

## **АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІДСТАНІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ГРУНТУ РІЗАЛЬНО-МЕТАЛЬНИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ**

**Вступ.** Аналіз світового досвіду показує, що одним із найбільш перспективних напрямів розвитку дорожньо-будівельного виробництва є впровадження нових інтенсивних технологій дорожніх робіт на основі створення сучасних дорожніх машин великої потужності та продуктивності, ускладнення їх конструкцій, автоматизації робочих процесів тощо [1].

Підвищити ефективність виконання земляних робіт у дорожньому будівництві дозволяють землерийно-транспортні машини безперервної дії (ЗТМБД). При зведенні насипів, устрою дорожніх корит, видаленню поверхневих шарів чорнозему використовуються ЗТМБД, такі як, грейдер-елеватор, струг-метальник. Але їх робоче обладнання має суттєві недоліки, що обмежують їх виробництво та експлуатацію. До них відносяться: підвищені матеріалоємність машин та енергоємність робочих процесів; руйнування ґрунту здійснюється за рахунок тягового зусилля, яке залежить від зчіпних властивостей ходового обладнання базової машини та стану поверхні для її пересування; мала ширина різання ґрунту відносно колії ходового обладнання базової машини; втрати ґрунту при його переміщенні від різальної частини землерийно-транспортної машини до конвеєра зовнішнього транспортування, наприклад, при використанні дискових різальних ножів; неможливість достатнього подрібнення зрізаного ґрунту для ефективного зовнішнього транспортування, наприклад, стрічковим конвеєром; встановлення допоміжного транспортувального пристрою з приводом для переміщення ґрунту від ріжучої частини до стрічкового конвеєра зовнішнього транспортування, наприклад, метальника; застосування допоміжних планувальних елементів для отримання рівної ґрунтової поверхні.

Найбільш прогресивний шлях підвищення ефективності роботи ЗТМБД полягає у впровадженні на них активного робочого обладнання, у якому швидкість руху ріжучих елементів та транспортувальних пристроїв значно перевищує швидкість руху базової машини, а також застосування різних видів інтенсифікаторів, наприклад, із використанням вібрації, газоповітряного змашування, вибухових імпульсів тощо [2].

**Постановка проблеми.** Одним із шляхів інтенсифікації робочих процесів ЗТМ полягає у використанні активного робочого обладнання у вигляді металевих пристроїв. Так, за їх допомогою здійснюється завантаження ковша скрепера, транспортування ґрунту від різальної системи робочого обладнання кюветоочищувальників, меліоративних машин, тощо [2, 3].

Відомі конструкції металевих переважно використовуються для транспортування в режимі вільного метання попередньо зрізаного ґрунту за допомогою окремих різальних елементів статичної дії, сипкого матеріалу у природному стані. У тих конструкціях металевих, що здійснюють самостійне різання ґрунту і наступне його метання, транспортування ґрунту відбувається тільки у радіальному напрямку по всій ширині робочого органа. Така схема робочого процесу при значній ширині робочого органа не дозволяє отримати зосереджений потік ґрунту, який потрібен для завантаження стрічкового конвеєра.

Таким чином, в якості активного робочого обладнання грейдер-елеваторів потрібно створення різально-металевого робочого органа, що дозволяє використовувати різання ґрунту на значній ширині (більше колії базової машини) за рахунок обертання металевика і при цьому здійснювати транспортування ґрунту зосередженим потоком.

При впровадженні різально-металевого робочого обладнання на ЗТМБД виникає ряд питань щодо отримання математичних моделей для визначення відстані метання та параметрів зони падіння ґрунту під час робочого процесу.

**Мета статті.** Отримати аналітичне визначення параметрів процесу транспортування ґрунту різально-метальним робочим органом.

**Аналіз публікацій.** На сьогоднішній день близькою за суттю проблематикою займалися вчені М. С. Гласко [4], М. І. Дерев'янчук [5], Н. А. Ісрафілов [6], А. А. Кавалеров [7], Б. І. Караваєв [8], С. Е. Кудра [9] та інші. В опублікованих працях містяться поодинокі викладки матеріалу, який пов'язаний з методиками визначення дальності метання ґрунту. Проведений аналіз засвідчив, що розглянуті роботи не надають комплексних наукових досліджень, щодо врахування розробки ґрунту з одночасним його транспортуванням із зони різання за рахунок метання. Тим самим слід відмітити необхідність ґрунтовних наукових досліджень, у яких насамперед будуть визначені відстані метання та параметрів зони падіння ґрунту.

