

УДК 624.132.3

Методика розрахунку параметрів скребкового робочого органу траншейного екскаватора на основі критичноглибинного блокованого різання ґрунтів

Святослав Кравець¹, Олександр Лук'янчук²,
Володимир Супонев³, Олексій Гапонов⁴

^{1,2} Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028.

^{3,4} Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, Україна, 61002.

¹ s.v.kravets@nuwm.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4063-1942>

² o.p.lukyanchuk@nuwm.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-0892-545X>

³ y-suponev@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-7404-6691>

⁴ kaf_bdm@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-7853-3005>

Received: 23.11.2020; Accepted: 21.12.2020

<https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.96.0101>

Анотація. В статті наведено методику розрахунку параметрів скребкового робочого органу траншейного екскаватора, що здійснює критичноглибинне різання: критичну глибину для його різців, число ліній різання, крок розстановки різців, висоту скребоків, швидкість різання, робочу швидкість, довжину лемешів різців, необхідне зусилля різання ґрунту, потужності на привід робочого органу і пересування, потужності підбору базової машини. Вихідними даними для розрахунку є: ширина різців $b_{ол}$, м і їх 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 γ_{gp} , МН/м³, кути внутрішнього φ_0 і зовнішнього тертя φ , град). Розроблена методика дозволяє створити енергоефективні робочі органи та визначити їх критичноглибинні режими роботи, що дають можливість підвищити продуктивність і зменшити енергоємність багатоскребкових ланцюгових траншейних екскаваторів, які здійснюють блоковане різання ґрунтів.

Ключові слова: траншейний екскаватор, робочий орган, параметри скребка, критична глибина

ВСТУП

Ланцюгові траншеєкопачі є універсальними екскаваторами, які використовуються для розробки ґрунту, але одночасно з універсальністю зменшується їх продуктив-

ність. Задача полягає в тому, щоб не змінюючи потужність базової машини, зменшити енергоємність і збільшити технічну продуктивність [3]. Також існує проблема з недостатністю їх модельного ряду для риття траншей різних розмірів і глибин.

Розстановка різців робочого органу і їхні розміри не є оптимальними. При виборі різців не враховано вплив швидкості руху екскаватора та геометрії параметрів процесу різання ґрунтів. Сумарна швидкість переміщення різця в забію являє собою геометричну суму двох швидкостей: швидкості ланцюга і швидкості руху екскаватора [3].

Виконавчий орган разом із руйнуванням ґрунтів виконує функцію транспортування ґрунту з траншеї. Піднятий з траншеї ґрунт накопичується на поверхні незруйнованого масиву, який просипається у зазори між виконавчим органом і боковими стінками траншеї.

МЕТА РОБОТА

Метою роботи є створення такого робочого органу, щоб багатоскребковий траншеєкопач для конкретного ґрунту мав максимальну технічну продуктивність і мінімальну енергоємність. З огляду на вихідні дані, необхідно розрахувати кількість різців, їх глибину різання ґрунту та довжину

лемешів, висоту транспортуючих скребоків і відстань між ґрунторозробними елементами (різцями).

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Найбільш значущою складовою процесу копання ґрунту ланцюгово-скребковим робочим органом є різання ґрунту різцями (зубами) та скребками. Під час розрахунку сил різання робочий орган вважається складною механічною системою тягових ланцюгів і скребоків, на яких у визначеному порядку розставлені та закріплені різці з відомими кутовими параметрами. Відділення стружки від масиву ґрунту здійснюється скребками-різцями в умовах блокового, напівблокового та вільного різання ґрунту. В схемах з блокованим та вільним різанням установлені також зачисні скрепки без різців. Слід також зважати на зміну питомого опору та енергоємності різання ґрунту зі зміною товщини стружки [2, 4]. Мінімальна енергоємність руйнування ґрунту має місце на критичній глибині різання [2]. Тому методика розрахунку параметрів ланцюгово-скребкових робочих органів траншейних екскаваторів ґрунтується на критичноглибинному різанні ґрунтів.

