

**КІНЕМАТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ ҐРУНТУ
ГВИНТОВИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ РІЗАЛЬНО-КИДАЛЬНОГО ТИПУ ДЛЯ
ЗЕМЛЕРИЙНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ**

Вступ. Однією з головних тенденцій вдосконалення землерийної техніки є задача підвищення продуктивності, зниження матеріалоемності, енергоємності та покращення техніко-економічних показників. У дорожньому будівництві для виконання земляних робіт використовується різноманітний парк землерийно-транспортних (ЗТМ) машин безперервної дії, наприклад грейдер-елеватори, струги-кидачі та інші [1, 2, 3, 4, 5].

Проблема. Однією з проблем робочого процесу ЗТМ безперервної дії є переміщення ґрунту із зони руйнування на зовнішній транспортуючий пристрій. На відомих конструкціях ЗТМ даного типу транспортування може здійснюватися за рахунок напірного зусилля від зрізаного ґрунту, з застосуванням додаткових пристроїв з приводом для переміщення ґрунту, наприклад у вигляді лопатевих кидачів, проміжних гвинтових та стрічкових конвеєрів. Застосування таких пристроїв збільшує витрати енергії на подолання сил тертя у приводі та ґрунту по транспортувальному пристрою, збільшує матеріалоемність машини.

Мета. Виявлення експериментальним шляхом характеру транспортування та режимів роботи різально-кидального робочого органа для ЗТМ безперервної дії, та отримання теоретичних моделей для визначення кінематичних параметрів процесу транспортування ґрунту.

Основна частина. Для вирішення вказаної проблеми запропонована конструкція активного гвинтового робочого органа різально-кидального типу (рис.1).

Робочий орган складається з привідного вала 1, гвинтових поверхонь лівого 2 та правого 5 напрямку навивки, транспортуючих поверхонь 3 та 4, різальних кромок 7 та 8 і конвеєра 6 для зовнішнього транспортування.

Робочий процес здійснюється при одночасному переміщенні базової машини та обертанні робочого органа. Різання ґрунту на глибині h_k здійснюється кромками 7 і 8. Далі ґрунт захоплюється робочими поверхнями, які утворюються гвинтовими поверхнями 2 та 5 і транспортуючими поверхнями 3 та 4. Під дією відцентрових сил ґрунт притискується до робочих поверхонь і за рахунок сил тертя транспортується. Коли гравітаційна сила пе-

ревищує відцентрову відбувається відрив ґрунту від робочих поверхонь та його кидання у напрямі зовнішнього транспоруючого пристрою.

Для з'ясування факторів, які у найбільшій ступені впливають на процес транспортування ґрунту були виконані експериментальні дослідження, які проводились у лабораторних умовах кафедри будівельних та дорожніх машин Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». Дослідження виконувались на стенді для фізичного моделювання робочих процесів землерийно-транспортних машин (рис.2, а). В якості масиву були змодельовані ґрунти II-III категорії. Необхідні фізико-механічні властивості масиву ґрунту досягались його зволоженням та ущільненням. Об'єктом дослідження була прийнята фізична модель, виконана у масштабі 1:5 (рис.2, б).