**Основна частина.** Розрахункова схема процесу метання ґрунту у випадку, коли кут нахилу транспортувальної поверхні  $\alpha_{\text{тп}} > \delta$  кута зовнішнього тертя ґрунту по ґрунту, надана на рисунку 1.

Згідно встановленої попередньо фізичної суті робочого процесу різально-метального робочого органа транспортування ґрунту за рахунок метання здійснюється з трьох зон. У центральній зоні II в місці сходження гвинтових робочих поверхонь знаходиться об'єм ґрунту, який накопичується за рахунок осьової швидкості за час одного оберту робочого органа [10].

Приймаємо, що об'єм ґрунту  $V_0$  у центральній зоні II розподілено рівномірно вздовж кожуха із зовнішнім радіусом  $R$  та внутрішнім  $R_1$  (рис. 2) і відповідно на цих відстанях початкові швидкості метання ґрунту дорівнюють

$$V_0 = \omega_0 R; \quad (1)$$

$$V_{01} = \omega_0 R_1, \quad (2)$$

де  $\omega_0$  - кутова швидкість обертання різально-метального робочого органа.

У двох симетричних зонах I та III ґрунт знаходиться та рівномірно розподілений на робочих поверхнях різально-метального робочого органа, і має осьову та радіальну швидкості, які в сумі утворюють вектор абсолютної швидкості  $V_{a2}$  дотичний до зовнішньої утворюючої циліндричної поверхні робочого органа з кутом  $\psi$  нахилу до осі робочого органа. Так як, кути підйому робочої поверхні на відстанях  $R$  та  $R_1$  різні, то і швидкості  $V_{a2}$  на цих радіусах мають різний кут нахилу  $\psi$ .

Позначимо, що на зовнішньому радіусі  $V_{a2} = V'_{a2}$  з кутом нахилу  $\psi'$ , а на радіусі  $R_1$   $V_{a2} = V''_{a2}$  і кутом нахилу  $\psi''$ .

Об'єм ґрунту, який накопичується у просторі між витками робочого органа

$$V_{гр} = 2h_k V_M t_{об}^2 V_{віс} K_p, \quad (3)$$

де  $h_k$  - глибина копання ґрунту різально-метальним робочим органом;  $V_M$  - швидкість пересування базової машини;  $t_{об}^2$  - час одного оберту робочого органа;  $V_{віс}$  - осьова швидкість транспортування;  $K_p$  - коефіцієнт розпушення.

Залишки об'єму ґрунту, який транспортується метанням з робочих поверхонь різально-метального робочого органа

$$V_{рп} = 2h_k V_M t_{об}^2 K_p - V_{гр}. \quad (4)$$

Радіус  $R_1$  визначаємо з умови, що при переміщенні у поперечному напрямі транспортувальної поверхні ґрунт має середню відносну швидкість  $V_{в2}$  і за час  $\left(\frac{\pi}{2} - \beta_k + \varphi_k\right) / \omega_0$  переміщується у радіальному напрямі на відстань  $V_{в2} \left(\left(\frac{\pi}{2} - \beta_k + \varphi_k\right) / \omega_0\right) \sin \alpha_{тр}$ .

