

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ РІЗАЛЬНО-МЕТАЛЬНОГО РОБОЧОГО ОРГАНА ЗЕМЛЕРИЙНО-ТРАНСПОРТНОЇ МАШИНИ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

У статті наведена методика розрахунку геометричних, кінематичних, силових та енергетичних параметрів різально-метального робочого органу землерийно-транспортної машини безперервної дії. Надані розрахункові схеми різально-метального робочого органу, які враховують типи базової машини та спосіб навішування робочого органу. Згідно наведеної методики обчислені головні параметри різально-метального робочого органу при застосуванні на гусеничній і пневмоколісній базових машинах.

Ключові слова: *методика розрахунку, різально-метальний робочий орган, різання ґрунту, землерийно-транспортна машина безперервної дії.*

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Більшість автомобільних доріг в Україні пролягають через обласні центри, що ускладнює рух транзитного транспорту, руйнує дорожнє покриття, збільшує витрати на перевезення вантажу тощо. Тому в Україні навколо таких міст, як Дніпропетровськ, Донецьк, Івано-Франківськ, Мелітополь, Сімферополь почали будувати об'їзні шляхи. Компанії, задіяні в цих роботах, потребують такої техніки, як фрези, асфальтоукладальники, котки, грейдери тощо [1, 2].

Аналіз останніх публікацій, у яких започатковане розв'язання цієї проблеми і на які спирається автор, виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. На основі аналізу змісту науково-технічних робіт, патентів та авторських свідоцтв різних країн, у котрих досліджувалися конструкції робочого обладнання землерийно-транспортних машин безперервної дії (ЗТМБД) з активними робочими органами, були запропоновані конструкції різально-метальних робочих органів, які дозволяють одночасно різати та транспортувати ґрунт за межі робочого органу без додаткових енергетичних витрат на його переміщення [3, 4].

Для застосування різально-метальних робочих органів на землерийно-транспортних машинах безперервної дії необхідно створити методику розрахунку геометричних, кінематичних, силових і енергетичних

параметрів таких робочих органів з урахуванням технічної характеристики базової машини та ґрунтових умов.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Створити методику розрахунку різально-метального робочого органа для землерийно-транспортних машин безперервної дії.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Варіанти розрахункових схем різально-метального робочого органа (рис. 1) враховують типи базової машини та спосіб навішування робочого органа. Як вихідні дані до розрахунку різально-метального робочого органа приймаємо технічну характеристику базової машини і фізико-механічні властивості ґрунту.

Вихідні параметри базової машини: тяговий клас T_m ; потужність двигуна N_e ; швидкість пересування під час копання, переважно I – II передача, V_m ; колія K ; ширина гусениці або пневматичного колеса b_{xo} ; маса базової машини m .

Фізико-механічні властивості ґрунту такі: категорія ґрунту; щільність ґрунту в природному стані γ ; щільність ґрунту в розпушеному стані γ_p ; зчеплення ґрунту C_w ; кут внутрішнього тертя ρ ; кут зовнішнього тертя δ ; коефіцієнт розпушення K_p .

Методика розрахунку різально-метального робочого органа складається з таких пунктів:

1. Ширина робочого органа (рис. 2)

$$B = K + b_{xo} + 2\Delta, \quad (1)$$

де Δ – бічний габарит, $\Delta = 100 - 150$ мм.

2. Кількість витків робочої поверхні $z = 2$.

3. Крок робочої поверхні $T = \frac{B}{2}$. (2)

4. Визначення діаметра робочого органа.

