



Нестеренко В. П., к.т.н., доцент, Черех Р. В., магістрант

(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ЗЕМЛЕРИЙНО-ТРАНСПОРТНОЇ МАШИНИ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

Представлені: аналіз літературних даних по розробці і дослідженню різально-метальних робочих органів (РМРО) землерийно – транспортних машин, дані аналітичного дослідження, прийнятої в якості базової, математичної моделі робочого процесу бульдозера, обладнаного РМРО з метою підтвердження коректності моделі і можливості її застосування при проектуванні вказаних машин.

Ключові слова: різально-метальні робочі органи, землерийно-транспортні машини, робочий процес, математична модель.

Вступ

Підвищення ефективності землерийно-транспортної машини (ЗТМ) безперервної дії за рахунок створення принципово нових робочих органів (РО) для виконання земляних робіт у дорожньому і інших видах будівництва є актуальним науково-прикладним завданням в галузі технічних наук.

Найбільш прогресивний шлях підвищення ефективності роботи ЗТМ безперервної дії полягає у впровадженні на них активного робочого обладнання, у якому швидкість руху різальних елементів та транспортувальних пристроїв значно перевищує швидкість руху базової машини, а також застосування різних видів інтенсифікаторів [2]. Активне робоче обладнання з механічним принципом дії дозволяє ефективно здійснювати транспортування ґрунту на зовні за рахунок отримання колової швидкості достатньої для метання ґрунту з потрібним напрямом [3]. Реалізувати вказаний робочий процес дозволяють різально-метальні (РМ) РО, у яких елементи, що руйнують ґрунт, одночасно виконують функцію його метання. Прикладом такої ЗТМ безперервної дії є бульдозер з поворотним відвалом і металником ґрунту, що забезпечує підвищення ефективності його зовнішнього транспортування і зниження опору зусилля копанню.

Таким чином підвищення ефективності земляних робіт ЗТМ із відвальними РО за рахунок упровадження механічних інтенсифікаторів для збільшення відстані та зміни напрямку бічного транспорту-

вання ґрунту – **актуальне науково-прикладне завдання в галузі технічних наук**, що й обумовило мету і завдання представлених досліджень.

Аналіз проведених досліджень

Згідно проведеного аналізу літературних джерел зроблені наступні висновки:

1. Існуючі конструкції активного робочого обладнання ЗТМ безперервної дії мають значні недоліки – неефективне транспортування розробленого ґрунту на зовні;

2. Визначено, що найпрогресивніший шлях підвищення ефективності їх роботи полягає в впровадженні на них активного робочого обладнання, яке дозволяє підвищити швидкість руху базової машини та відповідно продуктивність робочого процесу, реалізувати стовідсоткову потужність силового обладнання незалежно від ґрунтових умов, скоротити кількість послідовних проходів при виконанні земляних робіт, забезпечити найсприятливіші умови для використання засобів автоматизації.

3. При створенні конструкцій активного робочого обладнання ЗТМ безперервної дії виникає низка питань щодо забезпечення високої продуктивності обладнання, вибору найбільш вигідних схем руйнування ґрунту та навішування робочих органів, розробки ефективних засобів для переміщення ґрунту із зони різання у бік.

4. Робочий процес ЗТМ безперервної дії з активним робочим обладнанням складається з трьох операцій: руйнування ґрунту, транспортування ґрунту від різальної частини до транспортувального пристрою.

5. Встановлено, що ефективність розробки ґрунту активним робочим обладнанням суттєво залежить від засобу транспортування ґрунту від зони руйнування в сторону.

6. Найбільш перспективними є конструкції активного РО ЗТМ безперервної дії, в яких переміщення ґрунту від зони руйнування відбувається за рахунок метання. Розгін ґрунту та напрям метання здійснюється безпосередньо різальним пристроєм. Такий засіб знижує матеріалоємність машини та енергоємність робочого процесу у цілому.

7. Розробка і дослідження нових конструкцій РМ РО ЗТМ потребує вирішення широкого кола питань, серед яких найважливішими є:

- виявлення закономірностей взаємодії РО із ґрунтом при забезпеченні осьового та радіального його переміщення з одночасним



метанням за межі робочого органа;

- встановлення впливу режимів роботи на фізичну сутність процесу різання та транспортування ґрунту різально-метальним робочим органом;

- розробки теоретичної моделі для визначення всіх параметрів РМ РО з урахуванням властивостей ґрунту та виконання їх кількісної оцінки.