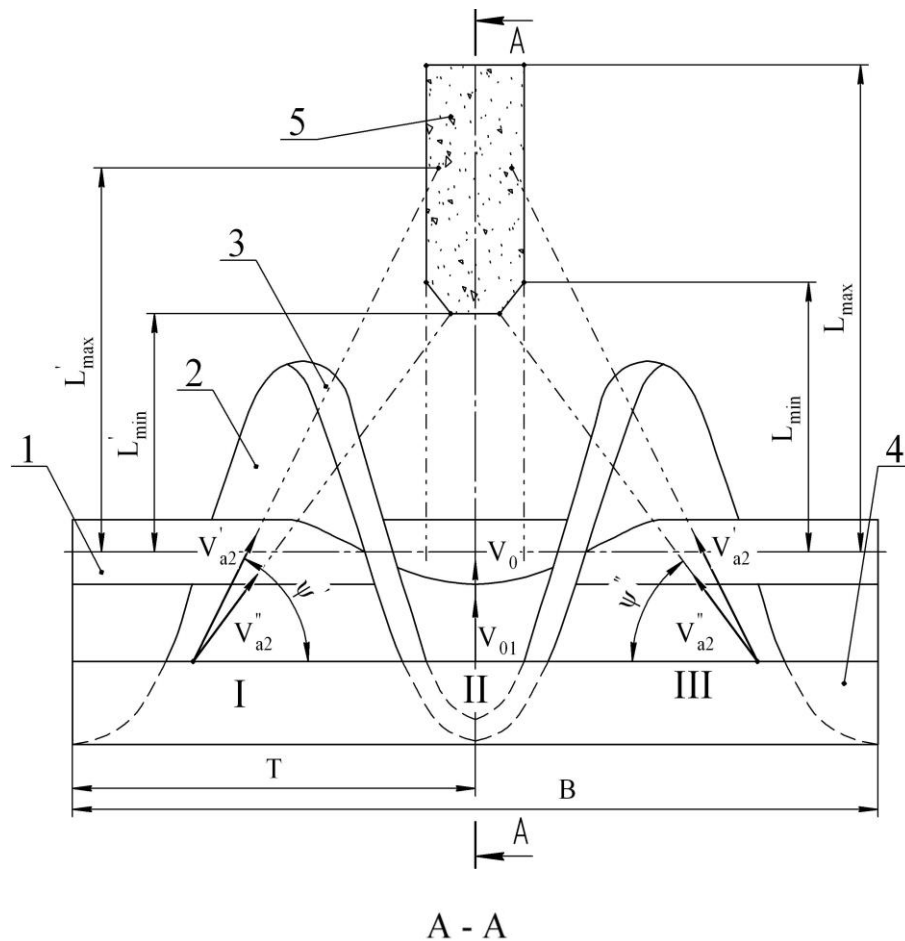


Рис. 1. Розрахункова схема процесу транспортування ґрунту при  $\alpha_{тр} > \delta$  (вид зверху на робоче обладнання): 1 – приводний вал; 2 – гвинтова поверхня; 3 – транспортувальна поверхня; 4 – кожух; 5 – межі падіння частинок ґрунту на площину зовнішнього транспортувального пристрою.

Тоді радіус  $R_1$  дорівнює

$$R_1 = R + V_{B2} \left( \left( \frac{\pi}{2} - \beta_k + \varphi_k \right) / \omega_0 \right) \sin \alpha_{тр}, \quad (5)$$

де  $\beta_k$  - кут копання  $\beta_k = \arccos \frac{R-h_k}{R}$ ;  $\varphi_k$  - кут встановлення кожуха.

Кути нахилу транспортувальної поверхні у осьовому напрямі

$$\theta = \arcsin(\sin\alpha_{\text{тр}} \cos\alpha_0), \quad (6)$$

де  $\alpha_0$  - кут нахилу різальної кромки ножа гвинтової поверхні робочого органа

$$\alpha_0 = \arctg\left(\frac{T}{\pi D}\right),$$

де  $T$  – крок гвинтової поверхні;  $D$  – зовнішній діаметр різально-метального робочого органа.

Кут підйому робочої поверхні різально-метального робочого органа по центру ваги об'єму ґрунту  $V_{\text{гр}}$

$$\alpha_{\text{co}} = \arctg \frac{T}{\pi(R+R_1)}. \quad (7)$$

Об'єм  $V_{\text{гр}}$  можна визначити через геометричні параметри різально-метального робочого органа за формулою

$$V_{\text{гр}} = \frac{1}{6}(R + R_1)^2(R - R_1)\varphi_{\text{r}}^2 \text{tg}\alpha_{\text{co}}, \quad (8)$$

яка надає можливість отримати вираз для визначення центрального кута  $\varphi_{\text{r}}$ , який відповідає розташуванню ґрунту у просторі сходження робочих поверхонь, у вигляді

$$\varphi_{\text{r}} = \sqrt{\frac{6V_{\text{гр}}}{(R+R_1)^2(R-R_1)\text{tg}\alpha_{\text{co}}}}. \quad (9)$$

Ширина центральної зони  $I$

$$B_0 = (R + R_1)\varphi_{\text{r}} \text{tg}\alpha_{\text{co}} + (R - R_1)\text{tg}\theta. \quad (10)$$

