

УДК 621.879.328

Хожило М. Е.

## АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РІЗАЛЬНО-МЕТАЛЬНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНО-ДОРОЖНІХ МАШИН

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 у таких міст як: Дніпропетровськ, Донецьк, Івано-Франківськ, Мелітополь, Сімферополь, почали будувати об'їзні шляхи. Компанії, які задіяні в цих роботах, потребують такої техніки, як фрези, асфальтоукладальники, котки, грейдери тощо [1, 2].

На основі аналізу змісту науково-технічних робіт, патентів та авторських свідоцтв різних країн, в яких 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 органа без додаткових енергетичних витрат на переміщення ґрунту [3–8].

Для застосування різально-метальних робочих органів на землерийно-транспортних машинах безперервної дії необхідно створити методику розрахунку геометричних, кінематичних, силових та енергетичних параметрів таких робочих органів, з урахуванням технічної характеристики базової машини та ґрунтових умов.

Мета роботи – створити методику розрахунку різально-метального робочого органа для землерийно-транспортних машин безперервної дії.

Варіанти розрахункових схем різально-метального робочого органа (рис. 1) враховують типи базової машини та спосіб навішування робочого органа. В якості вихідних даних 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  $v_{xo}$ ; маса базової машини  $m$ .

Фізико-механічні властивості ґрунту наступні: категорія ґрунту; щільність ґрунту у природному стані  $\gamma$ ; щільність ґрунту у розпушеному стані  $\gamma_p$ ; зчеплення ґрунту  $C_w$ ; кут внутрішнього тертя  $\rho$ ; кут зовнішнього тертя  $\delta$ ; коефіцієнт розпушення  $K_p$ .

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

1. Ширина робочого органа (рис. 2):

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

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

2. Кількість витків робочої поверхні  $z = 2$ .
3. Крок робочої поверхні:

$$T = \frac{B}{2}. \quad (2)$$

4. Визначення діаметра робочого органа.

Згідно графічних залежностей 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], з цієї умови діаметр робочого органа:

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

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

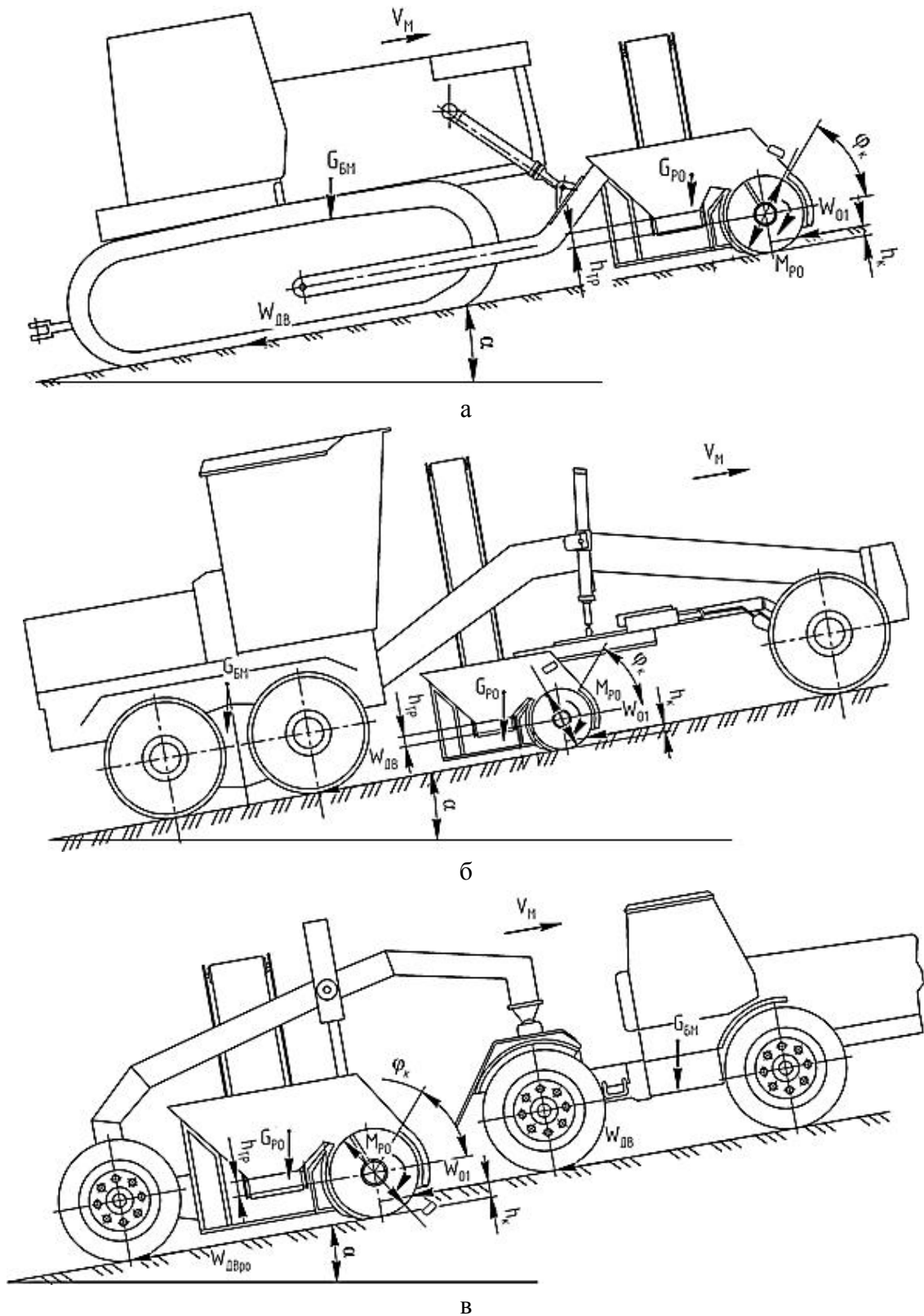


Рис. 1. Варіанти розрахункових схем:  
 а – на базі гусеничного трактора; б – на базі автогрейдера; в – на базі колісного тягача

Вид А

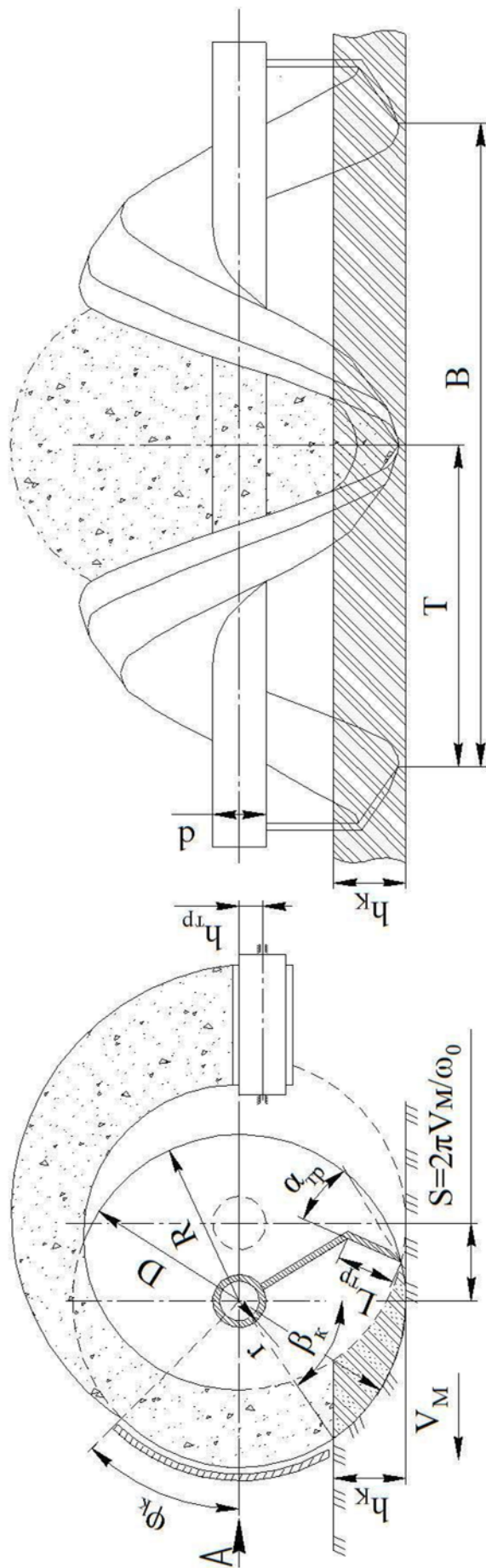


Рис. 2. Різально-металний робочий орган:

$h_k$  – глибина копання;  $\varphi_k$  – кут встановлення захисного кожуха;  $V_M$  – швидкість пересування базової машини;  $d, r$  – діаметр та радіус привідного вала відповідно;  $D, R$  – діаметр та радіус транспортувального органа;  $L_{tr}$  – довжина транспортувальної поверхні;  $S$  – подача;  $h_{tr}$  – висота встановлення зовнішнього транспортувального пристрою;  $T$  – крок гвинтової поверхні;  $B$  – ширина робочого органа

6. Довжина транспортувальної поверхні дорівнює:

$$L_{\text{тр}} = (0,24 - 0,26)D. \quad (4)$$

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

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 графічних залежностей (рис. 3). Наведені графічні залежності отримані за результатами аналізу теоретичних досліджень робочого процесу різально-метального робочого органа [5].

10. Максимальна глибина копання ґрунту:

$$h_{k \max} = \left[ 2R^2 + 3L_{\text{тр}} \sin \alpha_{\text{тр}} \left( R - \frac{1}{3} L_{\text{тр}} \sin \alpha_{\text{тр}} \right) - r^2 - Rr \right] \left[ \frac{L_{\text{тр}} \cos \alpha_{\text{тр}}}{6V_{\text{м}}TK_p \cos \alpha_0} \right] \omega_0, \quad (6)$$

де  $R$  – радіус робочого органа;  $r$  – радіус вала робочого органа;  $\alpha_0$  – кут підйому гвинтової лінії, що проходить по зовнішньому краю транспортувальної поверхні,  $\alpha_0 = \arctg\left(\frac{T}{2\pi D}\right)$ ;  $\omega_0$  – кутова швидкість обертання робочого органа.

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

11. Розрахункова продуктивність зовнішнього транспортуючого пристрою:

$$\Pi_{\text{зтр}} = Bh_k V_{\text{м}} K_p (1 - K_{\text{н}}), \quad (7)$$

де  $K_{\text{н}}$  – коефіцієнт врахування об'єму незрізаного ґрунту  $K_{\text{н}} = 0,0017$

12. Кут копання ґрунту:

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

13. Висота встановлення зовнішнього транспортувального пристрою:

$$h_{\text{тр}} = (0,25 - 0,5)R. \quad (9)$$

14. Ширина різання ґрунту у напрямі переміщення гвинтової різальної кромки ножа транспортувальної поверхні робочого органа [5]:

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

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

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

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

16. Повний момент опору на приводному валу робочого органу під час копання:

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

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

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

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

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

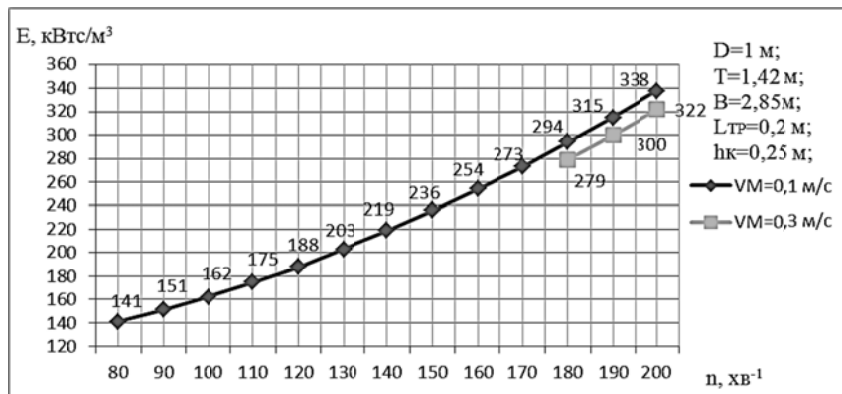
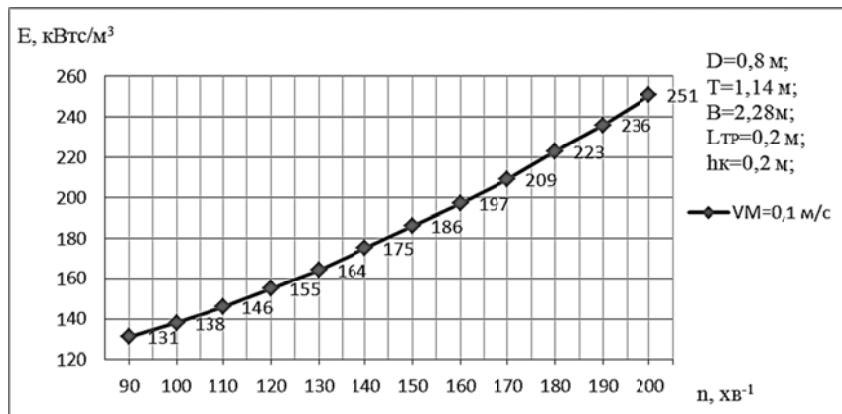
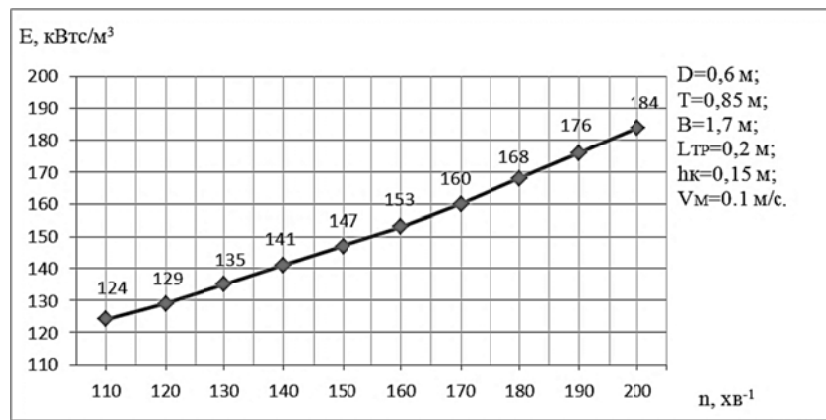


Рис. 3. Графіки залежності енергоємності  $E$  від частоти обертання робочого органа  $n$ : категорія ґрунту II;  $\gamma = 2 \text{ т/м}^3$ ;  $\gamma_p = 1,8 \text{ т/м}^3$ ;  $C_w = 0,03 \text{ МПа}$ ;  $\rho = 26^\circ$ ;  $\delta = 21^\circ$ ;  $K_p = 1,2$ ;  $\varphi_k = 45^\circ$ .

18. Енергоємність різання ґрунту від обертання робочого органа:

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

19. Технічна продуктивність робочого органа при різанні ґрунту:

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

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:

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

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

22. Потужність на розгін ґрунту:

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

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

23. Потужність на підйом ґрунту:

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

24. Загальна маса ґрунту підлягає транспортуванню:

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

25. Маса ґрунту, яка контактує із кожухом під час транспортування:

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

26. Потужність на додання сил тертя ґрунту по кожуху:

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

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 приводу,  $\eta_{пр} \approx 0,8$ .