Вихідними даними для розрахунку є: ширина різців $b_{\text{ол}}$, м і їх 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 $\gamma_{\text{сп}}$, МН/м³, кути внутрішнього φ_0 і зовнішнього тертя φ , град) (Рис. 1).

Розрахунок параметрів проводиться за розробленою методикою в наступній послідовності:

1. Вибирається мінімальна ширина різців з умови міцності їх на згин при зустрічі різця з перешкодою. Відомо [6], що критична глибина прямопропорційна ширині різця і для блокованого різання у 2 рази менша за критичну глибину напівблокованого різання. Тому, щоб усі різці працювали на критичній глибині необхідно, щоб $b_{\text{ол}}^{\text{min}} = 2b_{\text{н.ол}}^{\text{min}}$.

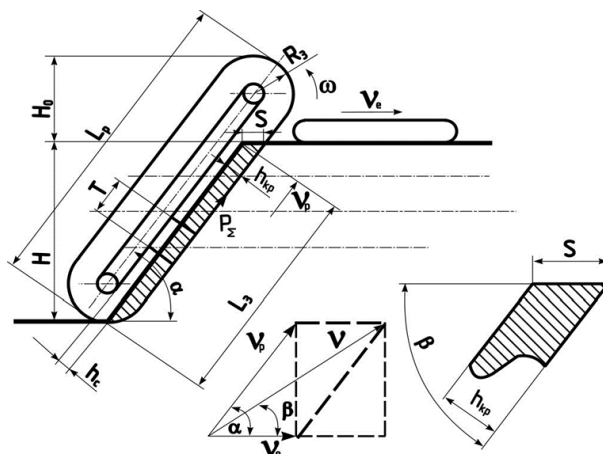


Рис. 1. Розрахункова схема взаємодії робочого органу з ґрунтом

Fig. 1. The scheme of interaction of the working equipment with soil

2. Критична глибина різання

$$h_{\text{кр}} = \frac{a \cdot b_{\text{ол}}}{(\tan \alpha_p)^n \cdot k_{\text{бок}}} \text{ м}, \quad (1)$$

де a і n – коефіцієнти, які залежать від фізико-механічних властивостей ґрунту (типу ґрунту), визначені аналітичним способом у залежності від загальновідомих вихідних даних ґрунтів і наведені в літературі [6, 8, 10]; α_p – кут різання при якому енергоємність мінімальна ($\alpha_p = 25 \dots 35^\circ$) [9]; $k_{\text{бок}}$ – відношення глибини сколювання ґрунту до критичної глибини різання в момент утворення елемента стружки ($k_{\text{бок}} = 0,9 \dots 0,95$).

3. Кут нахилу бокових розширень прорізу до горизонту (при блокованому різанні) [9]

$$\gamma = \arccos \left[\frac{c \cdot \cos \varphi_0}{(1 - 0,74 \tan \varphi_0 - \frac{1,52 \cdot c}{q_{\text{кр}}}) q_{\text{сер}}} \right] - \varphi_0. \quad (2)$$

де c – коефіцієнт зчеплення, МПа; φ_0 – кут внутрішнього тертя ґрунту, град; $q_{\text{кр}}$, $q_{\text{сер}}$ – критичне та середнє значення тиску на ґрунторозробний орган, визначаються за [9], МПа.

4. Відстань між суміжними ґрунторозробними органами (різцями, скребками) (Рис.2):

Для схеми з блокованим різанням

$$a_p^{\text{бл}} = 2 \cdot h_{\text{кр}} \cdot k_{\text{бок}} \cdot \cot \gamma, \text{ м.} \quad (3)$$

5. Число ліній різання з умови: для схеми з блокованим різанням [11, 12]

$$B = i_l^{\text{бл}} b_{\text{бл}} + (i_l^{\text{бл}} - 1) a_p^{\text{бл}}, \text{ м.} \quad (4)$$

Звідки

$$i_l^{\text{бл}} = \frac{B + a_p^{\text{бл}}}{b_{\text{бл}} + a_p^{\text{бл}}}, \text{ шт.} \quad (5)$$

Число ліній різання необхідно заокруглити до найближчого цілого числа та уточнити відстань між різцями.