Частки ґрунту після відриву від робочої поверхні на рівні верхнього границі кожуха рухаються в напрямі осей  $x$  та  $y$  згідно рівнянь

$$\left. \begin{aligned} x &= V_0 \cos\varphi_0 t; \\ y &= V_0 \sin\varphi_0 t - \frac{gt^2}{2} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

де  $V_0$  - лінійна початкова швидкість часток ґрунту;  $\varphi_0$  - кут нахилу вектора швидкості  $V_0$  під час початку метання

$$\varphi_0 = \frac{\pi}{2} - \varphi_k. \quad (12)$$

Після виключення часу із системи рівнянь (11) отримаємо рівняння траєкторії руху часток ґрунту на відстані  $R$  від осі обертання.

$$y = x \text{tg}\varphi_0 - \frac{gx^2}{2V_0^2 \cos^2\varphi_0}. \quad (13)$$

Згідно рис. 2 в координатних осях  $XOY$  при

$$x = l_{\max};$$

$$y = -R \sin \varphi_k + h_{\text{тр}},$$

де  $h_{\text{тр}}$  - висота розміщення зовнішнього транспортувального пристрою.

При даних значеннях  $x$  та  $y$  рівняння (13) має вигляд

$$-R \sin \varphi_k + h_{\text{тр}} = l_{\max} \operatorname{tg} \varphi_0 - \frac{g l_{\max}^2}{2V_0^2 \cos^2 \varphi_0}. \quad (14)$$

Звідки

$$l_{\max} = \frac{V_0 \cos \varphi_0 \left[ V_0 \sin \varphi_0 + \sqrt{V_0^2 \sin^2 \varphi_0 - 2g(h_{\text{тр}} - R \sin \varphi_k)} \right]}{g}. \quad (15)$$

В координатних осях  $X_1 O_1 Y_1$  при

$$x_1 = l_{\min};$$

$$y_1 = -R_1 \sin \varphi_k + h_{\text{тр}}$$

і аналогічно рівнянням (14) та (15) мінімальна відстань метання дорівнює

$$l_{\min} = \frac{V_{01} \cos \varphi_0 \left[ V_{01} \sin \varphi_0 + \sqrt{V_{01}^2 \sin^2 \varphi_0 - 2g(h_{\text{тр}} - R \sin \varphi_k)} \right]}{g}. \quad (16)$$

Максимальна та мінімальна відстані метання ґрунту відносно осі різально-метального робочого органа відповідно дорівнюють

$$L_{\max} = l_{\max} - R \cos \varphi_k; \quad (17)$$

$$L_{\min} = l_{\min} - R_1 \cos \varphi_k. \quad (18)$$

Кути нахилу робочих поверхонь різально-метального робочого органа на відстанях  $R$  та  $R_1$

$$\alpha'_0 = \operatorname{arctg} \frac{T}{2\pi R}; \quad (19)$$

$$\alpha''_0 = \operatorname{arctg} \frac{T}{2\pi R_1}. \quad (20)$$

Складові абсолютної швидкості руху ґрунту у бічних зонах I та III на відстанях  $R$  і  $R_1$  дорівнюють

$$V'_{a1} = \sqrt{V_{\Pi}'^2 + V_{B1}^2 - 2V_{\Pi}' V_{B1} \cos \alpha'_0}; \quad (21)$$

$$V''_{a1} = \sqrt{V_{\Pi}''^2 + V_{B1}^2 - 2V_{\Pi}'' V_{B1} \cos \alpha''_0}, \quad (22)$$

$$\text{де } V_{\Pi}' = \omega_0 R; V_{\Pi}'' = \omega_0 R_1; V_{B1} = \sqrt{\frac{0,5\pi R_c [g(\cos \alpha_c \cos \alpha_{\text{тр}} - \omega^2 R_c \operatorname{tg} \delta)]}{\cos \alpha_c \cos \alpha_{\text{тр}}}}$$

