

УДК 621.878

## КОНСТРУКЦІЯ ТА ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНОГО ІНТЕНСИФІКАТОРА БІЧНОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ ҐРУНТУ ДЛЯ ВІДВАЛЬНОГО РОБОЧОГО ОРГАНА ЗЕМЛЕРИЙНО-ТРАНСПОРТНОЇ МАШИНИ

ХМАРА Л. А.<sup>1</sup>, *д. т. н., проф.*ГОЛУБЧЕНКО О. І.<sup>2\*</sup>, *к. т. н., доц.*

<sup>1</sup> Кафедра будівельних і дорожніх машин (БДМ), Державного вищого навчального закладу (ДВНЗ) «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (ПДАБА), вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (093) 267-03-86, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302

<sup>2\*</sup> Кафедра будівельних і дорожніх машин (БДМ), Державного вищого навчального закладу (ДВНЗ) «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (ПДАБА), вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 514-61-02, e-mail: alexgol@ua.fm, ORCID ID: 0000-0003-2971-1263

**Анотація. Постановка проблеми.** Серед різноманітних видів земляних робіт особливе місце займають роботи при будівництві протяжних об'єктів таких, як автомобільні та залізничні дороги, меліоративні споруди, роботи по зворотній засипці траншей після укладки або ремонту комунікацій та трубопроводів, при устрій оборонних споруд, пошаровому добуванні корисних копалин. Однією з найбільш поширених операцій на вказаних видах будівництва є бічне переміщення ґрунту відносно напрямку земляної споруди. Для виконання даної технологічної операції широко використовуються серійні землерійно-транспортні машини (ЗТМ) у вигляді бульдозерів, автогрейдерів. Незважаючи на такі переваги бульдозера, як універсальність, простота конструкції та маневреність, використання цих машин для бічного транспортування ґрунту має недоліки. Робота проводиться циклічними рухами, що знижує продуктивність та збільшує зону виконання робіт. Оснащення бульдозера косовстановленим відвалом дозволяє перетворити його на машину безперервної дії для бічного транспортування ґрунту. Однак суттєвим недоліком такої конструкції робочого обладнання є неможливість транспортування ґрунту на значну відстань за його межі. Аналогічний недолік присутній в робочому обладнанні автогрейдера. Також, дана ЗТМ більше пристосована для виконання планувальних робіт і обмежена для зворотної засипки. Один із шляхів з мінімальними витратами матеріальних ресурсів підвищення ефективності бічного транспортування ґрунту серійними ЗТМ є використання на їх робочому обладнанні механічних інтенсифікаторів робочого процесу. Тому розробка конструкцій ефективних механічних інтенсифікаторів відвальних робочих органів для збільшення відстані бічного транспортування ґрунту та їх теоретичне дослідження є актуальним науково-дослідним завданням в галузі технічних наук. **Мета статті.** Розробка конструкції механічного інтенсифікатора відвального робочого органа для бічного транспортування ґрунту та його теоретичне дослідження для створення математичних моделей по визначенню геометричних та кінематичних параметрів. **Висновок.** Запропонована конструкція механічного інтенсифікатора відвального робочого органа для бічного транспортування ґрунту за рахунок його метання у вигляді дискретно розташованих по гвинтовій лінії навколо привідного вала похилих різальних ножів. Виконані теоретичні дослідження процесу транспортування ґрунту інтенсифікатором дозволили отримати математичні моделі для визначення геометричних параметрів об'єму ґрунту на різальних ножах в залежності від параметрів відвала та інтенсифікатора, глибини копання, а також значення та напрямку абсолютної швидкості порцій ґрунту, відстані метання після розвантаження інтенсифікатора.

*Ключові слова:* відвальний робочий орган, механічний інтенсифікатор, метання ґрунту, математичні моделі, геометричні та кінематичні параметри робочого процесу.

## КОНСТРУКЦИЯ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОГО ИНТЕНСИФИКАТОРА БОКОВОГО ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГРУНТА ДЛЯ ОТВАЛЬНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ЗЕМЛЕРИЙНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ

ХМАРА Л. А.<sup>1</sup>, *д. т. н., проф.*ГОЛУБЧЕНКО А. И.<sup>2\*</sup>, *к. т. н., доц.*

<sup>1</sup> Кафедра строительных и дорожных машин (СДМ), Государственного высшего учебного заведения (ГВУЗ) «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» (ПГАСА), ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина тел. +38 (093) 267-03-86, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302.

<sup>2\*</sup> Кафедра строительных и дорожных машин (СДМ), Государственного высшего учебного заведения (ГВУЗ) «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» (ПГАСА), ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина тел. +38 (050) 514-61-02, e-mail: alexgol@ua.fm, ORCID ID: 0000-0003-2971-1263.

**Аннотация. Постановка проблемы.** Среди разнообразных видов земляных работ особое место занимают работы по строительству протяженных объектов таких, как автомобильные и железные дороги, мелиоративные сооружения, работы по обратной засыпке траншей после укладки или ремонта коммуникаций и трубопроводов, при устройстве оборонительных сооружений, послойной добыче полезных ископаемых. Одной из наиболее распространенных операций на указанных видах строительства является боковое перемещение грунта относительно направления земляного сооружения. Для выполнения данной технологической операции широко используются серийные землеройно-транспортные машины (ЗТМ) в виде бульдозеров, автогрейдеров. Несмотря на такие преимущества бульдозера, как универсальность, простота конструкции и маневренность, использование этих машин для боковой транспортировки грунта имеет недостатки. Работа проводится циклическими движениями, что снижает производительность и увеличивает зону выполнения работ. Оснащение бульдозера косоустановленным отвалом позволяет превратить его в машину непрерывного действия для бокового транспортирования грунта. Однако существенным недостатком такой конструкции рабочего оборудования является невозможность транспортировки грунта на значительное расстояние за его пределы. Аналогичный недостаток присутствует в рабочем оборудовании автогрейдера. Также, данная ЗТМ больше приспособлена для выполнения планировочных работ и ограничена для обратной засыпки. Один из путей с минимальными затратами материальных ресурсов для повышения эффективности боковой транспортировки грунта серийными ЗТМ является использование на их рабочем оборудовании механических интенсификаторов рабочего процесса. Поэтому разработка конструкций эффективных механических интенсификаторов отвальных рабочих органов для увеличения расстояния бокового транспортирования грунта и их теоретическое исследование является актуальной научно-исследовательской задачей в области технических наук. **Цель статьи.** Разработка конструкции механического интенсификатора отвального рабочего органа для боковой транспортировки грунта и его теоретическое исследование для создания математических моделей по определению геометрических и кинематических параметров. **Вывод.** Предложенная конструкция механического интенсификатора отвального рабочего органа для боковой транспортировки грунта за счет его метания в виде дискретно расположенных по винтовым линиям вокруг приводного вала наклонных режущих ножей. Выполненные теоретические исследования процесса транспортировки грунта интенсификатором позволили получить математические модели для определения геометрических параметров объема грунта на режущих ножах в зависимости от параметров отвала и интенсификатора, глубины копания, а также значения и направления абсолютной скорости порций грунта, расстояния метания после разгрузки интенсификатора.

*Ключевые слова:* отвальный рабочий орган, механический интенсификатор, метание грунта, математические модели, геометрические и кинематические параметры рабочего процесса.

## CONSTRUCTION AND THEORETICAL STUDY OF THE INNOVATIVE SURFACE TRANSPORTATION INSPECTION SOIL FOR THE DRAWING WORKING BODY OF THE LAND-TRANSPORT MACHINE

KHMARA L. A. 1, Doctor of Technical Sciences, Professor.  
HOLUBCHENKO A. I. 2\*, Ph. D., Associate Professor.

1 Department of Building and Traveling of machines (BTM), State Higher Educational Establishment (SHEE) "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", st. Chernyshevsky, 24-A, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (093) 267-03-86, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302.