В роботі [1] представлена математична модель робочого процесу ЗТМ з металником ґрунту, яка прийнята авторами в якості базової моделі для дослідження.

Завданням даної роботи є аналітичне дослідження математичної моделі робочого процесу землерийно-транспортної машини (ЗТМ) з РМ РО, представленої в роботі [1] з метою підтвердження її коректності і можливості застосування при проектуванні вказаних ЗТМ. Задачами дослідження також є: визначення основних технічних параметрів робочого процесу конкретної ЗТМ (бульдозера) з поворотним відвалом і вказаним робочим органом; аналіз отриманих даних і їх співставлення з дослідженнями інших авторів.

Реалізація визначених завдань передбачає наступне:

- виконати огляд наукових досліджень та технічних рішень конструкцій активного робочого обладнання землерийно-транспортних машин безперервної дії для дорожнього та інших видів будівництва і вибрати для подальших досліджень конструктивне рішення різально-метального робочого органа;

- виявити закономірності взаємодії різально-метального робочого органа з ґрунтом при забезпеченні радіального переміщення ґрунту з одночасним метанням зосередженим потоком за межі робочого органа;

- встановити вплив режимів роботи на фізичну сутність процесу різання та транспортування ґрунту різально-метальним робочим органом;

- визначити та оцінити техніко-економічну ефективність землерийно-транспортної машини безперервної дії з різально-метальним робочим органом.

Об'єктом дослідження в даній роботі є математична модель робочого процесу землерийно-транспортної машини безперервної дії з різально-метальним робочим органом.

Предметом дослідження є різально-метальний робочий орган.

Гіпотеза дослідження базується на можливості підвищення ефективності робочого процесу ЗТМ – бульдозера, що здійснюється

шляхом одночасного різання і переміщення ґрунту вздовж відвалу та транспортуванням його зовні металевим механізмом.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження виконані на основі математичної моделі робочого процесу ЗТМ – бульдозера з одночасним різанням і переміщенням ґрунту вздовж відвалу, та транспортуванням його зовні зосередженим потоком за рахунок метання [1], експериментальні (аналітичні) – на базі Microsoft Excel (програми для роботи з електронними таблицями).

Методика досліджень

Згідно [1] вихідними даними математичної моделі робочого процесу ЗТМ безперервної дії з поворотним відвалом і металевим механізмом є на система рівнянь:

$$\varphi_2 = \arcsin \frac{2V_{Л} \cdot \omega_0}{v_6 \cdot \alpha_0 \cdot R(R - R_1)} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= \arctg \left(\frac{\omega_0^2 \cdot R_1}{g \cdot \cos \beta_1} - \operatorname{tg} \beta_1 \right) - \arctg \left[\frac{\omega_0^2 \cdot R_1}{g \cdot \cos(\beta_1 + \varphi_2)} - \operatorname{tg}(\beta_1 + \varphi_2) \right] \Rightarrow \\ \Rightarrow \arctg \left(\frac{\omega_0^2 \cdot R_1}{g \cdot \cos \beta_1} - \operatorname{tg} \beta_1 \right) &= \varphi_2 + \arctg \left[\frac{\omega_0^2 \cdot R_1}{g \cdot \cos(\beta_1 + \varphi_2)} - \operatorname{tg}(\beta_1 + \varphi_2) \right] \end{aligned} \quad (2)$$

Рівняння 1 і 2 приведені до наступного вигляду:

$$\left\{ \begin{aligned} R_1 &= R - \frac{2V_{Л} \cdot \omega_0}{v_6 \cdot \alpha_0 \cdot \sin \varphi_2} \end{aligned} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{aligned} R_1 &= \frac{g \cdot \cos \beta_1}{\omega_0^2} \cdot \left\{ \operatorname{tg} \beta_1 + \operatorname{tg} \left\{ \varphi_2 + \arctg \left[\frac{\omega_0^2 \cdot R}{g \cdot \cos(\beta_1 + \varphi_2)} - (\operatorname{tg} \beta_1 + \varphi_2) \right] \right\} \right\} \end{aligned} \right. \quad (4)$$