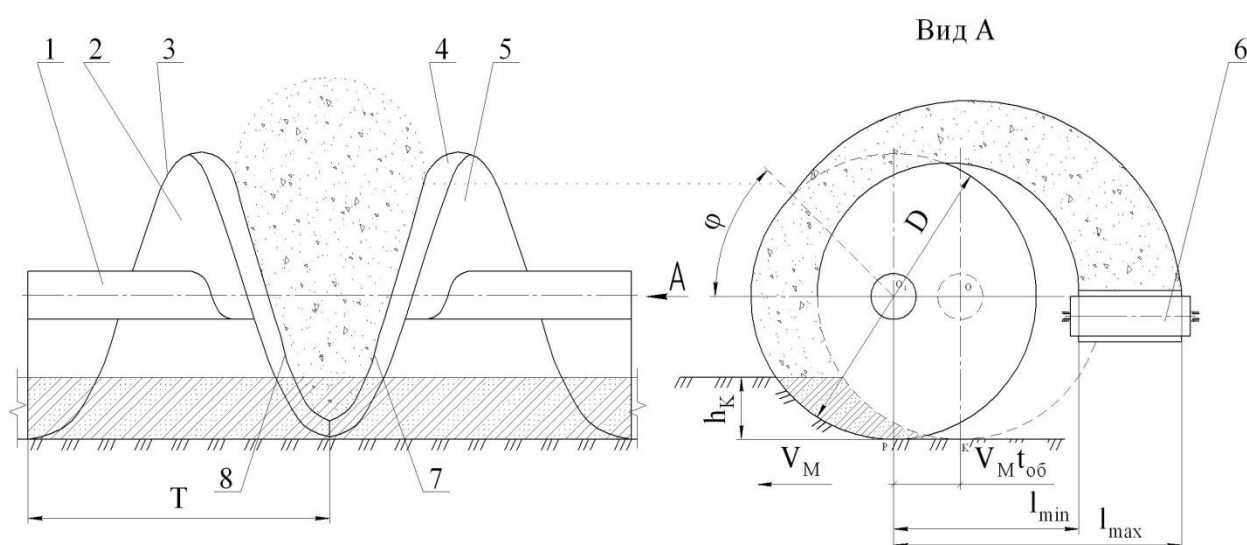


Рис.1. Робочий орган різально-кидального типу.



Рис. 2. Стенд і робоче обладнання для проведення експериментальних досліджень:
а) стенд; б) робоче обладнання.



Рис. 2. Фотограми процесу копання ґрунту $V_k=0.04$ м.с.; $D_{p.o.}=0,15$ м.; $S=0.15$ м.; $h_k=0,02$ м.: а) з захисним кожухом; б) на докритичному режимі $n=170$ хв⁻¹; в) на критичному режимі $n=340$ хв⁻¹; г,д) на закритичному режимі $n=410$ хв⁻¹.

Проведені дослідження вказали на наступні особливості протікання робочого процесу:

1. Вагоме значення на фізичну картину процесу різання та транспортування ґрунту має режим роботи робочого органу різально-кидального типу, що визначається його частотою обертання (рис. 3, б-г). Умовно частоту обертання вала робочого органу можна поділити на 3 режими: докритичний, критичний та за критичний. Під час проведення дослідів на до критичному режимі було відмічено, що зрізаний ґрунт не транспортується під

дією відцентрових сил, а зсипається з різального ножа під дією сил тяжіння за вісь робочого органу.

З початком критичного режиму роботи починається відрив та транспортування ґрунта за межі робочого органу. При роботі на критичному та закритичному режимах форма поперечного перерізу ґрунта, що укладається, являє собою трикутник. Також відмічено, що при збільшенні частоти обертання вала робочого органу відбувається зменшення висоти трикутника поперечного перерізу ґрунта.

Це пов'язано з тим, що відрив зрізаного ґрунта відбувається по всій довжині гвинтової поверхні.

2. На характер транспортування впливає кут нахилу транспортуючої поверхні до поздовжньої осі. У випадку коли $\alpha_{\text{тр}} > \delta$ крім руху в радіальному напрямку відбувається переміщення ґрунта вздовж транспортуючої поверхні. Це призводить до утворення призми волочіння перед робочим органом, що в свою чергу збільшує енергоємність процесу різання тому, що відбувається повторне захоплення зрізаного ґрунта з призми волочіння. Для ліквідації призми волочіння запропоновано встановлювати обмежувач кожух. У цьому випадку ґрунт, що накопичується в просторі у місці сходження гвинтових поверхонь відразу транспортується зовні (рис. 3, а). При $\alpha_{\text{тр}} \leq \delta$ відсутнє осьове переміщення.

Виходячи з вищенаведеного автори пропонують аналітично визначити параметри, що характеризують кінематичні особливості процесу різання та транспортування ґрунта робочим органом різально-кидального типу.

На підставі серії проведених експериментальних досліджень можна стверджувати, що характер транспортування ґрунта визначається наступними факторами: кут нахилу транспортуючої поверхні $\alpha_{\text{мп}}$; співвідношення діаметра вала до кроку навивки гвинтової поверхні D/T ; глибина копання h_k ; швидкість руху базової машини V_M ; частота обертання робочого органу n .