2\* Department of Building and Traveling of machines (BTM), State Higher Educational Establishment (SHEE) "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", st. Chernyshevsky, 24-A, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (050) 514-61-02, e-mail: alexgol@ua.fm, ORCID ID: 0000-0003-2971-1263.

**Summary. Raising of problem.** Among the various types of excavation, a special place is occupied by the construction of long objects such as roads and railways, land reclamation facilities, work on backfilling trenches after laying or repairing communications and pipelines, in the construction of defensive structures, layer mining of minerals. One of the most common operations on these types of construction is the lateral movement of the ground relative to the direction of the earthworks. To carry out this technological operation, serial earth-moving vehicles (ZTM) are widely used in the form of bulldozers, motor graders. Despite such advantages of the bulldozer as versatility, simplicity of design and maneuverability, the use of these machines for lateral transportation of soil has disadvantages. The work is carried out by cyclic movements, which reduces productivity and increases the work area. Equipping the bulldozer with a skewed blade allows it to be turned into a continuous machine for lateral soil transport. However, a significant drawback of this design of the working equipment is the impossibility of transporting the soil for a considerable distance beyond its limits. A similar drawback is present in the working equipment of the motor grader. Also, this ZTM is more suitable for planning work and is limited for backfilling. One of the ways with minimal costs of material resources to improve the efficiency of lateral transportation of the soil by serial ZTM is the use of mechanical intensifiers of the working process on their working equipment. Therefore, the development of designs for effective mechanical intensifiers of dump working tools to increase the distance of lateral

transportation of soil and their theoretical investigation is an actual research task in the field of engineering. Purpose of the article. Development of a mechanical intensifier design for a dump body for lateral soil transport and its theoretical study to create mathematical models for determining geometric and kinematic parameters. Conclusion. The proposed design of the mechanical intensifier of the dumping body for lateral soil transportation due to its throwing in the form of inclined cutting knives discretely located along the helical lines around the drive shaft. The theoretical researches of the soil transportation process by the intensifier made it possible to obtain mathematical models for determining the geometric parameters of the soil volume on the cutting knives, depending on the parameters of the blade and the intensifier, the depth of digging, and the values and directions of the absolute speed of the portions of the soil, the throwing distance after unloading the intensifier.

*Key words:* dump body, mechanical intensifier, ground throwing, mathematical models, geometric and kinematic parameters of the working process.

**Постановка проблеми.** Для бічного транспортування ґрунту при виконанні земляних робіт використовуються ЗТМ з косовстановленим відвалом, грейдер-елеватори, струг-метальники. Недоліками цих машин є обмеження відстані транспортування ґрунту, вузька спеціалізація та неможливість універсального використання, значна матеріалоємність та енергоємність робочого процесу. Тому, для підвищення ефективності виконання вказаних видів земляних робіт доцільно облаштовувати серійні та найбільш поширені конструкції ЗТМ, наприклад, бульдозери з прямим відвалом, інтенсифікаторами робочого процесу по копанню ґрунту та його бічному переміщенню.

**Аналіз публікацій.** Сучасні пропозиції технічних рішень інтенсифікаторів використовують різні фізичні ефекти, такі як коливання високої частоти, ультразвук, вибух, удар, змачення поверхні тертя ґрунту стисненим повітрям [1-5]. Але через складнощі їх конструктивної реалізації, виникнення додаткових динамічних навантажень на робоче обладнання вони не отримали широкого впровадження. Наразі більш ефективно застосування на ЗТМ механічних інтенсифікаторів переважно у вигляді додаткових транспортувальних пристроїв. Серед них особливу увагу заслуговують метальники як найменш матеріалоємні і транспортування здійснюють за рахунок вільного вільного переміщення ґрунту у просторі. Найбільшого використання в якості інтенсифікаторів отримали метальники з різальними лопатями, наприклад, для завантаження ковшових ЗТМ [6-10]. З аналізу публікацій встановлена відсутність ефективних конструкцій металевих пристроїв для відвальних робочих органів, що здійснюють інтенсифікацію бічного транспортування ґрунту. **Виклад основного матеріалу.** Запропонована конструкція відвального робочого органа з інноваційним механічним інтенсифікатором бічного транспортування ґрунту (рис. 1, 2) має відвал 1 з різальним ножом 2 та циліндричною відвальною поверхнею 3, штовхальні бруси 4, різально-метальний інтенсифікатор, який за допомогою підшипникових опор 5 та кронштейнів 6 закріплений до бічних стінок 7 відвала 1. Різально-метальний інтенсифікатор складається з центральної труби 8, на якій по гвинтовим лініям встановлені лопаті 9 з похилими до них різальними ножами 10.

Привід інтенсифікатора складається з редуктора 11 та гідродвигуна 12. Зовнішній радіус інтенсифікатора дорівнює радіусу відвальної поверхні 3. У напрямі гвинтових ліній лопаті 9 разом з ножами 10 встановлені з перекриттям на відстань а.

Під час роботи ґрунт, що зрізається ножом 2 відвала 1 захоплюється різальними ножами 10 інтенсифікатора і транспортується вздовж відвальної поверхні 3. Так як ножі 10 встановлені похило до лопатей 9 і обертаються, ґрунт отримує радіальну швидкість за рахунок обертання інтенсифікатора, а також осьову швидкість від переміщення по похилій поверхні різальних ножів 10. Таким чином, абсолютна швидкість  $V$  ґрунту на різальних ножах 10 складається з суми радіальної швидкості та осьової і її вектор має напрям під кутом до площини нормальної до вісі обертання інтенсифікатора. Після виходу ґрунту із зони контакту з відвальною поверхнею відбувається його відрив від різальних ножів 10 та метання під кутом до напрямку поступового переміщення відвала за допомогою базової машини (рис. 3). Ширина полоси ґрунта, що утворюється після бічного транспортування дорівнює ширині різання ґрунту ножом 2 відвала 1.

Розрахункова схема визначення геометричних параметрів одиночної лопаті з ножом інтенсифікатора надана на рис. 4. В якості вихідних даних до розрахунку параметрів приймаємо ширину різального ножа  $b$ , радіус інтенсифікатора  $R$ , кут нахилу різальної кромки ножів  $\alpha_H$  до утворюючої зовнішньої циліндричної поверхні інтенсифікатора, радіуси  $R_1$  та  $R_2$  лопатей різального ножа.

Із розрахункової схеми можна отримати наступні співвідношення:

$$dd_1 = R \sin \left[ \alpha_0 - \arcsin \frac{R_1 \sin \alpha_0}{R} \right]; \quad (1)$$

$$c_2 c_3 = R \sin \left[ \alpha_0 - \arcsin \frac{R_2 \sin \alpha_0}{R} - 2 \arcsin \frac{0.5btg\alpha_H}{R} \right]; \quad (2)$$

$$dd_1 = c_2 c_3. \quad (3)$$

Після підстановки виразів (1), (2) в (3) отримаємо трансцендентне рівняння для визначення осьового кута  $\alpha_0$

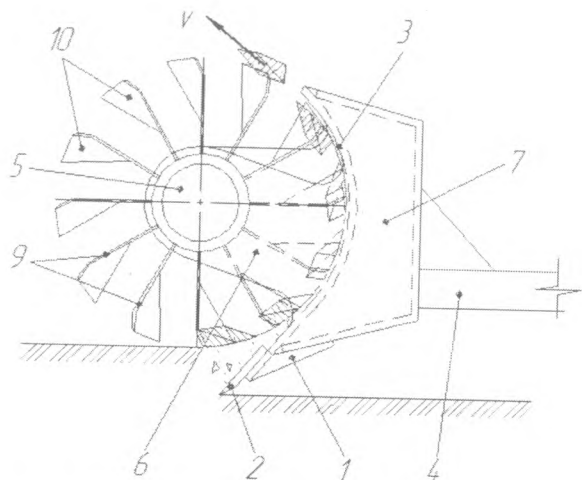


Рис.1. Відвальний робочий орган з інтенсифікатором бічного транспортування ґрунту, вид збоку.