Згідно з графічними залежностями енергоємності процесу різання ґрунту від співвідношення діаметра D до кроку T різально-метального робочого органа мінімальна енергоємність спостерігається при відношенні $D/T = 0,6 - 0,75$ [5], із цієї умови діаметр робочого органа

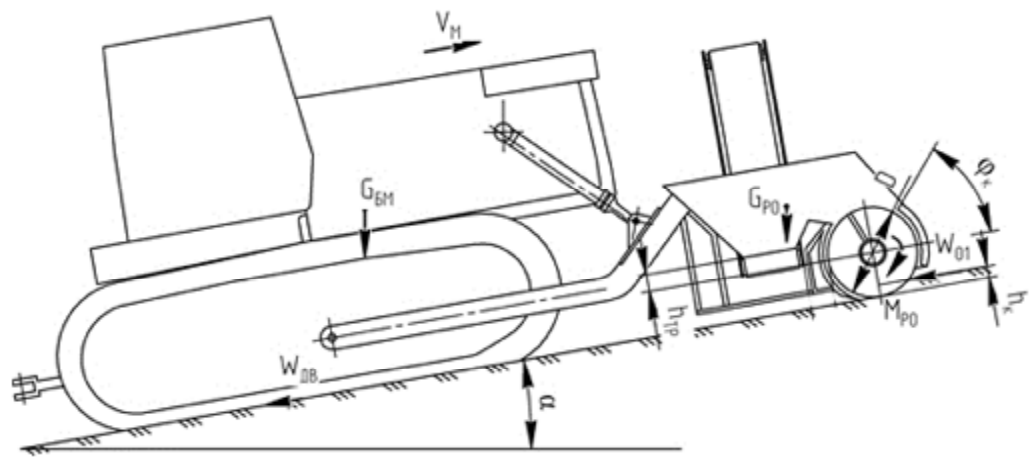
$$D = (0,6 \div 0,75)T. \quad (3)$$

5. Кут встановлення кожуха приймається в таких межах: $\phi_k = 45 - 60^\circ$.

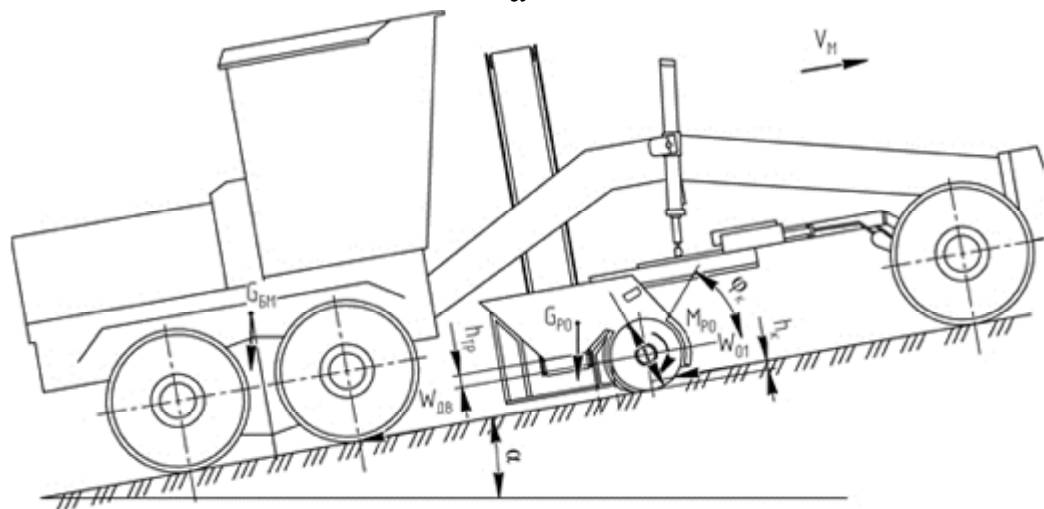
6. Довжина транспортувальної поверхні дорівнює:

$$L_{тр} = (0,24-0,26)D. \quad (4)$$

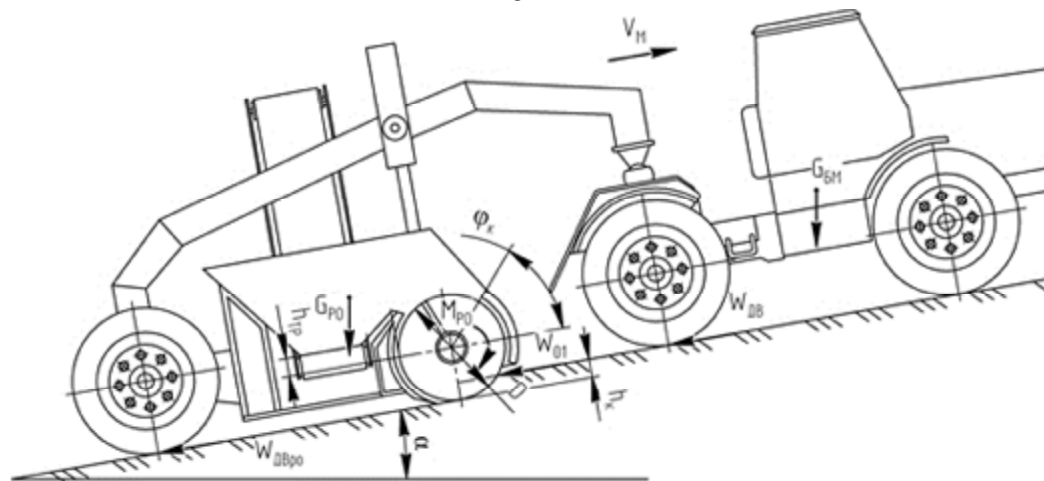
7. Кут нахилу транспортувальної поверхні $\alpha_{тр}$ повинен перевищувати кут зовнішнього тертя ґрунту δ . З умови мінімального опору різання ґрунту кут $\alpha_{тр} = 30 - 40^\circ$.



а



б



в

Рис. 1. Варіанти розрахункових схем: а – на базі гусеничного трактора; б – на базі автогрейдера; в – на базі колісного тягача

8. Діаметр внутрішнього вала різально-метального робочого органа
$$d=(0,24-0,26)D. \quad (5)$$

9. Визначення частоти обертання робочого органа.

Рекомендовано приймати частоту обертання робочого органа n , яка відповідає мінімальній енергоємності згідно з графічними залежностями (рис. 3). Наведені графічні залежності отримані за результатами аналізу теоретичних досліджень робочого процесу різально-метального робочого органа [5].

10. Максимальна глибина копання ґрунту

$$h_{kmax} = \left[2R^2 + 3L_{тр} \sin \alpha_{тр} \left(R - \frac{1}{3} L_{тр} \sin \alpha_{тр} \right) - r^2 - Rr \right] \left[\frac{L_{тр} \cos \alpha_{тр}}{6V_M T K_p \cos \alpha_0} \right] \omega_0, \quad (6)$$

де R – радіус робочого органа; r – радіус вала робочого органа; α_0 – кут підйому гвинтової лінії, що проходить по зовнішньому краю транспортувальної поверхні, $\alpha_0 = \arctg \left(\frac{T}{2\pi D} \right)$; ω_0 – кутова швидкість обертання робочого органа.

З урахуванням нерівності поверхні копання розрахункова глибина копання $h_k = (0,8 - 0,9)h_{kmax}$. Остаточне значення глибини копання встановлюється після перевірки тягового балансу та балансу потужності машини.

11. Розрахункова продуктивність зовнішнього транспортувального пристрою

$$P_{зтр} = V h_k V_M K_p (1 - K_H), \quad (7)$$

де K_H – коефіцієнт урахування об'єму незрізаного ґрунту, $K_H = 0,0017$.

12. Кут копання ґрунту

$$\beta_k = \arccos \frac{R-h_k}{R}. \quad (8)$$

13. Висота встановлення зовнішнього транспортувального пристрою

$$h_{тр} = (0,25 - 0,5)R. \quad (9)$$

14. Ширина різання ґрунту в напрямку переміщення гвинтової різальної кромки ножа транспортувальної поверхні робочого органа [5]

$$b_c = (R\beta_k + V_M t_{об}) / \cos \alpha_0. \quad (10)$$

15. Середня товщина ґрунту, що зрізується у напрямі різальної кромки ножа гвинтової поверхні робочого органа,

$$h_{ср} = \frac{V_M t_{об} h_k}{R\beta_k + V_M t_{об}}, \quad (11)$$

де $t_{об}$ – час одного оберту робочого органа.