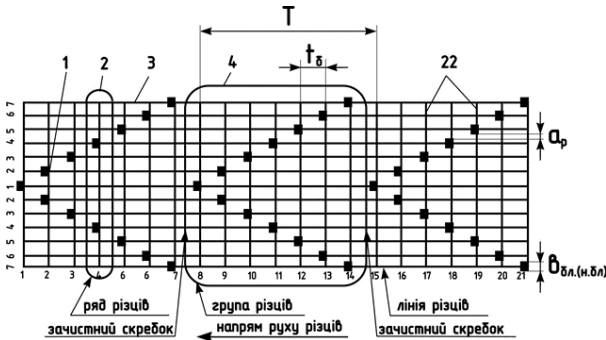


Рис. 2. Ступенева схема розстановки різців (блокована, напівблокована): 1 – різець; 2 – ряд різців; 3 – лінія різців; 4 – група різців; 1...21 – номери різців; 22 – скребки

Fig. 2. Step scheme of arrangement of cutters (blocked, semi-blocked): 1 – cutter; 2 – a number of incisors; 3 – line of incisors; 4 – group of incisors; 1... 21 – numbers of cutters; 22 – scrapers

6. Якщо в ряду встановлено по 2 різці, то кількість їх рядів (балок) дорівнює

$$Z_{\text{бл}} = 1 + \frac{i_l - 1}{2} = \frac{i_l + 1}{2}, \text{ шт.} \quad (6)$$

$Z_{\text{бл}}$ необхідно заокруглити до цілого числа.

7. Різання ґрунту на критичній глибині

можливе за умови

$$\frac{S}{T} = \frac{v_{\text{г}}}{v_p}, \quad (7)$$

де T – крок встановлення однойменних різців у сусідніх групах ґрунторозробних органів (див. Рис. 2), м.

Тому

$$T = S \cdot \frac{V_p}{V_e} = V_e \cdot t_p \cdot \frac{V_p}{V_e} = V_p \cdot t_p = \frac{H}{\sin \beta}, \text{ м.} \quad (8)$$

При такому кроці розстановки різців будуть діяти мінімальні динамічні навантаження на приводні ланцюги, оскільки різання буде здійснюватися постійним числом різців.

8. Крок встановлення різців

$$t_{\text{б}} = \frac{T}{Z_{\text{бл}}} = \frac{H}{Z_{\text{бл}} \sin \beta}, \text{ м.} \quad (9)$$

9. Кількість груп різців, що одночасно знаходяться в заборі

$$Z_{\text{гр}}^3 = \frac{l}{T} = \frac{H/\sin \beta}{H/\sin \beta} = 1, \text{ шт.} \quad (10)$$

10. Висота скребків (балок) з різцями h_c . Зруйнований двома різцями ґрунт (з урахуванням його розпушення) заповнює об'єм між двома суміжними транспортуючими скребками, що встановлені з кроком $t_{\text{б}}$ (див. Рис. 2). Тому

$$h_c \cdot \frac{BT}{Z_{\text{бл}}} \geq 2h \cdot (b_{\text{бл}} + h_{\text{кр}} \cdot k_{\text{бок}}^2 \cdot \cot \gamma) \cdot k_p \cdot \frac{H}{\sin \beta}. \quad (11)$$

У зв'язку з тим, що $T=H/\sin \beta$ для блокованого різання, якщо a_p визначається за залежністю (3)

$$h_c^{\text{бл}} \geq \frac{2h_{\text{кр}} \cdot Z_{\text{бл}}}{B} \cdot (b_{\text{бл}} + h_{\text{кр}} \cdot k_{\text{бок}}^2 \cdot \cot \gamma) \cdot k_p, \quad (12)$$

де k_p – коефіцієнт розпушення ґрунту ($k_p=1,08..1,32$) відповідно для ґрунтів I...IV категорій [11, 12].