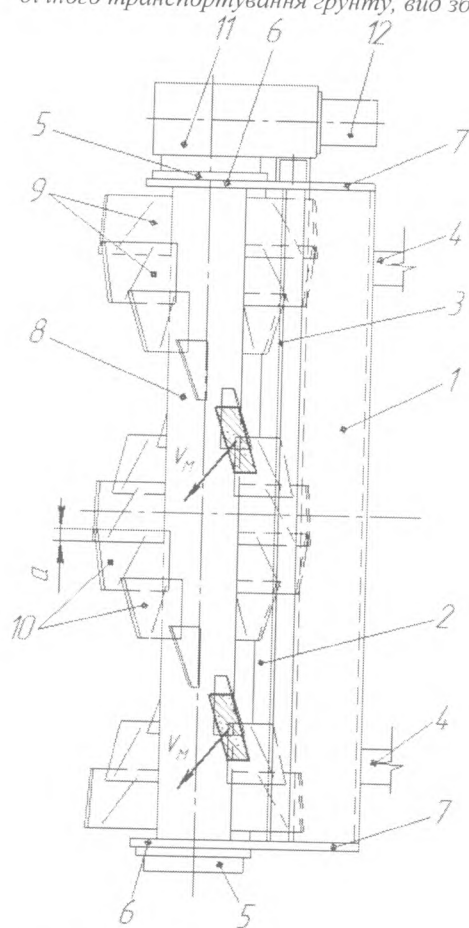


Рис.2. Відвальний робочий орган з інтенсифікатором бічного транспортування ґрунту, вид зверху.

$$F(\alpha_0) = 2 \arcsin \frac{0.5btg\alpha_n}{R} - \arcsin \frac{R_1 \sin \alpha_0}{R} + \arcsin \frac{R_2 \sin \alpha_0}{R}, \quad (4)$$

З трикутників  $acc_1$ ,  $aa_1c_1$  визначається кут  $\alpha_{лн}$  площинами лопаті та ножа

$$\alpha_{лн} = \arctg \frac{tg\alpha_0}{\sin[\arctg b/(R_1 - R_2)]}$$

Кути  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  дорівнюють

$$\alpha_1 = \alpha_0 - \arcsin \frac{R_{cp} \sin \alpha_0}{R};$$

$$\alpha_2 = \arcsin \frac{R_{cp} \sin \alpha_0}{R},$$

де  $R_{cp} = 0.5(R_1 + R_2)$ .

Розглянемо об'єм ґрунту на похилому різальному ножі при його транспортуванні відносно відвальної поверхні та складемо план швидкості руху його центра ваги (рис. 5).

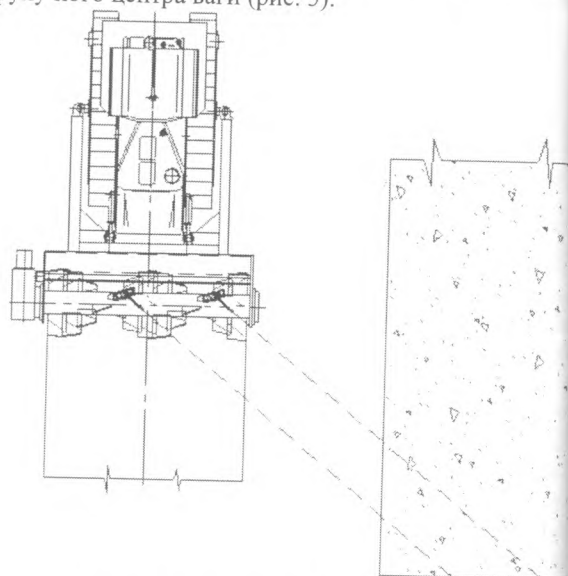


Рис.3. Схема робочого процесу бічного транспортування ґрунту

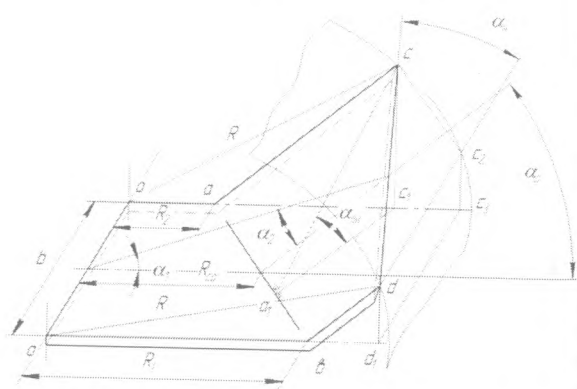


Рис.4. Розрахункова схема визначення геометричних параметрів лопаті з різальним ножем

Вектор абсолютної швидкості дорівнює

$$\vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{V}_B, \quad (8)$$

де  $\vec{V}_0$  – вектор колової швидкості центра ваги в площині нормальній до осі обертання

інтенсифікатора;  $\vec{V}_b$  – вектор швидкості руху центра ваги вздовж різального ножа.

Швидкість  $V_0 = \omega_0 R_c$ , де  $\omega_0$  – кутова швидкість обертання інтенсифікатора;  $R_c$  – радіус центра ваги маси ґрунту на ножі, у першому наближенні можна прийняти  $R_c \approx R$ .

На підставі плану швидкостей величина абсолютної швидкості  $V$  ґрунта

$$V = \frac{\omega_0 R_c \sin \alpha_H}{\sin(\gamma + \alpha_H)}, \quad (9)$$

де  $\gamma$  – кут нахилу вектора абсолютної швидкості центра ваги до площини нормальної до осі обертання інтенсифікатора.

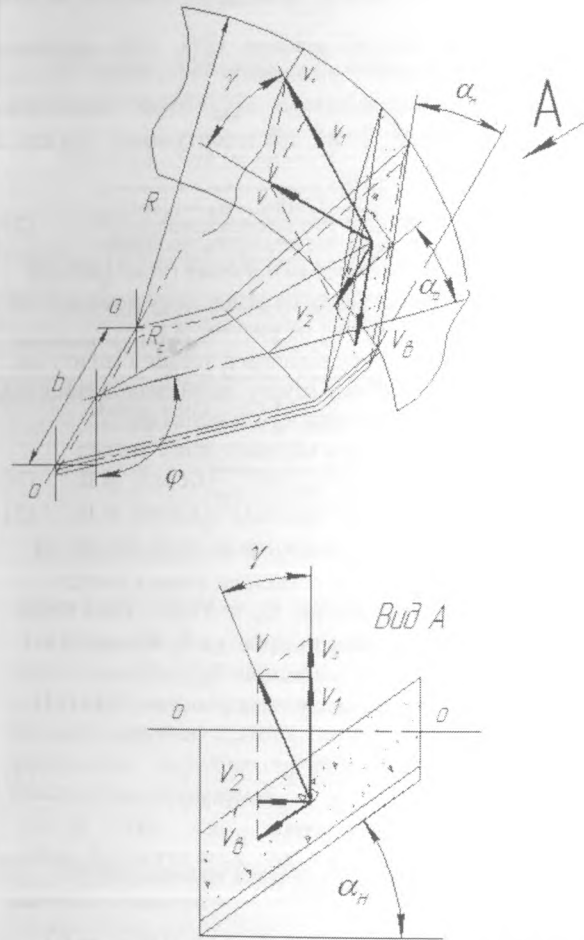


Рис. 5. План швидкостей руху центра ваги об'єму ґрунту на різальному ножі при транспортуванні вздовж відвальної поверхні

Вертикальна проекція абсолютної швидкості

$$V_1 = V \cos \gamma = \frac{\omega_0 R_c \sin \alpha_H \cos \gamma}{\sin(\alpha_H + \gamma)}, \quad (10)$$

Складову  $V_1$  абсолютної швидкості  $V$  можна надати у вигляді добутка абсолютної кутової швидкості  $\omega$  на  $R_c$

$$V_1 = \omega R_c. \quad (11)$$

Враховуючи формулу (10)

$$\omega = \frac{\omega_0 \sin \alpha_H \cos \gamma}{\sin(\alpha_H + \gamma)}. \quad (12)$$