Для виявлення кінематичних особливостей процесу транспортування ґрунта гвинтовим робочим органом різально-кидального типу, розглянемо плани швидкостей руху елементарної маси dm по робочій поверхні

План швидкості руху елементарної маси у випадку, коли $\alpha_{\text{тр}} > \delta$, де $\alpha_{\text{тр}}$ - кут нахилу транспортувальної поверхні робочого органу; δ - кут зовнішнього тертя, надано на рис. 4.

Після виходу маси dm ґрунту із зони різання, вона переміщується разом з робочою поверхнею та має переносну швидкість

$$V_{\text{п}} = \omega_0 R_c, \quad (1)$$

де ω_0 – кутова швидкість обертання робочого органу;

R_c – радіус центра ваги елементарної маси.

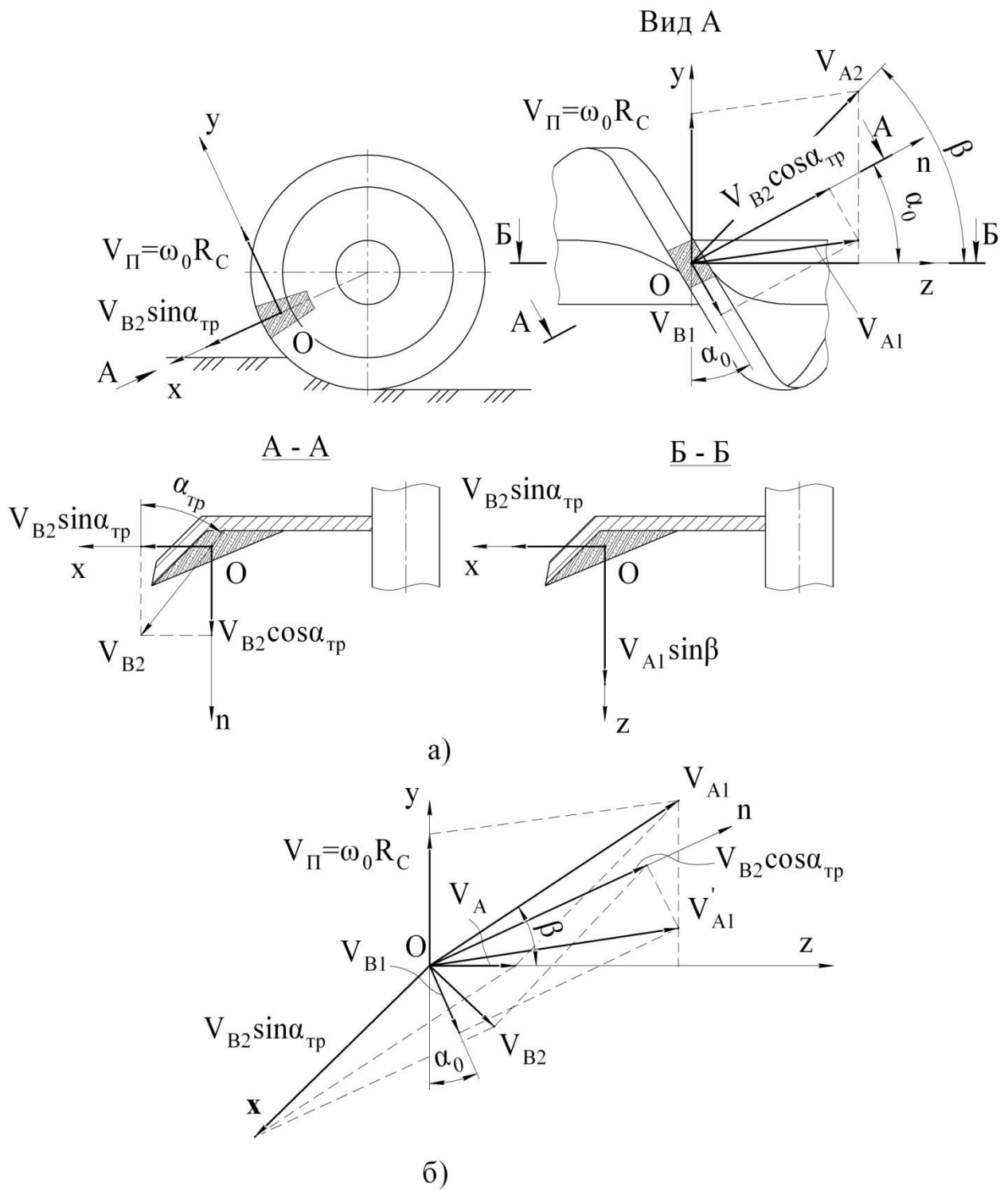


Рис.4. План швидкостей руху елементарної маси при транспортуванні:
а) в проекціях вісі $OxOyOz$; б) в аксонометрії.