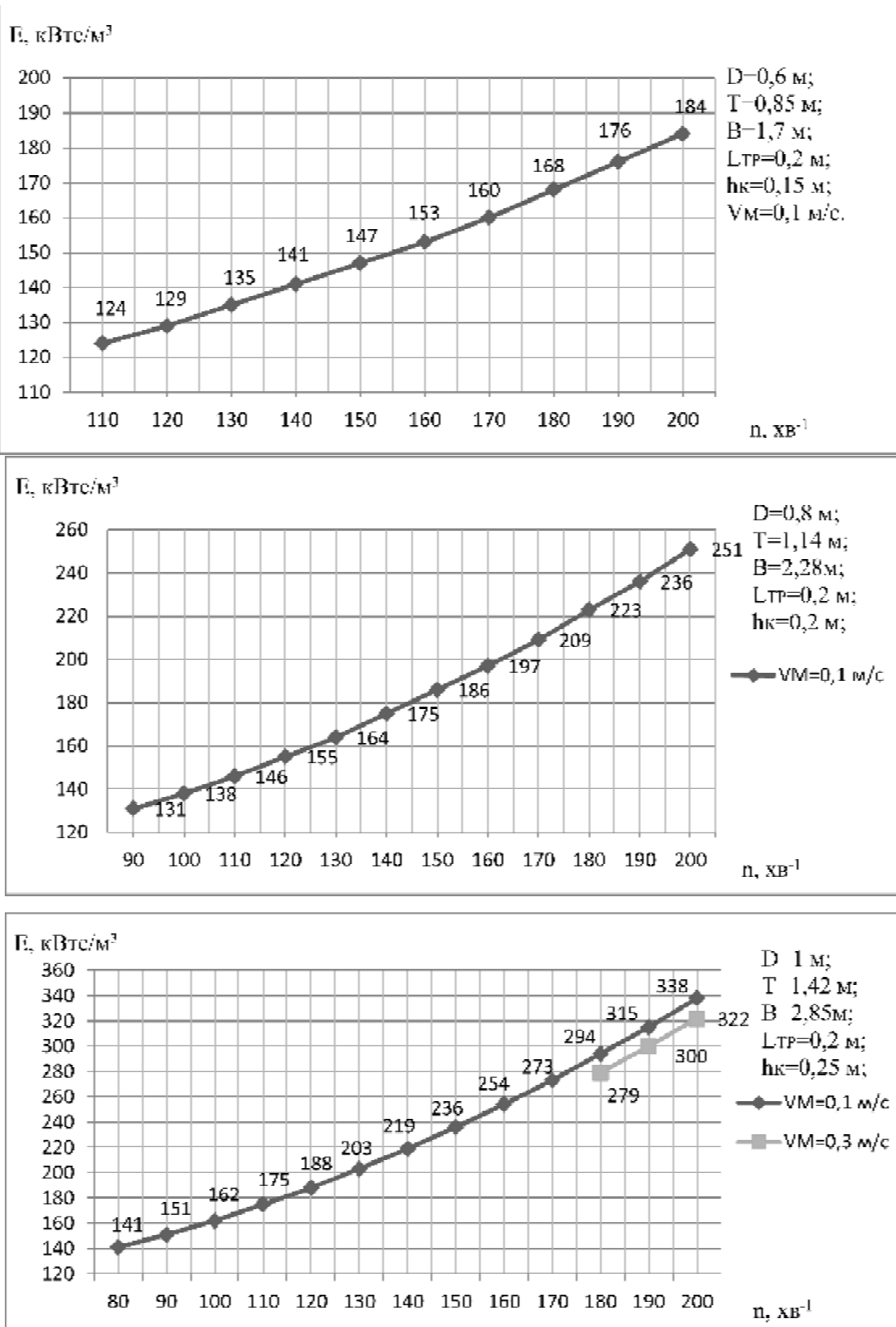


Рис. 3. Графіки залежності енергоємності E від частоти обертання робочого органа n : категорія ґрунту – II; $\gamma = 2 \text{ т/м}^3$; $\gamma_r = 1,8 \text{ т/м}^3$; $C_w = 0,03 \text{ МПа}$; $\rho = 26^\circ$; $\delta = 21^\circ$; $K_r = 1,2$; $\varphi_k = 45^\circ$