Якщо на балках-скребка встановлено по одному різцю, то у чисельнику формули (12) відсутній множник «2».

Висота зачисних скребоків (без різців)

$$h_{zc} = h_c + h_{кр}, \text{ м.} \quad (13)$$

11. Швидкість різання φ_p залежить від кутової швидкості приводної зірочки ω та радіуса різання. Кутова швидкість ω обґрунтовується на основі визначення часу t_p та кута розвантаження φ_p в залежності від коефіцієнтів зовнішнього тертя ґрунту μ_1 та висоти скребка h_c при умові, що $\varphi_p = \omega t_p < \frac{\pi}{2}$ (Рис. 3) [7].

Умова розвантаження корегується кутовою швидкістю ω

$$(\omega_{max} = \frac{\pi}{2t_p} = \frac{3,14}{2 \cdot 0,2} = 7,85 \text{ рад/с}).$$

Швидкість різання дорівнює

$$V_p = \frac{t_{ланц}}{2 \sin(180^\circ/n_z)} \cdot \omega, \text{ м/с,} \quad (14)$$

де $t_{ланц}$ – крок ланцюга ($t_{ланц}=0,1 \dots 0,2$ м); n_z – число зубів приводної зірочки ($n_z=7 \dots 11$).

12. Технічна продуктивність робочого органа за виносною здатністю

$$P_{техн} = 3600 \cdot B \cdot h_c \cdot V_p \cdot \frac{k_n}{k_p} \Delta_p, \text{ м}^3/\text{год} \quad (15)$$

де k_n – коефіцієнт заповнення ґрунтом міжскребкових екскаваторних ємностей (для ґрунтів I...IV категорій відповідно 0,9...1,2 та 0,7...0,9) [11, 12]; Δ_p – коефіцієнт розтрушування ($\Delta_p = 0,97; 0,92; 0,85; 0,75$ відповідно для $V_p = 0,1; 1,0; 1,5; 2,0$) [10, 11].

13. Робоча швидкість екскаватора

$$V_e = \frac{P_{техн}}{3600BH}, \text{ м/с.} \quad (16)$$

14. Кут між векторами швидкостей робочого органу v_e та різання ґрунту v_p (див. Рис. 1) визначається за залежністю [11]

$$\beta = \arctan \left(\frac{V_p \sin \alpha}{V_p \cos \alpha + V_e} \right) \text{град,} \quad (17)$$

де α – кут установлення робочого органу до горизонту ($\alpha = 30 \dots 55^\circ$, переважно $\alpha = 45 \dots 55^\circ$), град [11, 12].