Одночасно з тим відбувається сковзання ґрунту вздовж робочої поверхні з відносною швидкістю V_{B1} . Цей рух виникає, якщо кут підйому робочої поверхні на відстані R_C задовольняє умові

$$\alpha_0 \leq \frac{\pi}{2} - \delta. \quad (2)$$

Також, відбувається відносний рух елементарної маси по транспортувальній поверхні зі швидкістю V_{B2} . Абсолютна швидкість \bar{V}_{A1} в площині YZ , дорівнює сумі векторів V_{Π} , V_{B1} та $V_{B2}\cos\alpha_{\text{тр}}$. Абсолютна швидкість руху у просторі $V_A = V_{A2} + V_{B2}\sin\alpha_{\text{тр}}$. У випадку, коли $\alpha_{\text{тр}} \leq \delta$ $V_{B2} = 0$ і рух елементарної маси відбувається тільки у площині YZ з абсолютною швидкістю \bar{V}_A (рис.5).

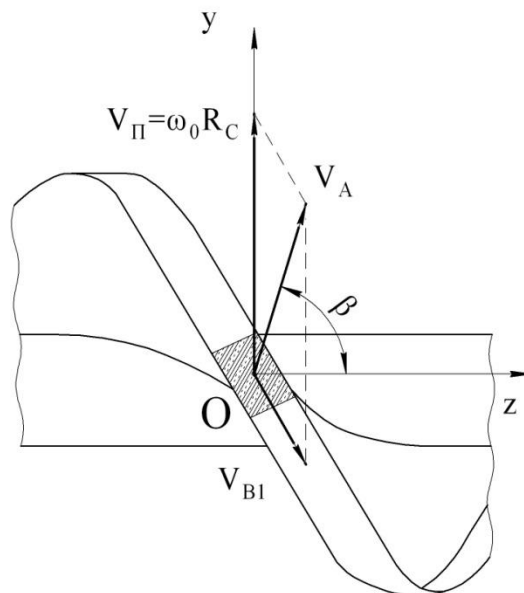


Рис.5. План швидкостей руху елементарної маси при транспортуванні у випадку $\alpha_{\text{тр}} \leq \delta$.

Для визначення значення швидкості руху V_{B1} у цьому випадку розглянемо рівняння руху елементарної маси вздовж робочої поверхні (рис. 6). Кут нахилу поверхні руху приймаємо рівним $\alpha_0 = \arctg \frac{T}{\pi D}$.

Рівняння руху має вигляд

$$dm\ddot{v} = dm g \cos \alpha_0 - F_{\text{тр}\tau}, \quad (3)$$

де $F_{\text{тр}\tau}$ – сила тертя ґрунту по робочій поверхні.

Сила $F_{\text{тр}\tau}$ визначаємо з умови рівноваги елементарної маси у осях n та σ

$$F_{\text{тр}\tau} = N_1 \text{tg} \delta + N_2 \text{tg} \delta. \quad (4)$$

Запишемо систему рівнянь

$$\begin{cases} \sum F_n = 0; N_1 + N_2 \sin \alpha_{\text{тр}} - dm g \sin \alpha_0 = 0; \\ \sum F_\sigma = 0; F_{\text{вц}} - N_2 \cos \alpha_{\text{тр}} = 0, \end{cases} \quad (5)$$

де $F_{\text{вц}} = dm \omega^2 R_c$ - відцентрова сила;

ω – абсолютна кутова швидкість обертання.