16. Повний момент опору на привідному валу робочого органа під час копання

$$M = z \cdot U \cdot (R - 0,5h_{cp}) \left[\sin\alpha_0 (1 + \operatorname{ctg}\alpha_p \operatorname{tg}\delta) + \operatorname{tg}\delta \frac{\cos\alpha_0}{\sin\alpha_p} \right], \quad (12)$$

$$\text{де } U = h_{cp} b_c \left(\frac{\gamma h_{cp}}{2} + c \cdot \operatorname{ctg}\rho \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) \right);$$

$$A_1 = \frac{\cos\delta}{1 - \sin\rho} \left(\cos\delta + \sqrt{\sin^2\rho - \sin^2\delta} \right) \exp \left(2\alpha_p - \pi + \delta + \operatorname{arcsin} \frac{\sin\delta}{\sin\rho} \right) \operatorname{tg}\rho.$$

17. Загальна горизонтальна складова опору різання ґрунту різально-метальним робочим органом

$$W_{01} = z \cdot U \left[\begin{array}{l} \cos \left(\frac{2}{3} \beta_k \right) (1 + \operatorname{ctg}\alpha_p \operatorname{tg}\delta) \sin\alpha_0 + \frac{\operatorname{tg}\delta \cdot \cos\alpha_0 \cdot \cos \left(\frac{2}{3} \beta_k \right)}{\sin\alpha_p} - \\ - \operatorname{ctg}\alpha_p \sin \left(\frac{2}{3} \beta_k \right) (1 - \operatorname{tg}\alpha_p \operatorname{tg}\delta) \operatorname{ctg}\alpha_p \end{array} \right]. \quad (13)$$

18. Енергоємність різання ґрунту від обертання робочого органа

$$E_p = \frac{2\pi M}{z h_k T t_{об} V_M (1 - K_H)}. \quad (14)$$

19. Технічна продуктивність робочого органа при різанні ґрунту

$$\Pi_p = B h_k V_M (1 - K_H). \quad (15)$$

20. Потужність на різання ґрунту

$$N_p = \frac{\Pi_p E_p}{1000}. \quad (16)$$

21. Технічна продуктивність робочого органа під час транспортування розпушеного ґрунту

$$\Pi_{тр} = \frac{B h_k V_M K_p (1 - K_H)}{K_T}, \quad (17)$$

де K_T – коефіцієнт транспортування ґрунту, що враховує втрати ґрунту при метанні, $K_T = 0,75 - 0,95$.

22. Потужність на розгін ґрунту

$$N_{розг} = \Pi_{тр} \gamma_p \frac{\omega_0^2 R_c^2}{2000}, \quad (18)$$

де R_c^2 – радіальна координата ваги ґрунту на робочому органі, $R_c^2 \approx 0,76R$.

23. Потужність на підйом ґрунту

$$N_{п} = \frac{\Pi_{тр} \gamma_p (R - h_k + R_c \sin\varphi_k)}{1000}. \quad (19)$$

24. Загальна маса ґрунту, що підлягає транспортуванню,

$$m_{зтр} = h_k S B \gamma_p / K_H . \quad (20)$$

25. Маса ґрунту, яка контактує з кожухом під час транспортування,

$$m_{гр} = (0,55 \dots 0,65) m_{зтр} . \quad (21)$$

26. Потужність на додання сил тертя ґрунту по кожуху

$$N_{тр} = \frac{m_{гр} \omega_0^3 (R - 0,5 h_{гр})^2 \operatorname{tg} \delta}{1000} . \quad (22)$$

27. Загальна потужність на привід різально-метального робочого органа

$$N_{пр} = \frac{N_p + N_{п} + N_{розг} + N_{тр}}{\eta_{пр}} , \quad (23)$$

де $\eta_{пр}$ – ККД привода, $\eta_{пр} \approx 0,8$.