Рівняння рівноваги маси ґрунту на різальному ножі в координатних осях  $x, y, z$  мають наступний вигляд (рис. 6 - 7)

$$\sum F_x = 0; G \cos \beta \sin \alpha_H + F_{\text{Тр.В}} \cos \alpha_2 \sin(\alpha_H - \gamma) + F_{\text{ВЦ}} \sin \alpha_2 \sin \alpha_H - N_B \sin \alpha_2 \sin \alpha_H - F_{\text{Тр.Н}} = 0; \quad (13)$$

$$\sum F_y = 0; F_{\text{ВЦ}} \cos \alpha_2 - F_{\text{Тр.В}} \sin \alpha_2 - G \sin \beta - N_B \cos \alpha_2 = 0; \quad (14)$$

$$\sum F_z = 0; N_H + N_B \sin \alpha_2 \cos \alpha_H - F_{\text{ВЦ}} \sin \alpha_2 \cos \alpha_H - G \cos \beta \cos \alpha_H - F_{\text{Тр.В}} \cos \alpha_2 \cos(\alpha_H - \gamma) = 0, \quad (15)$$

де  $G$  – вага ґрунту;  $F_{\text{ВЦ}}$  – відцентрова сила, що діє на ґрунт масою  $m$ ;  $F_{\text{Тр.В}}$  – сила тертя, яка діє між ґрунтом на ножі та відвальною поверхнею,  $F_{\text{Тр.В}} = N_B \text{tg} \delta$ ;  $F_{\text{Тр.Н}}$  – сила тертя між ґрунтом і похилою поверхнею різального ножа,  $F_{\text{Тр.Н}} = N_H \text{tg} \delta$ ;  $N_B$  – реакція на ґрунт з боку відвальної поверхні;  $N_H$  – реакція на ґрунт з боку різального ножа;  $\delta$  – кут зовнішнього тертя ґрунту.

Кут  $\beta$  дорівнює

$$\beta = (\varphi + \alpha_0) - 0,5\pi, \quad (16)$$

де  $\varphi$  – плинний кут положення лопаті з різальним ножем відносно вертикальної осі.

З рівняння (14) реакція  $N_B$  визначається наступною формулою

$$N_B = F_{\text{ВЦ}} \frac{\cos \alpha_2 \cos \delta}{\cos(\delta - \alpha_2)} - G \frac{\sin \beta \cos \delta}{\cos(\delta - \alpha_2)}, \quad (17)$$

а з рівняння (15) реакція  $N_H$  дорівнює

$$N_H = F_{\text{ВЦ}} \left[ \sin \alpha_2 \cos \alpha_H + \frac{\sin \delta \cos^2 \alpha_2 \cos(\alpha_H - \gamma)}{\cos(\delta - \alpha_2)} - \frac{\cos \delta \sin \alpha_2 \cos \alpha_2 \cos \alpha_H}{\cos(\delta - \alpha_2)} \right] - G \left[ \cos \beta \cos \alpha_H + \frac{\sin \beta \sin \delta \cos \beta \cos(\alpha_H - \gamma)}{\cos(\delta - \alpha_2)} - \frac{\sin \beta \cos \delta \sin \alpha_2 \cos \alpha_H}{\cos(\delta - \alpha_2)} \right]. \quad (18)$$

Рівняння (13) можна надати в наступному вигляді

$$G \cos \beta \sin \alpha_H + F_{\text{ВЦ}} \sin \alpha_2 \sin \alpha_H + N_B [\text{tg} \delta \cos \alpha_2 \sin(\alpha_H - \gamma) - \sin \alpha_2 \sin \alpha_H] - N_H \text{tg} \delta = 0, \quad (19)$$

Після підстановки значень  $N_B$  та  $N_H$  за формулами (17) та (18) у рівняння (19) і відповідних перетворень з урахуванням того, що  $F_{\text{ВЦ}} = m \omega^2 R_c$ ,  $G = mg$  отримаємо наступне рівняння

$$\frac{\omega^2 R_c}{g} [a_1 + a_3 \sin(\alpha_H - \gamma) + a_4 \cos(\alpha_H - \gamma)] - [a_4 \sin(\alpha_H - \gamma) + a_6 \cos(\alpha_H - \gamma) - a_2] = 0, \quad (20)$$

$$\text{де } a_1 = \frac{\sin^2 \alpha_2 \text{tg} \delta \sin(\alpha_H - \delta)}{\cos(\delta - \alpha_2)}, \quad (21)$$

$$a_2 = \sin(\alpha_H - \delta) \left[ \frac{\cos \beta}{\cos \delta} + \frac{\sin \beta \sin \alpha_2}{\cos(\delta - \alpha_2)} \right]; \quad (22)$$

$$a_3 = \frac{\cos^2 \alpha_2 \sin \delta}{\cos(\delta - \alpha_2)}; \quad (23)$$

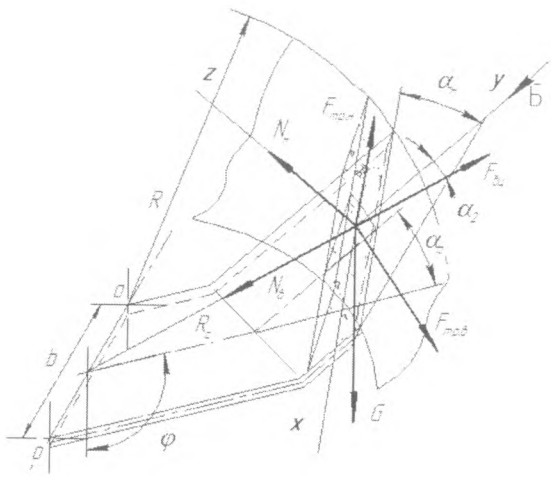


Рис.6. Просторова схема сил, що діють на об'єм ґрунту на різальному ножі при транспортуванні відносно відвальної поверхні

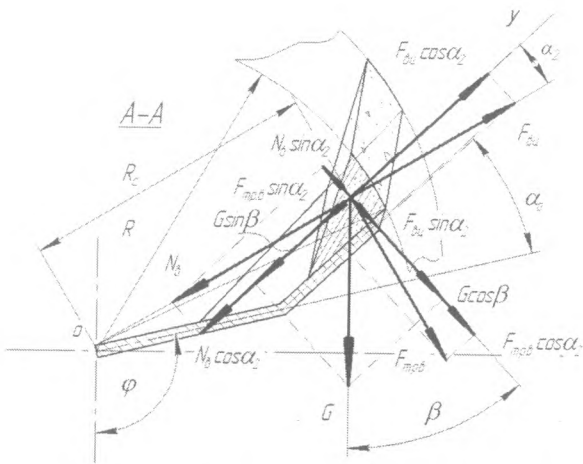
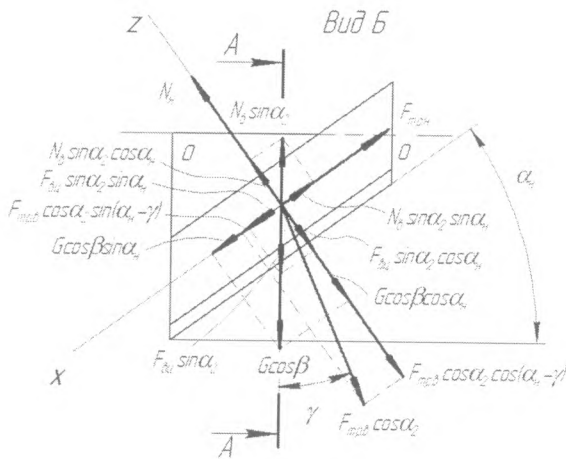