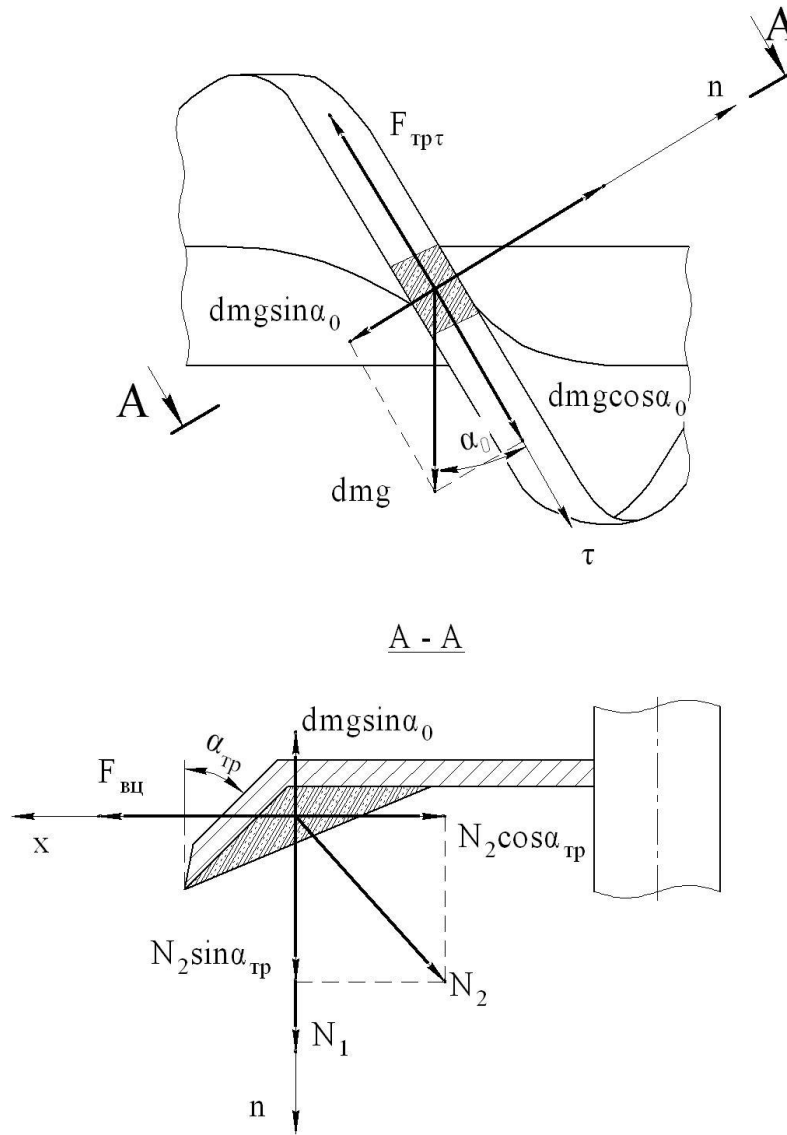


Рис.6. Розрахункова схема до визначення рівняння руху ґрунта по робочій поверхні.

Отримавши значення N_1 і N_2 з системи рівнянь (5) з урахуванням виразу (4) та після відповідних перетворень рівняння руху має вигляд

$$\ddot{\tau} = g(\cos \alpha_0 - \sin \alpha_0 \operatorname{tg} \delta) - \omega^2 R_c \frac{(1 - \sin \alpha_{tp}) \operatorname{tg} \delta}{\cos \alpha_{tp}}. \quad (6)$$

Оскільки $\ddot{\tau} = \frac{d\dot{\tau}}{dt}$, тоді

$$d\dot{\tau} = \left[g(\cos \alpha_0 - \sin \alpha_0 \operatorname{tg} \delta) - \omega^2 R_c \frac{(1 - \sin \alpha_{tp}) \operatorname{tg} \delta}{\cos \alpha_{tp}} \right] dt. \quad (7)$$

Після інтегрування маємо

$$\dot{\tau} = \left[g(\cos \alpha_0 - \sin \alpha_0 \operatorname{tg} \delta) - \omega^2 R_c \frac{(1 - \sin \alpha_{tp}) \operatorname{tg} \delta}{\cos \alpha_{tp}} \right] \cdot t + C_1. \quad (8)$$