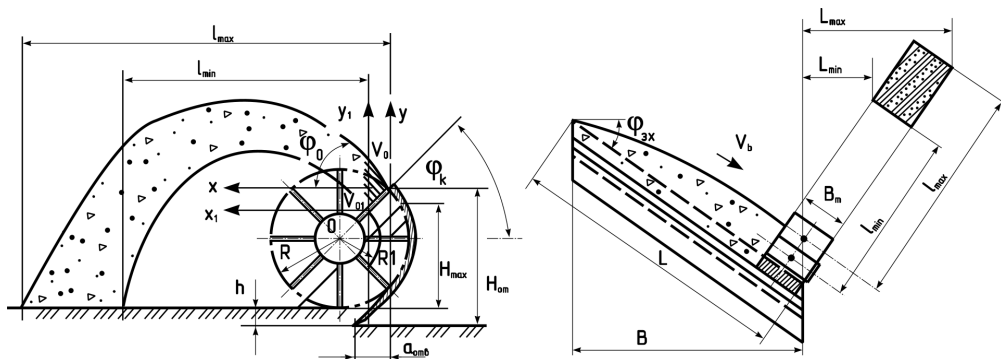


Рисунок. Розрахункова схема процесу метання ґрунту

Алгоритм рішення системи рівнянь (3) і (4) побудовано наступ-



ним чином:

- задається інтервал зміни значень кута φ_r ;
- задається крок $\Delta\varphi_r$ зміни значень кута φ_r ;
- розрахунок значень радіусів R_1 за рівняннями, відповідно (3) і (4) виконується для різних значень кута φ_r , при їх зміні з заданим кроком до того моменту поки різниця $[R_1(3) - R_1(4)]$ не прийме значення похибки (0,0001).

Ґрунт на лопаті перед початком метання знаходиться між зовнішнім R та внутрішнім R_1 радіусами ротора металенька і відповідно на цих відстанях початкові швидкості метання ґрунту дорівнюють: $\mathcal{D}_0 = \omega_0 \cdot R$; $\mathcal{D}_{01} = \omega_0 \cdot R_1$.

На відстанях R та R_1 , відповідно максимальна l_{\max} та мінімальна відстані l_{\min} метання дорівнюють [1]:

$$l_{\max} = \frac{v_0 \cdot \cos \varphi_0 \cdot \left[v_0 \cdot \sin \varphi_0 + \sqrt{v_0^2 \cdot \cos^2 \varphi_0 + 2 \cdot g \cdot (H_{om} - h)} \right]}{g} \quad (5)$$

$$l_{\min} = \frac{v_{01} \cdot \cos \varphi_0 \cdot \left[v_{01} \cdot \sin \varphi_0 + \sqrt{v_{01}^2 \cdot \cos^2 \varphi_0 + [H_{om} - h - (R - R_1) \cdot g \cdot \cos \varphi_0]} \right]}{g} \quad (6)$$

Максимальна та мінімальна відстані бічного транспортування ґрунту відносно різального ножа відвалу, встановленого під кутом захвату φ_{zx} відповідно дорівнюють [1]:

$$L_{\max} = (l_{\max} - a_{om}) \cdot \sin \varphi_{zx} \quad (7)$$

$$L_{\min} = [l_{\min} - a_{ei\delta} + (R - R_1) \cdot \sin \varphi_0] \cdot \sin \varphi_{zx}, \quad (8)$$

Вхідними даними для визначення геометричних, кінематичних, силових та енергетичних параметрів досліджуваної ЗТМ є:

φ_{zx} – кут захвату відвалу; α_p – кут різання ґрунту; δ – кут зовнішнього тертя ґрунту; ρ – кут внутрішнього тертя ґрунту; L – довжини різального ножа; h – глибина різання ґрунту; C_w – зчеплення ґрунту; γ – щільність суцільного ґрунту; γ_p – щільність розпушеного ґрунту; B_m – ширина металенька ґрунту; R_b – радіус кривизни лобової поверхні відвалу; H_b – висота відвалу; ω_0 – кутова швидкість металенька ґрунту; z – кількість лопатей ротора металенька ґрунту; R – радіус кола крайки лопатей ротора металенька ґрунту; R_1 – внутрішній радіус металенька, який визначає найближчу до його центра точку v (рисунок) міжлопатевої призми порції захопленого металеньком ґрунту в момент його відриву від лопаті; φ_0 – кут нахилу напрямного апарату до горизонту (кут напрямку кидання ґрунту відносно горизонту); E_k – енергоємність процесу копання ґрунту бульдозерним відвалом; \mathcal{D}_{bm} – швидкість руху бульдозера в режимі розробки ґрунту; K_p – коефіцієнт розпушення ґрунту; A_1 – коефіцієнт, який визначається експеримен-

тально в залежності від кута різання ґрунту α_p ; H_{max} – геометричний параметр, який визначається виходячи з прийнятих розмірів металника і його положення відносно відвалу бульдозера.

Вихідні (розрахункові) геометричні, кінематичні, силові і енергетичні параметри досліджуваної ЗТМ (бульдозера з металним пристроєм):

α_0 , β_1 , θ , β_2 – кути взаємодії металника з ґрунтом; $F_{пр}$, $h_{пр}$, $l_{пр}$ – площа, висота і довжина вільної поверхні призми волочіння, що перебуває у взаємодії з металником; h_0 – відстань між віссю обертання ротора металника та центром сили тяжіння поперечного перерізу призми волочіння; $h_{цв}$ – висота розташування центру сили тяжіння ґрунту у призмі волочіння, що надходить на металник; V_l – об'єм ґрунту, що міститься на лопаті металника в результаті її взаємодії з призмою волочіння; V_1 – об'єм ґрунту, що потрапляє на лопать металника з призми волочіння під час її повороту на кут α_0 ; V_2 – об'єм ґрунту, що потрапляє на лопать безпосередньо з ножа відвалу; φ_l – кутовий крок лопатей металника; ϑ_b – швидкість переміщення ґрунту вздовж лобової поверхні відвалу; φ_r – кут між точкою a і лопаттю металника, точка a – верхня точка міжлопатевої призми порції захопленого металником ґрунту в момент його відриву від лопаті; l_{max} і l_{min} – максимальна і мінімальна відстані відкидання ґрунту в напрямку перпендикулярному до різального ножа відвалу; L_{max} і L_{min} – максимальна і мінімальна відстані транспортування ґрунту відносно різального ножа відвалу; N – потужність робочого процесу досліджуваної ЗТМ; N_k – потужність на копання ґрунту відвалом; N_n – потужність на підйом ґрунту; N_p – потужність на розгін ґрунту; $N_{тр}$ – потужність на подолання сил тертя по лобовій поверхні відвалу під час транспортування ґрунту металником; P_r – теоретична продуктивність бульдозера; N_1 – потужність на підйом ґрунту, що надходить у металник з призми волочіння; N_2 – потужність на підйом ґрунту, який зрізається ножом відвалу по ширині металника B_m ; E – повна енергоємність робочого процесу досліджуваної ЗТМ.

Результати досліджень і висновки

Результати дослідження дають можливість зробити низку узагальнюючих висновків і рекомендацій, що мають теоретичне і практичне значення:

1. На підставі виконаного огляду наукових досліджень та технічних рішень ЗТМ безперервної дії з активним робочим обладнанням, аналізу характеристик їх робочого процесу, схем взаємодії робочих органів з ґрунтом та способів його транспортування встановлено, що найбільш перспективним РО є таке, що реалізує спосіб розробки ґрунту з одночасним різанням та транспортуванням у режимі метання, який реалізовано у новому технічному рішенні різально-



метального РО [1].

2. Встановлений вплив режимів роботи на фізичну картину процесу різання та транспортування ґрунту різально-метальним РО, що визначається частотою його обертання.