28. Потужність на пересування базової машини з робочим обладнанням:

$$N_{бм} = ((W_{п} + W_{01} + W_{ух}) V_M) / 1000 \eta_{тр}, \quad (27)$$

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

$$W_{п} = (G_{бм} + G_{ро}) w, \quad (28)$$

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

$$W_{\text{ух}} = (G_{\text{бм}} + G_{\text{ро}}) \cdot \sin \alpha, \quad (29)$$

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

31. Перевірка балансу потужності:

$$N_e > N_{\text{пр}} + N_{\text{зт}} + N_{\text{бм}}. \quad (30)$$

32. Перевірка тягового балансу базової машини:

$$T_{\text{бм}} > W_{\text{п}} + W_{01} + W_{\text{ух}}. \quad (31)$$

Згідно наведеної методики обчислені головні параметри (табл. 1) різально-метального робочого органа при застосуванні на гусеничній і пневмоколісній базових машинах.

Таблиця 1  
Параметри різально-метального робочого органа до базових машин

№ п/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 - швидкість пересування на I передачі - колія - ширина гусениці/колеса - маса базової машини	кВт м/с м м кг	132 0,3 1,9 0,5 14 855	173 0,3 2,5 0,5 24 000	132 0,4 2 0,5 15 750
2	Ґрунт: - категорія - щільність ґрунту у природному стані - щільність ґрунту у розпушеному стані - зчеплення ґрунту	кг/м <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup> МПа	II 2 000 1 800 0,03	II 2 000 1 800 0,03	II 2 000 1 800 0,03
3	Різально-метальний робочий орган: - маса робочого обладнання - кількість витків робочого органа - кут встановлення кожуха - кут нахилу транспортуючої поверхні	кг шт. град град	3 564 2 45 35	3 564 2 45 35	3 564 2 45 35
4	Геометричні параметри робочого органа: - кут різання ґрунту - ширина робочого органа - крок робочої поверхні - діаметр робочого органа - довжина транспортуючої поверхні - діаметр вала	град м м м м м	35 2,6 1,3 0,85 0,21 0,21	35 3,2 1,6 1 0,26 0,25	35 2,7 1,35 0,87 0,21 0,21

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6
5	Кінематичні параметри робочого органа - частота обертання робочого органа	хв. <sup>-1</sup>	150	180	180
6	Силкові параметри робочого органа: - крутний момент на приводному 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	1 308 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

На підставі наведеної методики розрахунку визначені наступні раціональні параметри різально-метального робочого органа для промислових тракторів тягового класу 100–250 кН, а саме діаметр робочого органа  $D = 0,8–1,05$  м; ширина робочого органа  $B = 2,6–3,2$  м; довжина транспортувальної поверхні  $L_{\text{тр}} = 0,2–0,26$  м та частота обертання робочого органа  $n = 110–150$  хв<sup>-1</sup>.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Штепа В. П. Оснащення землерійно-транспортних машин безперервної дії різально-метальним робочим органом з ціллю підвищення їх ефективності / В. П. Штепа, 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 – Днепропетровск : ВГУЗ «ПГАСА», 2013. – С. 146–159.
2. Автомобільні дороги: будівництво, ремонт, машини і механізми для виконання робіт: навч. Посіб. Ч1 / Л. А. Хмара, О. С. Шипілов, В. Д. Мусійко, М. П. Кузьмінець. – К.; Дніпропетровськ : НТУ, 2011. – 416 с.
3. Голубченко О. І. Огляд та пропозиції конструкції 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 – Днепропетровск : 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.
6. Хожило М. Э. Влияние геометрических параметров режущего-метального рабочего органа на силовые и энергетические показатели процесса резания грунта / М. Э. Хожило // Отраслевые аспекты технических наук. – М. : УлГТУ, 2013. – № 12 (36). – С. 21–28.
7. Голубченко О. І. Визначення продуктивності та енергетичних показників різально-метального робочого органа / О. І. Голубченко, М. Е. Хожило // Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Серія : Галузеве машинобудування, будівництво. Вип. № 1 (36). – Полтава : ПолНТУ, 2013. – С. 81–86.
8. Khozhylo M. Analysis of geometrical parameters effect of cutting-throwing working body to energy datum of soil cutting working process / M. Khozhylo // Студентство. Наука. Иноземна мова: Збірник наукових праць студентів, аспірантів та молодих науковців. – Харків : ХНАДУ, 2014. – С. 51–58.

Стаття надійшла до редакції 01.04.2015 р.