Рис.7. Складові сил, що діють на об'єм ґрунту на різальному ножі при транспортуванні відносно відвальної поверхні

$$a_4 = \frac{\cos^2 \alpha_2 \sin^2 \delta}{\cos \delta \cos(\delta - \alpha_2)} \quad (24)$$

$$a_5 = \frac{\sin \beta \sin \delta \cos \alpha_2}{\cos(\delta - \alpha_2)} \quad (25)$$

$$a_6 = \frac{\sin \beta \sin^2 \delta \cos \alpha_2}{\cos \delta \cos(\delta - \alpha_2)} \quad (26)$$

Таким чином, рівняння (12) та (20) утворюють систему рівнянь для визначення абсолютної кутової швидкості  $\omega$  ґрунту на різальних ножах та кута відхилення вектора абсолютної лінійної швидкості

$$\left\{ \begin{aligned} \omega &= \frac{\omega_0 \sin \alpha_H \cos \gamma}{\sin(\alpha_H + \gamma)}; \end{aligned} \right. \quad (27)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \omega^2 R_c [a_1 + a_3 \sin(\alpha_H - \gamma) + a_4 \cos(\alpha_H - \gamma)] + \\ + g [a_2 - a_5 \sin(\alpha_H - \gamma) + a_6 \cos(\alpha_H - \gamma)] = 0. \end{aligned} \right. \quad (28)$$

Якщо в системі рівнянь (27), (28) прийняти  $\gamma = 0$ , то можна визначити притичну кутову швидкість інтенсифікатора  $\omega_{окр}$  після досягнення якої починається бічне транспортування ґрунту в режимі метання

$$\omega_{окр} = \sqrt{\frac{g (a_5 \sin \alpha_H - a_2 - a_6 \cos \alpha_H)}{R_c (a_1 + a_3 \sin \alpha_H - a_4 \cos \alpha_H)}} \quad (29)$$

Розрахункова схема визначення геометричних параметрів об'єму ґрунту на різальному ножі під час транспортування надана на рисунку 8.

Розглянемо умову рівноваги частини ґрунту на вільній поверхні об'єму ґрунту, який знаходиться від вісі обертання на відстані  $R_i$  під кутом  $\phi_i$ .

Рівняння рівноваги має наступний вигляд

$$\sum F_x = 0; F_{TP} - F_{BC} \cos \lambda_1 - G \cos \theta_i = 0; \quad (30)$$

$$\sum F_y = 0; N - F_{BC} \sin \lambda_1 - G \sin \theta_i = 0, \quad (31)$$

де  $F_{BC} = m \omega^2 R_i$  – відцентрова сила, яка діє на частинку ґрунту;

$G = mg$  – вага частки;  $F_{TP} = Ntg\rho$  – сила тертя частки по вільній поверхні ґрунту;  $\lambda_1, \theta_i$  – кути які визначають положення векторів  $F_{BC}$  та  $G$ .

Після перетворення системи рівнянь (30) і (31) отримаємо рівність

$$\frac{\omega^2 R_c}{g} = \frac{\cos(\theta_i + \rho)}{\cos(\lambda_i - \rho)} \quad (32)$$

З урахуванням того, що кут  $\theta_i = \pi - (\varphi + \alpha_0 - \lambda_r + \phi_i + \lambda_i)$ , де  $\lambda_r = \arcsin(R_{cp} \sin \alpha_0 / R_r)$ , рівність (31) має вигляд

$$\frac{\omega^2 R_i}{g} = \sin(\varphi + \alpha_0 - \lambda_r + \phi_i) \operatorname{tg}(\lambda_i - \rho) - \cos(\varphi + \alpha_0 - \lambda_r + \phi_i). \quad (33)$$

При  $R_i = R_r, \phi_i = 0$  та  $\lambda_i = \lambda_1$  рівняння (33) має вигляд

$$\frac{\omega^2 R_r}{g} = \sin(\varphi + \alpha_0 - \lambda_r) \operatorname{tg}(\lambda_1 - \rho) - \cos(\varphi + \alpha_0 - \lambda_r). \quad (34)$$

Звідки кут  $\lambda_1$  дорівнює

$$\lambda_1 = \arctg \left[ \frac{\omega^2 R_r}{g \sin(\varphi + \alpha_0 - \lambda_r)} + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha_0 + \lambda_r) \right] + \rho. \quad (35)$$

При  $R_i = R$ ,  $\varphi_i = \varphi_r$  та  $\lambda_i = \lambda_2$  рівняння (33) має наступний вигляд

$$\frac{\omega^2 R}{g} = \sin(\varphi + \alpha_0 - \lambda_r + \varphi_r) \operatorname{tg}(\lambda_2 - \rho) - \cos(\varphi + \alpha_0 - \lambda_r + \varphi_r). \quad (36)$$

Звідки кут  $\lambda_2$  дорівнює

$$\lambda_2 = \arctg \left[ \frac{\omega^2 R}{g \sin(\varphi + \alpha_0 - \lambda_r + \varphi_r)} + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha_0 - \lambda_r + \varphi_r) \right] + \rho. \quad (37)$$

Кутовий параметр  $\varphi_r$  через кути  $\lambda_1$  та  $\lambda_2$  визначається рівністю

$$\varphi_r = \lambda_1 - \lambda_2. \quad (38)$$

Відстані  $ab$  та  $bc$  визначаються залежностями

$$ab = \frac{R \sin \varphi_r}{\sin \lambda_1}; \quad (39)$$

$$bc = \sqrt{R^2 - R_{cp}^2 \sin^2 \alpha_0} - \sqrt{R_r^2 - R_{cp}^2 \sin^2 \alpha_0}. \quad (40)$$

Площа поперечного перерізу об'єму ґрунту на різальному ножі

$$F = 0.5 ab bc \sin(\lambda_1 - \lambda_r) = \frac{R \sin \varphi_r \sin(\lambda_1 - \lambda_r)}{2 \sin \lambda_1} \left( \sqrt{R^2 - R_{cp}^2 \sin^2 \alpha_0} - \sqrt{R_r^2 - R_{cp}^2 \sin^2 \alpha_0} \right). \quad (41)$$

Об'єм ґрунту на ножі

$$q = bF. \quad (42)$$

З іншого боку об'єм ґрунту  $q$  можна виразити через кількість різальних ножів у радіальній площині  $z$ , кутову швидкість обертання  $\omega_0$  (с<sup>-1</sup>), швидкість базової машини  $V_M$  (м/с), глибину копання ґрунту відвальним робочим органом  $h$  (м) та коефіцієнт розпушування ґрунту  $K_p$

$$q = bhV_M K_p \frac{2\pi}{z\omega_0}. \quad (43)$$

З урахуванням виразів (41), (42), (43) отримаємо наступну рівність

$$\frac{hV_M K_p \frac{2\pi}{z\omega_0}}{2 \sin \lambda_1} \left( \sqrt{R^2 - R_{cp}^2 \sin^2 \alpha_0} - \sqrt{R_r^2 - R_{cp}^2 \sin^2 \alpha_0} \right) = \frac{R \sin \varphi_r \sin(\lambda_1 - \lambda_r)}{2 \sin \lambda_1} \left( \sqrt{R^2 - R_{cp}^2 \sin^2 \alpha_0} - \sqrt{R_r^2 - R_{cp}^2 \sin^2 \alpha_0} \right). \quad (44)$$

Для трикутника  $oab$  (рис. 8) справедливі наступні рівності

$$ab^2 = R^2 + R_r^2 - 2RR_r \cos \varphi_r; \quad (45)$$

$$ab = R \sin \varphi_r / \sin \lambda_1. \quad (46)$$

З (46) та (47) отримаємо наступне рівняння

$$R^2 (\cos^2 \varphi_r - \cos^2 \lambda_1) + R_r \sin^2 \lambda_1 (R_r - 2R \cos \varphi_r) = 0. \quad (47)$$