Кути нахилу векторів  $V'_{a1}$  та  $V''_{a1}$  визначаються наступними залежностями

$$\beta' = \arccos \frac{V_{B1} \cos \alpha'_0}{V'_{a1}}; \quad (23)$$

$$\beta'' = \arccos \frac{V_{B1} \cos \alpha_0''}{V_{a1}}. \quad (24)$$

Значення складових  $V_{a2}'$  та  $V_{a2}''$  абсолютної швидкості дорівнюють

$$V_{a2}' = \sqrt{V_{a1}'^2 + V_{B2}^2 \cos^2 \alpha_{TP} + 2V_{a1}' V_{B2} \cos(\beta' - \alpha_0')}; \quad (25)$$

$$V_{a2}'' = \sqrt{V_{a1}''^2 + V_{B2}^2 \cos^2 \alpha_{TP} + 2V_{a1}'' V_{B2} \cos(\beta'' - \alpha_0'')}. \quad (26)$$

Кути  $\xi'$ ,  $\psi'$  та  $\xi''$ ,  $\psi''$  для планів руху часток ґрунту відповідно на відстанях  $R$  та  $R_1$  дорівнюють

$$\xi' = \arcsin \frac{V_{a1}' \sin(\beta' - \alpha_0')}{V_{a2}'}; \quad (27)$$

$$\xi'' = \arcsin \frac{V_{a1}'' \sin(\beta'' - \alpha_0'')}{V_{a2}''}; \quad (28)$$

$$\psi' = \xi' + \alpha_0'; \quad (29)$$

$$\psi'' = \xi'' + \alpha_0''. \quad (30)$$

Максимальна та мінімальна відстань метання ґрунту під кутом до осі різально-метального робочого органа із бічних зон визначається згідно формул (15) та (17)

$$l'_{\max} = \frac{V_{a2}' \cos \varphi_0 \left[ V_{a2}' \sin \varphi_0 + \sqrt{V_{a2}'^2 \sin^2 \varphi_0 - 2g(h_{TP} - R \sin \varphi_k)} \right]}{g}; \quad (31)$$

$$l'_{\min} = \frac{V_{a2}'' \cos \varphi_0 \left[ V_{a2}'' \sin \varphi_0 + \sqrt{V_{a2}''^2 \sin^2 \varphi_0 - 2g(h_{TP} - R_1 \sin \varphi_k)} \right]}{g}. \quad (32)$$

Відстань метання ґрунту від осі обертання у напрямі нормальному до неї дорівнюють

$$L'_{\max} = l'_{\max} \sin \psi' - R \cos \varphi_k; \quad (33)$$

$$L'_{\min} = l'_{\min} \sin \psi'' - R_1 \cos \varphi_k. \quad (34)$$

Повна ширина метання

$$B'_0 = B - 2V_{B1} t_{об}. \quad (35)$$

Маса ґрунту, що контактує із кожухом під час транспортування

$$m_{TP} = \left( \frac{\pi}{2} - \beta_k + \varphi_k \right) (R - 0,5h_{кож}) B h_{кож} \gamma_p, \quad (36)$$

де  $h_{кож}$  - середня товщина ґрунту, який контактує із кожухом і транспортується вздовж нього

$$h_{кож} = \frac{\omega R - \sqrt{\omega_0^2 R^2 - 2\omega_0 h_k K_p V_M}}{\omega}.$$

Аналіз теоретичних досліджень по визначенню впливу параметрів різально-метального робочого органа на відстань метання та параметри зони падіння ґрунту наведено у графічних залежностях на рисунках 3 а, б.