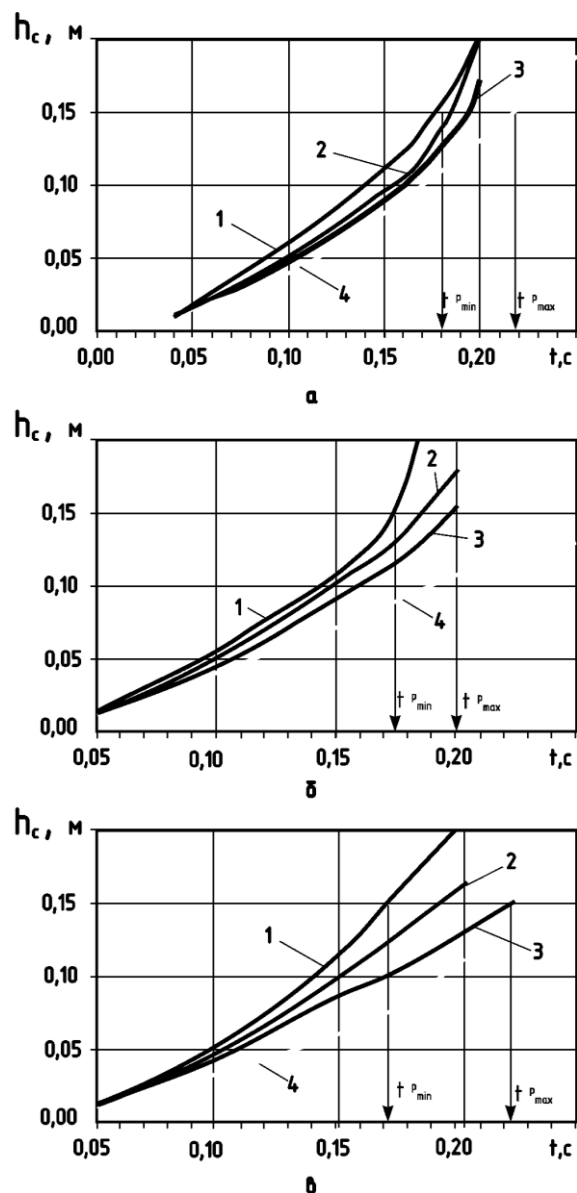


Рис. 3. Залежності зміни шляху переміщення ґрунту по поверхні розвантажувальних скребоків від часу розвантаження: а) – $\omega=5,0 \text{ c}^{-1}$; б) – $\omega=7,0 \text{ c}^{-1}$; в) – $\omega=9,0 \text{ c}^{-1}$; 1) – $\mu_1=0,2$; 2) – $\mu_1=0,3$; 3) – $\mu_1=0,4$; 4) – $\mu_1=0,6$

Fig. 3. Dependences of change of a way of movement of soil on a surface of unloading scrapers on time of unloading: а) – $\omega=5,0 \text{ c}^{-1}$; б) – $\omega=7,0 \text{ c}^{-1}$; в) – $\omega=9,0 \text{ c}^{-1}$; 1) – $\mu_1=0,2$; 2) – $\mu_1=0,3$; 3) – $\mu_1=0,4$; 4) – $\mu_1=0,6$

15. Час різання ґрунторозробними елементами (різцями, скребками)

$$t_p = \frac{H}{V_p \sin \beta}, \text{ с.} \quad (18)$$

16. Подача на кожний різець

$$S = V_e \cdot t_p = \frac{P_{\text{техн}}}{3600 B V_p \sin \beta}, \text{ м.} \quad (19)$$

17. Висота робочого органу над поверхнею H_0 визначається за умови, що довжина одного приводного ланцюга дорівнює трьом крокам між групами скребок

$$l_p = \frac{2(H + H_0)}{\sin \alpha} = 3T = \frac{3H}{\sin \beta}, \text{ м.} \quad (20)$$

Звідки, якщо прийняти $\alpha \approx \beta$

$$H_0 \approx \frac{H}{2}, \text{ м.} \quad (21)$$

18. Кількість груп різців для прийнятої умови $Z_{ep}=3$.

19. Число різців, що одночасно розробляють ґрунт в умовах блокованого різання якщо α_p визначається за залежністю (1.3)

$$n_{bl} = i_{bl}^{\beta_l}, \text{ шт.} \quad (22)$$

20. Кут зсуву ґрунту в поздовжній площині (у напрямку руху ґрунторозробних органів)

$$\psi = a_\psi + k_\psi \cdot \alpha_p, \text{ рад,} \quad (23)$$

де a_ψ, k_ψ – коефіцієнти інтерполяції для сталого режиму різання, які залежать від типу ґрунту [5, 6, 8]; α_p – кут різання різця, рад.

21. Довжина лемешів середніх різців, що здійснюють симетричне блоковане різання (без обмеження бокових розвалів)

$$l_L = \frac{l_c}{k_{бок}} = \frac{-B_* - \sqrt{B_*^2 - 4A_* \cdot C_*}}{2A_* \cdot k_{бок}}, \text{ м,}$$