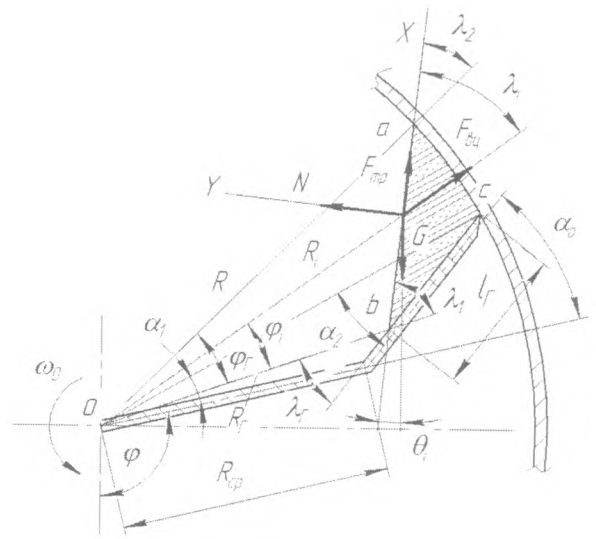


Рис.8. Розрахункова схема визначення геометричних параметрів об'єму ґрунту на різальному ножі

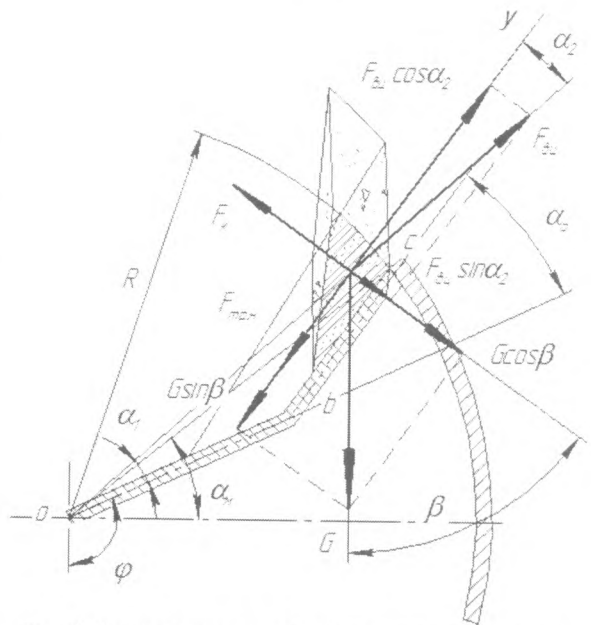


Рис.9. Розрахункова схема дії сил на порцію ґрунту при розвантаженні інтенсифікатора у радіальному напрямі

Таким чином рівності (35), (37), (44) та (47) утворюють систему рівнянь для розрахунку геометричних параметрів об'єму ґрунту на різальному ножі, а саме  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\varphi_r$ ,  $R_r$

$$\lambda_1 = \arctg \left[ \frac{\omega^2 R_r}{g \sin(\varphi + \alpha_0 - \lambda_r)} + ctg(\varphi + \alpha_0 - \lambda_r) \right] + \rho; \quad (48)$$

$$\lambda_2 = \arctg \left[ \frac{\omega^2 R_r}{g \sin(\varphi + \alpha_0 - \lambda_r + \varphi_r)} + ctg(\varphi + \alpha_0 - \lambda_r + \varphi_r) \right] + \rho; \quad (49)$$

$$R^2(\cos^2 \varphi_r - \cos^2 \lambda_1) + R_r \sin^2 \lambda_1 (R_r - 2R \cos \varphi_r) = 0; \quad (50)$$

$$hV_M K_p \frac{2\pi}{z\omega_0} = \frac{R \sin \varphi_r \sin(\lambda_1 - \lambda_r)}{2 \sin \lambda_1} \left( \sqrt{R^2 - R_{cp}^2 \sin^2 \alpha_0} - \sqrt{R_r^2 - R_{cp}^2 \sin^2 \alpha_0} \right). \quad (51)$$

Розв'язання системи рівнянь доцільно виконувати у наступній послідовності. По-перше, з рівняння (50) знайти значення кута  $\varphi_r = f(\lambda_1, R_r)$ , яке дорівнює

$$\varphi_r = \arccos \left[ \left( \frac{R_r^2 \sin^2 \lambda_1 + \cos \lambda_1}{\sqrt{R^2 - R_r^2 \sin^2 \lambda_1}} \right) / R \right], \quad (52)$$

Далі підстановкою значень  $\lambda_1 = f(R_r)$  з (48)  $\varphi_r = f[\lambda_1 = f(R_r), R_r]$  в рівність (51) отримаємо трансцендентне рівняння, розв'язання якого чисельним методом дає змогу отримати значення радіуса  $R_r$

$$F(R_r) = hV_M K_p \frac{2\pi}{z\omega_0} - \frac{R \sin \varphi_r \sin(\lambda_1 - \lambda_r)}{2 \sin \lambda_1} \left( \sqrt{R^2 - R_{cp}^2 \sin^2 \alpha_0} - \sqrt{R_r^2 - R_{cp}^2 \sin^2 \alpha_0} \right). \quad (53)$$

Після виходу об'єму ґрунту, що знаходиться на різальному ножі із взаємодії з відвальним робочим органом починається його рух вздовж ножа у радіальному напрямі під дією відцентрових сил  $F_{вц}$  (рис. 9). Після повороту різального ножа на кут розвантаження  $\alpha_p$  об'єм ґрунту повністю сходить з поверхні ножа (рис. 10). Вектора абсолютних швидкостей  $V_p$  та  $V_{p1}$  кінцевих точок с та b поперечного перерізу ґрунту у площині нормальній до вісі обертання інтенсифікатора складаються з векторів колових швидкостей  $V_k$  та  $V_{k1}$  перпендикулярних до відповідних радіусів  $R_0$  та  $R$  і вектора швидкості  $V_H$  ґрунту вздовж ножа.

Рівняння руху маси  $m$  ґрунту вздовж ножа у напрямі у (рис. 9) має вигляд

$$m\dot{y} = F_{вц} \cos \alpha_2 - F_{тр.н} - G \sin \beta, \quad (54)$$

де  $F_{тр.н} = N_H \operatorname{tg} \delta$ ,  $F_{вц} = m\omega_0^2 R$ ,  $G = mg$ .

Кут  $\beta$  перед початком метання дорівнює  $\beta = \alpha_m + \alpha_r$ .

Реакція  $N_H$  з боку різального ножа визначається умови рівноваги маси ґрунту вздовж осі  $z$  (рис. 7) при відсутності взаємодії з відвальною поверхнею і тоді  $F_{тр.в} = 0$ ;  $N_B = 0$ , а також наявності сили Кориоліса  $F_K = 2m\omega\dot{y}$ .

$$N_H = m\omega_0^2 R_c \sin \alpha_2 \cos \alpha_H + mg \cos \beta \cos \alpha_H - 2m\omega\dot{y} \cos \alpha_H. \quad (55)$$

Після перетворень маємо

$$\ddot{y} = \omega_0^2 R_c (\cos \alpha_2 - \sin \alpha_2 \cos \alpha_H \operatorname{tg} \delta) - g(\sin \beta + \cos \beta \cos \alpha_H \operatorname{tg} \delta) + 2\omega\dot{y} \cos \alpha_H \operatorname{tg} \delta. \quad (56)$$

Для спрощення введено наступні позначення

$$q_1 = 2\omega \cos \alpha_H \operatorname{tg} \delta; \quad (57)$$

$$q_2 = \omega_0^2 R_c (\cos \alpha_2 - \sin \alpha_2 \cos \alpha_H \operatorname{tg} \delta) - g(\sin \beta + \cos \beta \cos \alpha_H \operatorname{tg} \delta) \quad (58)$$