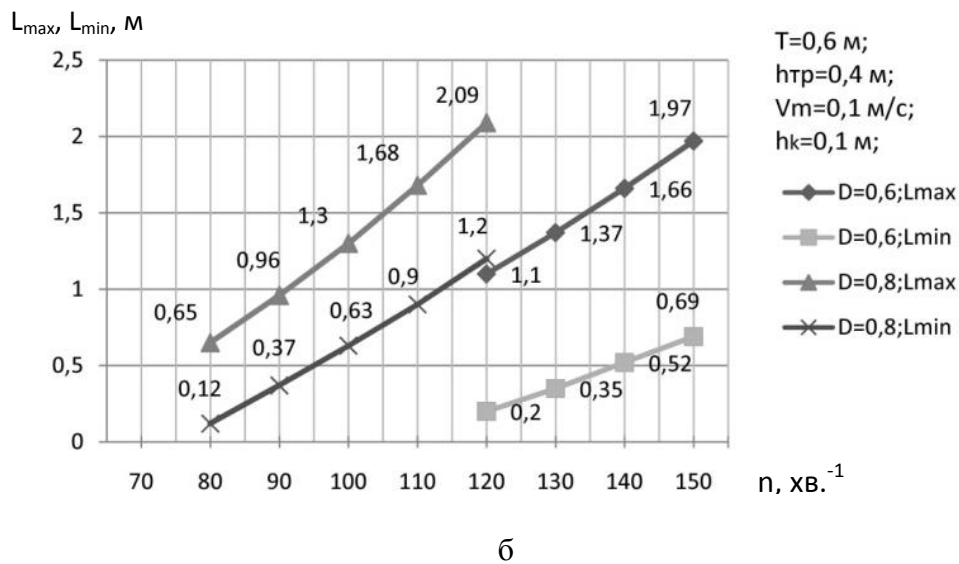
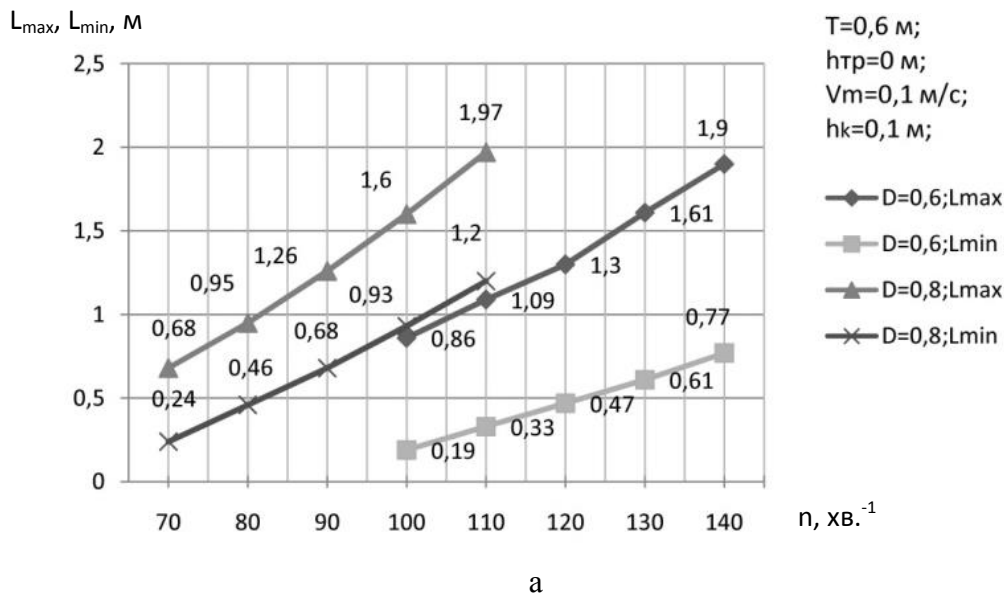


Рис. 3. Графічні діаграми залежності дальності метання ґрунту  $L_{max}$ ,  $L_{min}$  в залежності від висоти розміщення зовнішнього транспортувального пристрою  $h_{tr}$ :  $\gamma=2000$  кг/м<sup>3</sup>;  $\delta=21^\circ$ ;  $\rho=25^\circ$ ; а -  $h_{tr}=0$  м.; б -  $h_{tr}=0,4$  м.

Слід зазначити, що дальність метання залежить від частоти обертання приводного вала різально-метального робочого органа (рис. 3 а, б). Початок метання ґрунту у значній мірі залежить від діаметра різально-метального робочого органа. Так, на рис. 3а при  $D=0,8$  м метання ґрунту починається на обертах  $n=70$   $хв^{-1}$  і найбільша та найменша дальність метання відповідно дорівнюють  $L_{max}=0,68$  м, а  $L_{min}=0,24$  м, з тими самими умовами при  $D=0,6$  м метання починається лише з  $n=70$   $хв^{-1}$  -  $L_{max}=0,86$  м, а  $L_{min}=0,19$  м.

При зміні висоти розміщення зовнішнього транспортувального пристрою  $h_{tr}$  зростає частота обертання різально-метального робочого органа (рис. 3 а, б). Так при



$h_{тр}=0,4$  м,  $D=0,8$  м метання ґрунту відбувається на обертах  $n=80$  хв<sup>-1</sup> на відміну від  $h_{тр}=0$  м,  $D=0,8$  м -  $n=70$  хв<sup>-1</sup>.