При початкових умовах $t = 0, \dot{\tau} = 0, C_1 = 0$ і враховуючи, що $\dot{\tau} = \frac{d\tau}{dt}$

$$d\tau = \left[g(\cos \alpha_0 - \sin \alpha_0 \operatorname{tg} \delta) - \omega^2 R_c \frac{(1 - \sin \alpha_{tp}) \operatorname{tg} \delta}{\cos \alpha_{tp}} \right] \cdot t \cdot dt, \quad (9)$$

або після інтегрування

$$\tau = \left[g(\cos \alpha_0 - \sin \alpha_0 \operatorname{tg} \delta) - \omega^2 R_c \frac{(1 - \sin \alpha_{\text{тп}}) \operatorname{tg} \delta}{\cos \alpha_{\text{тп}}} \right] \frac{t^2}{2} + C_2. \quad (10)$$

При початкових умовах $t = 0, \tau = 0, C_2 = 0$;

Приймаємо шлях переміщення маси dm по робочій поверхні дорівнює $S = \frac{\pi R_c}{\cos \alpha_0}$.

Тоді час руху маси dm на шляху S дорівнює

$$t = \sqrt{\frac{2\pi R_c}{\cos \alpha_0 \left[g(\cos \alpha_0 - \sin \alpha_0 \operatorname{tg} \delta) - \omega^2 R_c \frac{(1 - \sin \alpha_{\text{тп}}) \operatorname{tg} \delta}{\cos \alpha_{\text{тп}}} \right]}}. \quad (11)$$

Середня швидкість відносного руху маси dm по робочій поверхні

$$V_{B1} = \frac{S}{t} = \frac{\pi R_c}{t \cos \alpha_0}, \text{ або}$$

$$V_{B1} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot \pi R_c \left[g(\cos \alpha_0 - \sin \alpha_0 \operatorname{tg} \delta) \cos \alpha_{\text{тп}} - \omega^2 R_c (1 - \sin \alpha_{\text{тп}}) \operatorname{tg} \delta \right]}{\cos \alpha_0 \cos \alpha_{\text{тп}}}}. \quad (12)$$

У випадку, коли $\alpha_{\text{тп}} > \delta$, відбувається рух маси dm вздовж транспортуючої поверхні робочого органа з відносною швидкістю V_{B2} (рис.4) реакція $N_1 = 0$. При цьому рівняння руху маси dm у напрямі вісі τ має вигляд (рис.6)

$$dm\ddot{\tau} = dm g \cos \alpha_0 - N_2 \operatorname{tg} \delta.$$

Після аналогічних перетворень, що були виконані у виразах (2)-(12) середня швидкість відносного руху ґрунту по робочій поверхні дорівнює

$$V_{B1} = \sqrt{\frac{0,5 \pi R_c \left[g(\cos \alpha_0 \cos \alpha_{\text{тп}} - \omega^2 R_c \operatorname{tg} \delta) \right]}{\cos \alpha_0 \cos \alpha_{\text{тп}}}}. \quad (13)$$

З точки зору мінімальної енергоємності транспортування більш сприятливий режим, коли відсутнє переміщення ґрунту вздовж транспортуючої поверхні, що не призводить до утворення призми перед робочим органом (рис.2, а).

Робочий процес буде в режимі кидання при $\alpha_{\text{тп}} \leq \delta$, коли кут нахилу вектора абсолютної швидкості до горизонтальної осі буде задовольняти умові $\beta > 0$ (рис.5).

Умова горизонтального положення вектора V_A

$$V_{\pi} = V_{B1} \cos \alpha_0, \text{ або } \omega_{\text{окр}} R_c = V_{B1} \cos \alpha_0, \quad (14)$$

де $\omega_{\text{окр}}$ - критична частота обертання приводного вала робочого органа при якому абсолютна кутова швидкість $\omega = 0$.

З урахуванням формули (12) критична частота обертання дорівнює

$$\omega_{окр} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot \pi R_c g (\cos \alpha_0 - \sin \alpha_0 \operatorname{tg} \delta) \cos \alpha_0}{R_c}}. \quad (15)$$

Абсолютна кутова швидкість обертання ґрунта дорівнює

$$\omega = \omega_0 - \frac{V_{в1} \cdot \cos \alpha_0}{R_c}. \quad (16)$$

Рівняння для визначення кута кидання ґрунта у площині нормальній до вісі обертання має вигляд

$$\varphi_K = \arcsin \frac{\omega^2 R_c}{g}. \quad (17)$$

Приклад використання методики.