тоді рівняння (56) має вигляд

$$\ddot{y} = q_1 \dot{y} + q_2.$$

Нехай  $\dot{y} = p$ , тоді  $\ddot{y} = \dot{p}$  і відповідно отримаємо

$$\frac{dp}{q_1 p + q_2} = dt. \quad (60)$$

Вираз (60) уявляє диференціальне рівняння і розділними змінними. Після інтегрування отримаємо

$$\frac{\ln(q_1 p + q_2)}{q_1} = t + C_1 \quad (61)$$

При початкових умовах  $\dot{y} = p = 0$ ,  $t = 0$

$$C_1 = \frac{\ln q_2}{q_1}.$$

З урахуванням того, що  $p = dy/dt$ , підстановки значення  $C_1$  в (61) та перетворень маємо

$$dy = \frac{q_2}{q_1} (e^{q_1 t} - 1) dt. \quad (62)$$

Далі при інтегруванні отримаємо закон переміщення маси ґрунту по різальному ножу у радіальному напрямі

$$y = \frac{q_2}{q_1} \left( \frac{1}{q_1} e^{q_1 t} - t \right) t + C_2. \quad (63)$$

При початкових умовах  $y = 0$ ;  $t = 0$ ,  $C_2 = -q_2/q_1^2$  і тоді остаточно отримаємо

$$y = \frac{q_2}{q_1^2} (e^{q_1 t} - q_1 t - 1). \quad (64)$$

За час розвантаження  $t_p$  ґрунт переміщується по різальному ножу на відстань  $l_r = bc$ , яка дорівнює

$$l_r = \sqrt{R^2 + R_r^2 - 2RR_r \cos(\alpha_1 - \alpha_0 + \lambda_r)}. \quad (65)$$

При підстановці  $y = l_r$ ,  $t = t_p$  у (64) отримаємо рівняння для визначення часу розвантаження

$$F(t_p) = l_r - \frac{q_2}{q_1^2} (e^{q_1 t_p} - q_1 t_p - 1) \quad (66)$$

Швидкість ґрунту вздовж ножа в кінці процесу розвантаження

$$V_H = \frac{q_2}{q_1} (e^{q_1 t_p} - 1). \quad (67)$$

Кут розвантаження інтенсифікатора  $\alpha_p = \omega_0 t_p$ .

Колові швидкості відповідно дорівнюють

$$V_K = \omega R_0; \quad (68)$$



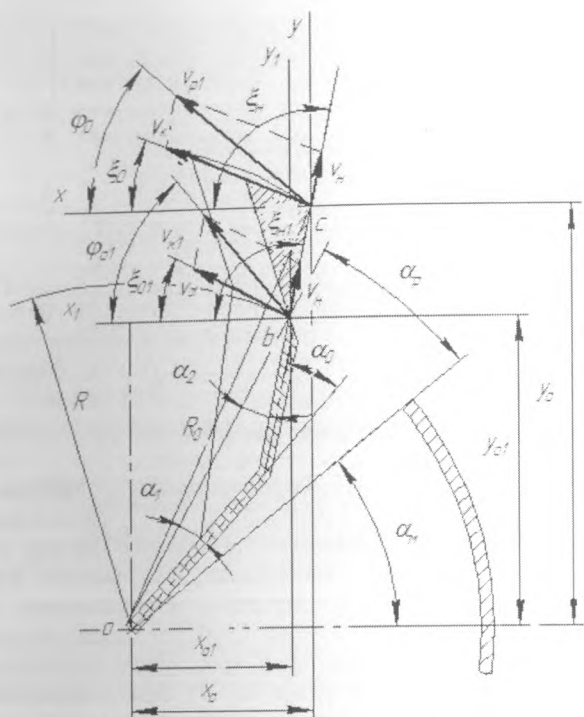


Рис.10. Розрахункова схема визначення кута розвантаження інтенсифікатора

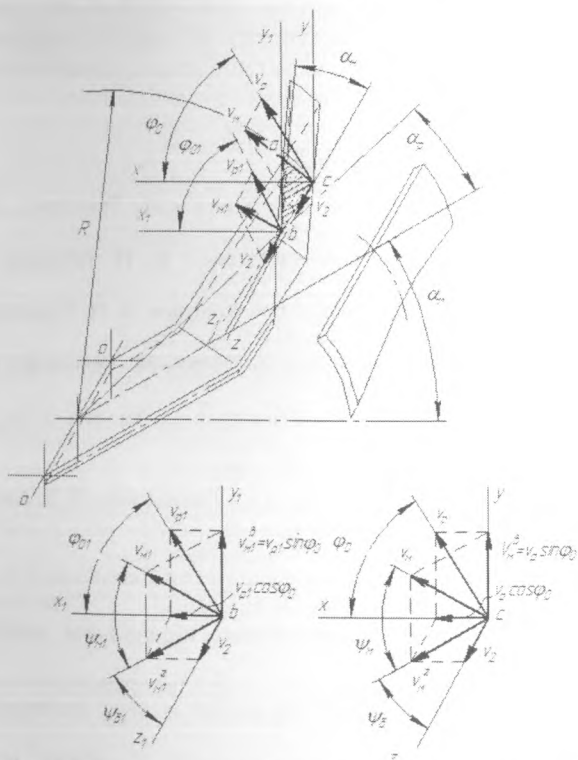


Рис.11. Розрахункова схема визначення абсолютної швидкості бічного транспортування ґрунту

$$V_{K1} = \omega R, \quad (69)$$

де  $R_0 = \sqrt{l_r^2 + R^2 + 2l_r R \cos(\alpha_0 - \alpha_1)}$ .

Кути нахилу векторів  $V_K$  та  $V_{K1}$  визначається наступними формулами

$$\xi_0 = \frac{\pi}{2} - \left[ \alpha_M + \alpha_p + \arcsin \left( \frac{l_r \sin(\alpha_0 - \alpha_1)}{R_0} \right) \right]; \quad (70)$$

$$\xi_{01} = \frac{\pi}{2} - (\alpha_M + \alpha_p). \quad (71)$$

Кути нахилу вектора швидкості  $V_H$

$$\xi_H = \xi_{H1} = \pi - (\alpha_M + \alpha_p + \alpha_2). \quad (72)$$

Значення абсолютних швидкостей  $V_p, V_{p1}$  на початку метання об'єму ґрунту дорівнюють

$$V_p = \sqrt{V_K^2 + V_H^2 + 2V_K V_H \cos(\xi_H - \xi_0)}; \quad (73)$$

$$V_{p1} = \sqrt{V_{K1}^2 + V_H^2 + 2V_{K1} V_H \cos(\xi_H - \xi_{01})}. \quad (74)$$

Кути

$$\varphi_0 = \arcsin \frac{V_K \sin \xi_0 + V_H \sin \xi_H}{V_p}, \quad (75)$$

$$\varphi_{01} = \arcsin \frac{V_{K1} \sin \xi_{01} + V_H \sin \xi_H}{V_{p1}}, \quad (76)$$

Вектори загальних абсолютних швидкостей бічного метання ґрунту в точках c та b відповідно дорівнюють (рис. 11)

$$\overline{V}_M = \overline{V}_p + \overline{V}_2; \quad (77)$$

$$\overline{V}_{M1} = \overline{V}_{p1} + \overline{V}_2, \quad (78)$$

де  $\overline{V}_2$  – вектор осової швидкості ґрунту згідно плану швидкостей на рис. 5.