де

$$\begin{cases} A_* = -\sin^2 \alpha_p (\cot \alpha_p + \cot \psi) c \\ B_* = 2 \sin \alpha_p (\cot \alpha_p + \cot \psi) c \cdot h_{kp} - \\ \quad - \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cdot \cos \varphi_0} \cdot b_p \cdot q_{cep} \\ C_* = \frac{c \cdot h_{kp}}{\sin \psi} (b_p + \arcsin \left(\frac{\tan \psi}{\tan \gamma} \right) h_{kp} \cot \psi \end{cases} \quad (24, \text{ а})$$

для асиметричного блокованого різання крайніми боковими різцями

$$\begin{cases} A_* = \sin^2 \alpha_p (\cot \alpha_p + \cot \psi) \cdot \\ \quad \cdot \left(\frac{\xi \cdot q_{cep} \tan \varphi_0}{2} - c \right) \\ B_* = 2 \sin \alpha_p (\cot \alpha_p + \cot \psi) c \cdot h_{kp} - \\ \quad - \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cdot \cos \varphi_0} \cdot b'_p \cdot q_{cep} \\ C_* = \frac{c \cdot h_{kp}}{\sin \psi} (b'_p + \arcsin \left(\frac{\tan \psi}{\tan \gamma} \right) \frac{h_{kp}}{2} \cot \psi \end{cases} \quad (24, \text{ б})$$

де ξ – коефіцієнт бокового тиску який визначається за формулою Покровського Г.І. [9]:

$$\xi = 1 - 0,74 \cdot \text{tg} \varphi_0 - \frac{1,52 \cdot c}{q_{kp}}. \quad (25)$$

22. Середній тиск на лемеші різців при блокованому різанні

$$q_{cep} = (0,75 \dots 0,8) \cdot q_{kp}, \text{ МПа,} \quad (26)$$

де q_{kp} – критичний тиск на ґрунт по його несучій здатності

$$q_{kp} = \left(\gamma_{ep} \cdot h + \frac{c}{\tan \varphi_0} \right) \tan^4 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right), \quad (27)$$

де γ_{ep} – питома сила тяжіння ґрунту, МН/м³.

23. Сила блокованого різання одним різцем

$$P_1 = q_{cep} l_L \cdot b_{\delta l(n.\delta l)} \sin \alpha_p (1 + f \cdot ctg \alpha_p), \quad (28)$$

24. Сумарна сила блокованого різання всіма різцями, якщо відстань між ними $a_p^{\delta l}$.

$$P_{\Sigma P} = i_l^{\delta l} P_1 - P_{\Sigma \epsilon} = i_l^{\delta l} q_{cep} l_L b_{\delta l} \sin \alpha_p (1 + f ctg \alpha_p) + P_{\Sigma \epsilon}, \quad (29)$$

де $P_{\Sigma \epsilon}$ – сумарна сила вільного різання ґрунту, який залишився незруйнованим у фронтальній площині між різцями у вигляді трикутників з основою a_p і висотою h_{kp} [9]

$$P_{\Sigma \epsilon} = [-(\sin \psi_\epsilon + tg \varphi_0 \cos \psi_\epsilon) \cdot \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi_\epsilon)}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} \cdot q_0 + c \cdot ctg \psi] \cdot h_{kp}^2 \cdot ctg \gamma \cdot (i_l^{\delta l} - 1), \quad (30)$$

де

$$\psi_\epsilon = 90^\circ - \frac{\alpha_p + \varphi + \varphi_0}{2}, \text{ град}, \quad (31)$$

q_0 – мінімальний нормальний тиск ґрунту на скребок при контакті з незруйнованими виступами трикутної форми, які залишилися між ножами

$$q_0 = c \cdot (A_1 - 1) ctg \varphi_0, \quad (32)$$

де A_1 – коефіцієнт, який залежить від кута різання та кута внутрішнього тертя ґрунту, чисельні значення якого приведені в [1].

25. Сила опору транспортування зрізаного ґрунту поверхнею забою [12]

$$P_{mp} = \frac{B h_{kp} H \gamma_{zp}}{k_p \sin \beta} (1 + tg \varphi_0 \cdot ctg \alpha) \sin \alpha, \quad (33)$$

де k_p – коефіцієнт розпушення ґрунту ($k_p = 1,08 \dots 1,32$ відповідно для ґрунтів I...IV категорії [11, 12]).