3. Теоретичні моделі геометричних, кінематичних, силових та енергетичних параметрів різально-метального РО, які базуються на підставі теорії граничного стану сипкого середовища та враховують фізико-механічні властивості ґрунту дають змогу визначати раціональні інтервали значень: глибину занурення відвального РО у ґрунт з умови мінімальної енергоємності процесу різання з одночасним транспортуванням ґрунту; максимальної L_{\max} та мінімальної L_{\min} відстаней метання, а також значення кута встановлення захисного кожуху $\varphi_0 = 45 \dots 60^\circ$; частоти обертання валу метальника n з умови найменших значень повної енергоємності при різних властивостях ґрунту. Доцільно встановлювати частоту обертання валу метальника n у межах: при $D = 0,6$ м $\rightarrow n = 120 \dots 140$ хв $^{-1}$; при $D = 0,8$ м $\rightarrow n = 100 \dots 120$ хв $^{-1}$; при $D = 1$ м $\rightarrow n = 90 \dots 110$ хв $^{-1}$.

4. Проведені дослідження дозволили визначити значення параметрів РО для базових машин класу 100...250 кН: діаметр метального РО $D = 0,8 \dots 1,05$ м; ширина різального-метального РО $B = 2,6 \dots 4,0$ м; частота обертання метального РО $n = 110 \dots 150$ хв $^{-1}$.

5. Встановлено, що кут φ_r (рис. 4), покладений в основу математичної моделі робочого процесу ЗТМ з метальником суттєво залежить від кутової швидкості метальника ω_0 ; при перевищенні ω_0 визначеного критичного значення $\omega_{кр} = (2 \dots 3)$ с $^{-1}$ математична модель показує некоректні результати: $\varphi_r > 90^\circ$, а відстані l_{\max} і l_{\min} (рисунок) приймають від'ємні значення і тому потребує уточнення.

1. Хмара Л. А., Голубченко О. І. Дослідження робочого процесу відвального робочого органу з механічним інтенсифікатором для бічного транспортування ґрунту. *Новини інженерної науки Придніпров'я*. 2016. С. 44–53. 2. Машини для земляних робіт : навч. посіб. / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, В. В. Ничке та ін. ; під заг. ред. проф. Л. А. Хмари та проф. С. В. Кравця. Рівне – Дніпропетровськ – Харків, 2010. 557 с. 3. Кавалеров А. А. Исследование работы метателя ґрунту. *Строительные и дорожные машины*. М. : Машиностроение, 1969. № 4. С. 19.

REFERENCES:

1. Khmara L. A., Holubchenko O. I. Doslidzhennia robochoho protsesu vidvalnoho robochoho orhanu z mekhanichnym intensyfikatorom dlia bichnoho transportuvannia hruntu. *Novyny inzhenernoi nauky Prydniprovia*. 2016. S. 44–53. 2. Mashyny dlia zemlianykh robіt : navch. posib. / L. A. Khmara, S. V. Kravets, V. V. Nychke ta in. ; pid zah. red. prof. L. A. Khmary ta prof.

S. V. Kravtsia. Rivne – Dnipropetrovsk – Kharkiv, 2010. 557 s. **3.** Kavalеров А. А. Issledovanie raboty metatel'ia hruntu. Stroitelnye i dorozhnye mashiny. M. : Mashinostroenie, 1969. № 4. S. 19.

Рецензент: д.т.н., професор Налобіна О. О. (НУВГП)

Nesterenko V. P., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Cherekh R. V., Graduate Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

RESEARCH OF THE WORKING PROCESS OF THE EARTHMOVING-TRANSPORT MACHINE OF IMMEDIATE ACTIONS

Presented: analysis of the literature data on the development and research of the cutting-and-boring working bodies (RMRO) of earth moving vehicles, the data of the analytical study adopted as a basic, mathematical model of the working process of a bulldozer equipped with RMRO in order to confirm the correctness of the model and the possibility of its application in designing. of these machines.

Keywords: cutting - throwing working bodies, earth moving vehicles, working process, mathematical model.

Нестеренко В. П., к.т.н., доцент, Черех Р. В., магистрант
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Представлены: анализ литературных данных по разработке и исследованию резально-метательных рабочих органов (РМРО) землеройно-транспортных машин, данные аналитического исследования, принятой в качестве базовой, математической модели рабочего процесса бульдозера, оборудованного РМРО с целью подтверждения корректности принятой модели и возможности её применения при проектировании указанных машин.

Ключевые слова: резально-метательные рабочие органы, землеройно – транспортные машины, рабочий процесс, математическая модель.