28. Потужність на пересування базової машини з робочим обладнанням

$$N_{бм} = \left((W_{п} + W_{01} + W_{ух}) V_M \right) / 1000 \eta_{тр} , \quad (24)$$

де $\eta_{тр}$ – ККД трансмісії, $\eta_{тр} \approx 0,8$; $W_{п}$ – опір пересуванню базової машини,

$$W_{п} = (G_{бм} + G_{ро}) w , \quad (25)$$

де $G_{бм}$ – експлуатаційна вага базової машини, $G_{бм} = (1,2 \dots 1,25) G_H$; G_H – номінальна експлуатаційна вага базової машини; $G_{ро}$ – вага робочого органа; w – коефіцієнт опору кочення, для пневмоколісних машин $w = 0,1 - 0,2$; для гусеничних $w = 0,08$; $W_{ух}$ – опір подоланню ухилу базовою машиною,

$$W_{ух} = (G_{бм} + G_{ро}) * \sin \alpha , \quad (26)$$

де α – кут нахилу денної поверхні, $\alpha = 10 - 15^\circ$.

29. Перевірка балансу потужності

$$N_e > N_{пр} + N_{зт} + N_{бм} . \quad (27)$$

30. Перевірка тягового балансу базової машини

$$T_{бм} > W_{п} + W_{01} + W_{ух} . \quad (28)$$

Згідно з наведеною методикою обчислені головні параметри (табл. 1) різально-метального робочого органа при його застосуванні на гусеничній і пневмоколісній базових машинах.

Таблиця 1. Параметри різально-метального робочого органа до базових машин

№ з/п	Параметр	Од. вим.	Базова машина		
			Гусенична (трактор Т10М) 100 кН	Пневмоколісна (автогрейдер ДЗ-298) 90 кН	Пневмоколісна (автогрейдер ЧСДМ А120.1) 60 кН
1	2	3	4	5	6
1	Базова машина:				
	- потужність двигуна	кВт	132	173	132
	- швидкість пересування на I передачі	м/с	0,3	0,3	0,4
	- колія	м	1,9	2,5	2
	- ширина гусениці/колеса	м	0,5	0,5	0,5
	- маса базової машини	кг	14855	24000	15750
2	Ґрунт:				
	- категорія		II	II	II
	- щільність ґрунту в природному стані	кг/м ³	2000	2000	2000
	- щільність ґрунту в розпушеному стані	кг/м ³	1800	1800	1800
	- зчеплення ґрунту	МПа	0,03	0,03	0,03
	- кут внутрішнього тертя	град	26	26	26
	- кут зовнішнього тертя	град	21	21	21
	- коефіцієнт розпушення		1,2	1,2	1,2
3	Різально-метальний робочий орган:				
	- маса робочого обладнання	кг	3564	3564	3564
	- кількість витків робочого органа	шт.	2	2	2
	- кут установаження кожуха	град	45	45	45
	- кут нахилу транспортувальної поверхні	град	35	35	35
4	Геометричні параметри робочого органа:				
	- кут різання ґрунту	град	35	35	35
	- ширина робочого органа	м	2,6	3,2	2,7
	- крок робочої поверхні	м	1,3	1,6	1,35
	- діаметр робочого органа	м	0,85	1	0,87

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
	- довжина транспортувальної поверхні	м	0,21	0,26	0,21
	- діаметр вала	м	0,21	0,25	0,21
5	Кінематичні параметри робочого органа: - частота обертання робочого органа	хв. ⁻¹	150	180	180
6	Силкові параметри робочого органа: - крутний момент на привідному валу - потужність на різання - потужність на розгін ґрунту - потужність на підйом ґрунту - потужність на подолання сил тертя ґрунту по кожуху - загальна потужність на привід різально-метального робочого органа	Нм кВт кВт кВт кВт кВт	697 10,96 3,27 1,25 6,73 27,8	1308 24,65 16,46 3,03 29,78 92	781 14,73 6,99 1,78 14,64 47,7
7	Витрати потужності на пересування базової машини з робочим обладнанням	кВт	27,36	50	46,21
8	Загальні витрати потужності	кВт	61,6	156	102,6