Вихідні дані:

$$D = 0,8 \text{ м.}; T = 0,8 \text{ м.}; L_{тр} = 0,2 \text{ м.}; \alpha_{тр} = 15^\circ; \rho = 27^\circ; \delta = 25^\circ;$$

$$R_c = 0,24 \text{ м.}; h_k = 0,2 \text{ м.}; [h] = 0,01 \text{ м.}; V_M = 0,1 \text{ м/с.}$$

$$\alpha_0 = \operatorname{arctg} \frac{0,8}{3,14 \cdot 0,8} = 17,6^\circ;$$

$$\omega_{окр} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,24 \cdot 9,81 (0,95 - 0,3 \cdot 0,46) \cdot 0,95}{0,24}} = 3,44 \text{ рад/с.}$$

Приймаємо кут кидання $\varphi_K = 45^\circ$ і задля реалізації цього кута кидання, який відповідає максимальній відстані кидання, абсолютна кутова швидкість обертання ґрунту на робочій поверхні дорівнює

$$\omega = \sqrt{\frac{g \cdot \sin \varphi_K}{R_c}} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 0,7}{0,24}} = 5,37 \text{ рад/с.}$$

Висновки.

1. Використання конструкції фрезерного робочого органу різально-кидального типу у вигляді гвинтових поверхонь 2 і 5 з протилежною навивкою дозволяє транспортувати та здійснювати кидання ґрунта у напрямі близьким до повздовжньої осі землерийно-транспортної машини.

2. З проведених експериментальних досліджень фізичної моделі робочого органу різально-кидального типу видно, що на якісну картину транспортування ґрунта впливає кут нахилу транспортуючої поверхні, ґрунтові умови та частота обертання приводного вала робочого органу.

3. Встановлено, що при $\alpha_{тр} \leq \delta$ вектор абсолютної швидкості руху ґрунта знаходиться у площині дотичній до поверхні робочого органу, а у протилежному випадку при $\alpha_{тр} > \delta$ відбувається сковзання ґрунта вздовж транспортуючої поверхні та його накопичення у призму волочіння попереду робочого органу, що призводить до збільшення енергоємності.

4. Перехід до транспортування ґрунта у режимі кидання у радіальному напрямі відбувається після досягнення критичної частоти обертання. Докритичний режим роботи доцільно застосовувати на планувальних машинах, де потрібно осьове переміщення зрізаного ґрунта. Закритичний режим – на землерийно-транспортних машинах безперервної дії, де потрібно переміщення ґрунта на зовнішній транспортуючий пристрій, наприклад, конвеєр.

5. Отримана математична модель для визначення критичної частоти обертання робочого органа різально-кидального типу.

6. Для ліквідації призми волочіння доцільно встановлювати кожух, який дозволяє уникати накопичення ґрунта попереду робочого органа та замінити сили тертя ґрунта по ґрунту на сили тертя ґрунта по металу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Хмара Л.А. Бульдозер з шнековим інтенсифікатором – як універсальна машина для засипки траншей / Л.А. Хмара, Р.М. Кроль // Сб. науч. тр. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. Вып. № 33 – Д.: ПГАСА, 2005. – С. 56 – 69.

2. Хмара Л.А. Визначення критичної частоти обертання шнекового інтенсифікатора першого роду / Л.А. Хмара, Р.М. Кроль // Сб. науч. тр. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. Вып. № 33 – Д.: ПГАСА, 2005. – С. 70 – 75.

3. Хмара Л.А. Определение критической частоты вращения шнекового бура с учетом вертикальной скорости / Л.А. Хмара, О.І. Голубченко // Сб. науч. тр. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. Вып. № 33 – Д.: ПГАСА, 2005. – С. 76 – 85.

4. Кадыров А.С. Разработка методики расчета винтовых рабочих органов большого диаметра. – В сб.: Строительные и дорожные машины и механизмы. Т.4. – Караганда, 1978. – С. 97 – 101.

5. Гаркавенко О.М. Розробка та створення швидкісних обрушуючих дискових робочих органів землерийних машин безперервної дії : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.04 "Машина для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт" / О.М. Гаркавенко. – К., 1996. – 20 с.