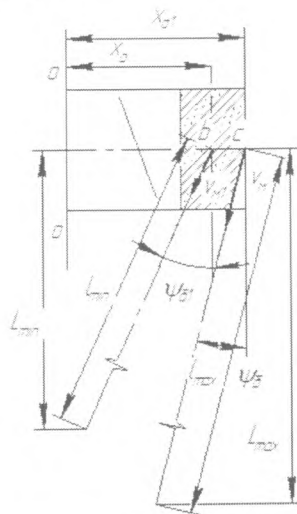


Рис.12. Розрахункова схема визначення відстані бічного транспортування ґрунту одним різальним ножом інтенсифікатора

Величина вертикальних та горизонтальних складових швидкостей  $\overline{V}_M$  та  $\overline{V}_{M1}$  визначаються відповідними формулами

$$V_M^B = V_p \sin \varphi_0; \quad (79)$$

$$V_{M1}^B = V_{p1} \sin \varphi_{01}; \quad (80)$$

$$V_M^\Gamma = \sqrt{V_p^2 \cos^2 \varphi_0 + V_2^2}; \quad (81)$$

$$V_{M1}^\Gamma = \sqrt{V_{p1}^2 \cos^2 \varphi_{01} + V_2^2}. \quad (82)$$

Величини загальних абсолютних швидкостей метання в точках c та b

$$V_M = \sqrt{V_p^2 + V_2^2}; \quad (83)$$

$$V_{M1} = \sqrt{V_{p1}^2 + V_2^2}. \quad (84)$$

Кути бічного метання ґрунту у горизонтальній площині

$$\psi_\delta = \arctg \frac{V_p \cos \varphi_0}{V_2}; \quad (85)$$

$$\psi_{\delta 1} = \arctg \frac{V_{p1} \cos \varphi_{01}}{V_2}. \quad (86)$$

Кути метання ґрунту у вертикальній площині

$$\psi_M = \arctg \frac{V_p \sin \varphi_0}{\sqrt{V_p^2 \cos^2 \varphi_0 + V_2^2}}; \quad (87)$$

$$\psi_{M1} = \arctg \frac{V_{p1} \sin \varphi_{01}}{\sqrt{V_{p1}^2 \cos^2 \varphi_{01} + V_2^2}}; \quad (88)$$

Координати граничних точок початку процесу метання ґрунту різання ножем визначаються наступними формулами

$$X_0 = R_0 \cos(\alpha_M + \alpha_p + \arcsin \frac{l_r \sin \alpha_2}{R_0}); \quad (89)$$

$$Y_0 = R_0 \sin(\alpha_M + \alpha_p + \arcsin \frac{l_r \sin \alpha_2}{R_0}); \quad (90)$$

$$X_{01} = R \cos(\alpha_M + \alpha_p); \quad (91)$$

$$Y_{01} = R \sin(\alpha_M + \alpha_p); \quad (92)$$

Згідно рисунку 12 максимальна  $l_{max}$  та мінімальна  $l_{min}$  відстані метання ґрунту різальним ножем інтенсифікатора з точок  $c$  та  $b$  дорівнює

$$l_{max} = \frac{V_M \cos \psi_M}{g} \left[ \sqrt{\frac{V_M \sin \psi_M + V_M^2 \sin^2 \psi_M + 2g(y_0 + R)}{g}} \right]; \quad (91)$$

$$l_{min} = \frac{V_{M1} \cos \psi_{M1}}{g} \left[ \sqrt{\frac{V_{M1} \sin \psi_{M1} + V_{M1}^2 \sin^2 \psi_{M1} + 2g(y_{01} + R)}{g}} \right]. \quad (94)$$

Максимальна та мінімальна відстані бічного транспортування ґрунту одиночним різальним ножем перпендикулярно напрямку пересування базового трактора

$$L_{max} = l_{max} \cos \psi_\delta; \quad (95)$$

$$L_{min} = l_{min} \cos \psi_{\delta 1}. \quad (96)$$

**Висновок:**

Запропонована ефективна конструкція інноваційного механічного інтенсифікатора відвального робочого органа для бічного транспортування ґрунту, за рахунок його метання у вигляді дискретно розташованих по гвинтовим лініям навколо привідного вала похилих різальних ножів. Виконані теоретичні дослідження процесу транспортування ґрунту інтенсифікатором дозволили отримати математичні моделі для визначення геометричних параметрів об'єму ґрунту на різальних ножах в залежності від параметрів відвала та інтенсифікатора, глибини копання ґрунту а також значення та напрямку абсолютної швидкості порцій ґрунту, відстані метання після розвантаження інтенсифікатора.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара – М.: Транспорт, 1983 с.
2. Дорожно-строительные машины с рабочими органами интенсифицирующего действия / В. И. Баловнев – машиностроение, 1981. – 223с.
3. Модернізація та підвищення продуктивності будівельних машин / Л. А. Хмара, М. П. Колісник, В. П. Станевський Київ: Будівельник, 1992. – 152 с.
4. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара – М.: Транспорт, 1983 с.
5. Машины для земляных работ: Підручник / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, М. П. Скоблюк та ін.; за заг. ред. д.т.н., проф. Л. А. Хмари та д.т.н., проф. С. В. Кравця. – Харків: ХНАДУ, 2014. – 548 с.
6. Роторные метатели грунтов: Обзор. / Кавалеров А.А. – М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1969. – 38с.
7. Розробка робочого обладнання землерійно-транспортної машини безперервної дії / О. І. Голубченко, М. Е. Хожило // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. – Вып. 51. – 2009. – С. 110-113.
8. Кінематичні особливості процесу транспортування ґрунту гвинтовим робочим органом різально-кидального типу землерійно-транспортних машин безперервної дії / О. І. Голубченко, М. Е. Хожило // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. – Вып. 57. – 2010. – С. 36-45.
9. 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. – 2011. – № 6-7. – С. 48 – 55.
10. Голубченко О. І. Конструкції та застосування різально-метальних органів для інтенсифікації робочих процесів землерійно-транспортних машин / О. І. Голубченко // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. – Вып. 66. – 2012. – С. 296-302.

**REFERENCES**

1. Intensifikaciya zemlyanyh работ v dorozhnom stroitel'stve / V. I. Balovnev, L. A. Hmara – М.: Transport, 1983. – 383 s.
2. Dorozhno-stroitel'nye mashiny s rabochimi organami intensiviruyushchego dejstviya / V. I. Balovnev – М.: mashinostroyeniye, 1981. – 223s.

1981. – 223s.

3. Modernizaciya ta pidvishchennya produktivnosti budivel'nih mashin / L. A. Hmara, M. P. Kolisnik, V. P. Stanevs'kij – Kiiv: Budivel'nik, 1992. – 152 s.
4. Intensifikaciya rozrobotki gruntov v dorozhnom stroitel'stve / V. I. Balovnev, L. A. Hmara – M.: Transport, 1993. – 383 s.
5. Mashini dlya zemlyanih robot: Pidruchnik / L. A. Hmara, S. V. Kravec', M. P. Skoblyuk ta in.; za zag. red. d.t.n., prof. L. A. Hmari ta d.t.n., prof. S. V. Kravcya. – Harkiv: HNADU, 2014. – 548 s.
6. Rotornye metatezi gruntov: Obzor. / Kavalerov A.A. – M.: CNIITEHstrojmash, 1969. – 38s.
7. Rozrobka robochogo obladnannya zemlerijno-transportnoi mashini bezperervnoi dii / O. I. Golubchenko, M. E. Hozhilo // Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Pod"emno-transportnye, stroitel'nye i dorozhnye mashiny i oborudovanie. – Vyp. 51. – 2009. – S. 110-113.
8. Kinematichni osoblivosti procesu transportuvannya runtu gvintovim robochim organom rizal'no-kidal'nogo tipu dlya zemlerijno-transportnih mashin bezperervnoi dii / O. I. Golubchenko, M. E. Hozhilo // Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Pod"emno-transportnye, stroitel'nye i dorozhnye mashiny i oborudovanie. – Vyp. 57. – 2010. – S. 36-45.
9. Golubchenko O. I. Oglyad ta propozicii konstrukcij aktivnogo robochogo obladnannya zemlerijno-transportnih mashin bezperervnoi dii / O. I. Golubchenko, M. E. Hozhilo // Visnik Pridniprovs'koï derzhavnoi akademii budivnictva ta arhitekturi. – 2011. – № 6-7. – S. 48 – 55.
10. Golubchenko O. I. Konstrukcii ta zastosuvannya rizal'no-metal'nih organiv dlya intensifikacii robochih procesiv zemlerijno-transportnih mashin / O. I. Golubchenko // Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Pod"emno-transportnye, stroitel'nye i dorozhnye mashiny i oborudovanie. – Vyp. 66. – 2012. – S. 296-302.