26. Сила натягу ланцюга, що необхідна для підйому ґрунту із забою дорівнює силі тяжіння цього ґрунту

$$P_{nid} = B \cdot h_c \cdot \gamma_{zp} \left(\frac{H}{2} + H_0 \right) \frac{k_H}{k_p \cdot \sin \alpha}, \quad (34)$$

де h_c – висота скребка визначена відповідно до залежності (4); k_H – коефіцієнт заповнення міжскребкового простору (для ґрунтів I...IV категорій відповідно 0,9...1,2 та 0,7...0,9 [11, 12]).

27. Сумарне зусилля в ланцюгу

$$P_\Sigma = P_{\Sigma P} + P_{TP} + P_{nid}, \text{ МН}. \quad (35)$$

28. Енергоємність руйнування одного погонного метру траншеї

$$E = \frac{P_\Sigma \cdot 1,0}{BH \cdot 1,0}, \text{ МДж/м}^3. \quad (36)$$

29. Необхідний крутний момент для приводного валу

$$M_{kp} = 10^6 \cdot P_\Sigma \cdot R_{zip}, \text{ Нм}, \quad (37)$$

де R_{zip} – радіус приводної зірочки

$$R_{zip} = \frac{t_{ланц}}{2 \sin(180^\circ / n_z)}, \text{ м}. \quad (38)$$

30. Необхідна потужність двигуна для приводу ланцюгово-скребкового робочого органу

$$N_{\delta \epsilon} = \frac{10^3 \cdot P_\Sigma \cdot v_p}{\eta_{np} \cdot \eta_{ланц}}, \text{ кВт}, \quad (39)$$

де η_{np} , $\eta_{ланц}$ – ККД привода та ланцюга ($\eta_{np} = 0,7 \dots 0,75$; $\eta_{ланц} = 0,45 \dots 0,50$) [11].

Загальна потужність привода екскаватора визначається за відомою формулою:

$$N = N_{p.o} + N_{nep} + N_{\delta \delta \delta}, \text{ кВт}, \quad (40)$$

де $N_{p.o}$ – потужність на привод ланцюгового скребкового робочого органу; N_{nep} – потужність на привод механізму переміщення;

$N_{\text{дод}}$ – потужність на привод додаткових механізмів.

За загальною потужністю підбирають базову машину та перевіряють її по зчепленню рушія з ґрунтом.

ВИСНОВКИ

Розроблена методика дозволяє створити енергоефективні робочі органи та визначити їх критичноглибинні режими роботи, що дають можливість підвищити продуктивність і зменшити енергоємність багатоскребоквих ланцюгових траншейних екскаваторів.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Алексеева Т. В.** Дорожные машины. Ч.1. Машины для земляных работ / В.А. Алексеева, К.А. Артемьев, А.А. Бромберг и др. – М.: Машиностроение, 1972. – 504 с.
2. **Ветров Ю. А.** Резание ґрунтов землеройными машинами. – М.: Машиностроение, 1971. – 360 с.
3. **Смірнов В. М., Головань В. П., Вольтерс О. Ю.** Дослідження та підвищення ефективності робочих органів ланцюгових траншеєкопачів. Техніка будівництва, 2002, – № 12. – С. 48-52.
4. **Зеленин А. Н.** Машины для земляных работ / А.Н. Зеленин, В.И. Баловнев, И.П. Керов – М.: Машиностроение, 1975. – 424 с.
5. **Кравець С. В.** Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини (Основи теорії, проектування та створення). – Рівне: РДТУ, 1999. – 277 с.
6. **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.
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.** Теорія руйнування робочих середовищ. Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2008. – 124 с.
9. Критичноглибинні двоярусні ґрунторозпушувачі / **С.В. Кравець, М. П. Скоблюк, О. В. Стіньо, Р. В. Зоря.** Монографія. Рівне: НУВГП, 2018. – 322 с.