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі. На підставі методики інженерного розрахунку визначені такі раціональні параметри різально-метального робочого органа для промислових тракторів тягового класу 100 – 250 кН: $D = 0,8 - 1,05$ м; $B = 2,6 - 3,2$ м; $L_{тр} = 0,2 - 0,26$ м ; $n = 110 - 150$ хв⁻¹.

Література

1. Штена В.П. Оснащення землерійно-транспортних машин безперервної дії різально-метальним робочим органом з ціллю підвищення їх ефективності / В. П. Штена, О. І. Голубченко, М. Е. Хожило // Сб. науч. тр. «Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин». Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. Вып. 72. – Д.: ВГУЗ «ПГАСА», 2013. – С. 146 – 159.
2. Автомобільні дороги: будівництво, ремонт, машини і механізми для виконання робіт: навч. посіб. Ч.1 / Л.А. Хмара, О.С. Шипілов, В.Д. Мусійко, М.П. Кузьмінець. – К.; Д.: НТУ, 2011. – 416 с.
3. Голубченко О. І. Огляд та пропозиції конструкцій активного робочого обладнання землерійно-транспортних машин безперервної дії / О.І. Голубченко, М.Е. Хожило // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПГАСА, 2011. – №6 – 7. – С. 48– 55.
4. Голубченко О.І. Конструкції та застосування різально-метальних робочих органів для інтенсифікації робочих процесів землерійно-транспортних машин / О.І. Голубченко // Сб. науч. тр. «Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин.» Серия: Подъемно - транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. – Вып. 66. – Д.: ГВУЗ «ПГАСА», 2012. – С. 296 – 302.

5. Голубченко О.І. Теоретичне визначення силових та енергетичних параметрів різання ґрунту гвинтовим робочим органом / О.І. Голубченко, М.Е. Хожило // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПГАСА, 2011. – №11 – 12. – С. 58 – 66.

Надійшла до редакції 20.11.2014

© О.І. Голубченко, М. Е. Хожило

УДК 621.879.328

*А.И. Голубченко, к.т.н., доц.
М. Э. Хожило, к.т.н., доц.*

ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЖУЩЕ-МЕТАТЕЛЬНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

В статье приведена методика расчета геометрических, кинематических, силовых и энергетических параметров режуще-метательного рабочего органа землеройно-транспортной машины непрерывного действия. Предоставлены расчетные схемы режуще-метательного рабочего органа, которые учитывают типы базовой машины и способ навешивания рабочего органа. Согласно приведенной методики определены главные параметры режуще-метательного рабочего органа при установке его на гусеничной и пневмоколевой базовой машине.

Ключевые слова: *методика расчета, режуще-метательный рабочий орган, резание ґрунта, землеройно-транспортная машина непрерывного действия.*

UDC 621.879.328

*O.I. Golubchenko, Ph. D., Associate Professor
M. E. Khozhilo, Ph. D., Associate Professor
PHEI «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture»*

METHOD OF CALCULATING THE CUTTING- PROJECTILE WORKING BODY EARTHMOVING MACHINERY CONTINUOUS ACTION.

The paper presents the methodology for calculating geometric, kinematic, power and energy parameters of the cutting- projectile working body earthmoving machinery continuous action. Settlement schemes provided cutting-throwing working body, which take into account the types of the base machine and the method of hanging working organ. According to the above method defines the main parameters of the cutting-throwing working body when you install it on a caterpillar and pneumatic-base machine.

Keywords: *method of calculation, cutting-projectile working body, coat cutting, earthmoving machinery continuous action.*