**Висновки.** 1. Отримані аналітичні залежності для визначення відстані метання та параметрів зони падіння ґрунту при транспортуванні різально-метальним робочим органом зосередженим потоком.

2. По теоретичним залежностям прораховані дальність метання та параметри зони падіння ґрунту

3. Побудовані та проаналізовані графічні діаграми отриманих результатів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. 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.; Д.: НТУ, 2011. – 416 с.

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. Голубченко О. І. Розробка робочого обладнання землерійно-транспортної машини безперервної дії / О. І. Голубченко, М. Е. Хожило // Сб. науч. тр.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъемно – транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование, Вып. 51. Дн-ск : ПГАСА, 2009. – С. 110-113.

4. Гласко М. С. Исследование рабочего процесса роторного безлопастного метателя ґрунта землеройно-транспортной машины: автореф. дис. на соиск. науч. степ. канд. техн. наук: спец. 05.05.04 "Машини для земляних, дорожних и лесотехнических работ" / М. С. Гласко. – М., 1978. – 32 с.

5. Деревянчук М. И. Теоретический анализ процесса копания ґрунта радиальным роторно-лопастным метателем ґрунта / Деревянчук М. И. // Сб. науч. тр.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъемно – транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. Вып. 39 – Дн – ск: ПДАБА, 2007. – С. 83-92.

6. Исафилов Н. А. Исследование траектории полета и распределения ґрунта при работе роторных канавоочистительных машин / Н. А. Исафилов // Труды ЦНИИЛМЭСХ, Т.1. – Минск, 1963. – С. 322-331.

7. Кавалеров А. А. Влияние формы сечения лопаток роторных метателей на дальность метания ґрунта / А. А. Кавалеров // Сб. «Горные, строительные и дорожное машины», К., 1970. - № 10. – С. 73-81.

8. Караваев Б. И. Сравнительные испытания роторных метателей с подвижным и неподвижным кожухами / Б. И. Караваев // Журнал «Строительные и дорожные машины», М.: Машиностроение, 1973. - № 1. – С. 3-5.

9. Кудра С. Е. Определение основного вида потерь энергии в роторном метателе / С. Е. Кудра // Сб. «Горные, строительные и дорожные машины», К., 1969. - № 11. – С. 76–82.

10. Голубченко О. І. Багатофакторні експериментальні дослідження процесу копання ґрунта різально-метальним робочим органом / О. І. Голубченко, М. Е. Хожило // Сб. науч. тр.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъемно – транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. Вып. 63 – Дн–ск: ГВУЗ «ПГАСА», 2011. – С. 93-99.

**УДК 621.869.98**

**О.В. ОРЕЛ, аспірант.**

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

## **ВИЗНАЧЕННЯ СТРОКУ СЛУЖБИ РОБОЧОЇ РІДИНИ В ГІДРОСИСТЕМІ АВТОГРЕЙДЕРА**

**Актуальність проблеми.** Як відомо [1, 2, 3], з часом експлуатації будівельних і дорожніх машин в робочих рідинах (РР) їх гідроприводів накопичуються механічні домішки (частинки зносу та пилу). Промислова чистота РР оцінюється за ГОСТ 17216-2001, згідно з яким при аналізі ступені їх забруднення враховуються ті частинки, які мають розмір більше 5 мкм. Ці механічні домішки суттєво погіршують протизношувальні властивості РР, що призводить до необхідності заміни їх на свіжі у зв'язку з інтенсивним зносом пар тертя гідропривода.

**Аналіз публікацій.** Існує декілька способів визначення строків служби РР, а саме спосіб вимірювання їх діелектричної проникності [2], вимірювання електропровідності РР [1], визначення стану рідини по межовим значенням бракувальних показників [1] і т.п. Але всі ці способи мають ті чи інші недоліки (невелика інформативність, неоднозначність отриманих результатів, необхідність наявності складного спеціального лабораторного обладнання і т.п.).

Нами в [3] запропоновано визначати строки служби РР гідроприводів будівельних і дорожніх машин за допомогою коефіцієнта протизношувальних властивостей  $K_j$ , що представляє собою дріб, у чисельнику якої наведено кількість частинок забруднень