10. Машины для земляных работ: підручник / **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.
11. **Мусійко В. Д.** Екскаватори поздовжнього копання: навч. посіб. Київ: НТУ, Віполь, 2008. - 240 с.
12. **Мусійко В. Д.** Теорія та створення інноваційних землерійних машин безперервної дії. Монографія / В. Д. Мусійко – К.: НТУ, СПД Чалнеська Н. В., 2016. – 208 с.

REFERENCES

1. **Alekseeva T. V., Bromberg A. A.** et al. (1972). Road cars. Part 1. Machines for earthworks, Moscow, Mechanical Engineering, 504.
2. **Vetrov Yu. A.** (1971). Cutting soils with earthmoving machines. Moscow, Mashinostroenie, 360.
3. **Smirnov V. M., Golovan V. P., Volters O. Y.** (2002). Research and increase the efficiency of the working bodies of chain trenchers. Construction Engineering, Nr. 12, 48-52.
4. **Zelenin A. N., Balovnev V.I., Kerov I.P.** (1975). Machines for earthworks, Moscow, Mashinostroenie, 424.
5. **Kravets S. V.** (1999). Soil protection and energy saving machines (Fundamentals of theory, design and creation), Rivne, RDTU, 277.
6. **Kravets S. V., Kovanko V. V., Lukyanchuk O. P.** (2015). Scientific bases of creation of earthmoving machines and underground mobile devices. Monograph, Rivne, NUVGP, 322.
7. **Musiyko V. D., Kravets S. V., Pukhtaevich O. I.** (2018). Determination of rational modes of operation of the soil unloading intensifier from the working body of continuous earthmoving machines. Bulletin of the National Transport University. Nr. 1(40). 241–251.
8. **Kravets S. V.** (2008). Theory of destruction of working environments. Tutorial, Rivne, NUVGP, 124.
9. **Kravets S. V., Skoblyuk M. P., Stin'о O. V., Zorya R. V.** (2018). Critically deep two-tier soil looseners. Monograph, Rivne, NUVGP, 322.
10. **Khmara L. A., Kravets S. V.,** etc. (2014). Machines for earthworks: a textbook for general ed. Ph.D., Kharkiv, KhNADU, 548.
11. **Musiyko V. D.** (2008). Longitudinal digging excavators: textbook. way. Kyiv, NTU, Vipol. 240.
12. **Musiyko V. D.** (2016). Theory and creation of innovative earthmoving machines of continuous

action. Monograph. Kyiv, NTU, SPD Chaleska N.V., 208.

Method of calculating the parameters of the scraper working equipment of the trench excavator based on critical deep blocked soil cutting

*Sviatoslav Kravets*¹, *Oleksandr Lukyanchuk*²,
*Vladimir Suponyev*³, *Olexey Gaponov*⁴

^{1,2}*National University of Water and Environmental Engineering,*

^{3,4}*Kharkiv National Automobile and Highway University*

Abstract. The article presents a method of calculating the parameters of the scraper working equipment of a trench excavator that performs critical depth cutting: critical depth for its cutters, number of cutting lines, pitch of cutters, height of scrapers, cutting speed, working speed, length of plowshares of cutters, necessary effort of cutting of soil, power to drive the working equipment and

movement, power selection of the base machine. **Methodology/approach.** To solve these problems, analytical methods were used to study the parameters of multi-scraper excavators that perform critical depth cutting of soils. **Findings.** The developed technique allows to create energy-efficient working equipment and to determine its critical-depth modes of operation, which make it possible to increase productivity and reduce the energy consumption of multi-scraper chain trench excavators that carry out blocked cutting of soils. **Research limitations/implication.** The initial data for the calculation are: the width of the cutters, their cutting angle, the maximum depth of the trench, the width of the trench, the physical and mechanical characteristics of the soil. **Originality/value.** Managed to achieve the prerequisites for reducing the energy intensity of soil development scraper chain excavators based on critical depth cutting of soils.

Keywords: trench excavator, working equipment, scraper parameters, critical depth.