственных машин и оборудования, Национальный университет водного хозяйства и природопользования, ул. Соборная, 11, г. Ровно,

Украина, 33028,

E-mail: s.v.kravets@nuwm.edu.ua,

тел.: +38097-28-915-89,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4063-1942>.

Супонев Владимир Николаевич, доктор технических наук, доцент кафедры строительных и дорожных машин,

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Ярослава Мудрого, 25, г. Харьков, Украина, 61002,

E-mail: v-suponev@ukr.net, тел.: +38050-30-199-58,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7404-6691>

https://www.researchgate.net/profile/Vladimir_Suponev.

Гапонов Алексей Александрович, аспирант кафедры строительных и дорожных машин,

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Ярослава Мудрого, 25, г. Харьков, Украина, 61002,

E-mail: kaf_bdm@ukr.net, тел.: +38099-13-984-32,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7853-3005>.