

УДК 621.878

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ТА КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ ҐРУНТУ РІЗАЛЬНО-МЕТАЛЬНИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ

ХМАРА Л. А.¹, *д.т.н., проф.*
ГОЛУБЧЕНКО О. І.², *к.т.н., доц.*

¹ Кафедра будівельних і дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 585-26-59, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302.

² Кафедра будівельних і дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», 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. Робочий процес землерійно-транспортних машин передбачає дві послідовні операції, а саме різання ґрунту та його подальше транспортування. В залежності від типу землерійно-транспортної машини процес транспортування здійснюється різними способами, так наприклад, в традиційних конструкціях скреперів переміщення ґрунту із зони різання відбувається за рахунок просування ґрунтової стружки у ківш під дією підпору ґрунту, що створюється тяговим зусиллям базової машини. Для підвищення ефективності цього процесу на ковшових землерійно-транспортних машинах використовують додаткові транспортувальні пристрої у вигляді скребкових елеваторів, гвинтових та шнекових завантажувачів, лопатевих металників, підгребальних пристроїв та інші. Однак їх використання збільшує матеріалоємність машини, знижує загальний ККД за рахунок додаткових витрат енергії на привід транспортувального пристрою, на зайве перемішування та подрібнення ґрунту. У землерійно-транспортних машинах безперервної дії, таких як грейдер-елеватор, струг-металник, зовнішнє транспортування ґрунту із зони різання здійснюється стрічковим конвеєром або лопатевим металником з рухомим кожухом. На деяких конструкціях грейдер-елеваторів між різальним ножом та стрічковим конвеєром встановлено додатковий металний пристрій. Для усунення вказаних недоліків, а саме зменшення матеріалоємності та енергоємності машини у цілому, доцільно об'єднати в одному робочому органі виконання процесів різання та транспортування. Одним із варіантів реалізації цієї ідеї є створення різально-метального робочого органа, що об'єднує виконання процесів різання та транспортування ґрунту. Створення даного обладнання передбачає отримання математичних моделей для визначення його раціональних параметрів. **Мета статті.** Теоретичне дослідження робочого процесу різально-метального робочого органа для створення математичних моделей по визначенню його геометричних та кінематичних параметрів. **Висновок.** Виконані теоретичні дослідження процесу транспортування ґрунту різально-метальним робочим органом дозволили отримати математичні моделі для визначення геометричних параметрів об'єму ґрунту на лопатях в залежності від продуктивності та частоти обертання для визначення напрямку та значення абсолютної швидкості ґрунту при розвантаженні робочого органа, а також визначення кута розвантаження. По заданій відстані транспортування ґрунту отримана математична модель для визначення потрібної частоти обертання різально-метального робочого органа.

Ключові слова: різально-метальний робочий орган, транспортування ґрунту, метання ґрунту, математичні моделі, параметри робочого процесу

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГРУНТА РЕЖУЩЕ-МЕТАТЕЛЬНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

ХМАРА Л. А.¹, *д.т.н., проф.*,
ГОЛУБЧЕНКО О. І.², *к.т.н., доц.*

¹ Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина тел. +38 (067) 585-26-59, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302.

² Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», 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. Рабочий процесс землеройно-транспортных машин предусматривает две

последовательные операции, а именно резание грунта и его дальнейшее транспортирование. В зависимости от типа землеройно-транспортной машины процесс транспортирования осуществляется различными способами, так например, в традиционных конструкциях скреперов перемещение грунта из зоны резания осуществляется за счет продвижения грунтовой стружки в ковш под действием подпора грунта, которое создается тяговым усилием базовой машины. Для повышения эффективности этого процесса на ковшевых землеройно-транспортных машинах используются дополнительные транспортирующие устройства в виде скребковых элеваторов, винтовых и шнековых загрузочных устройств, лопастных метателей, подгребающих устройств и других. Однако их использование увеличивает материалоемкость машины, понижает общий КПД за счет дополнительных затрат энергии на привод транспортирующего устройства, на лишнее перемешивание и дробление грунта. В землеройно-транспортных машинах непрерывного действия, таких как грейдер-элеватор, струг-метатель, внешнее транспортирование грунта из зоны резания осуществляется ленточным конвейером или лопастным метателем с подвижным кожухом. На некоторых конструкциях грейдер-элеваторов между режущим ножом и ленточным конвейером установлено дополнительное метательное устройство. Для ликвидации указанных недостатков, а именно уменьшения материалоемкости и энергоемкости машины в целом, целесообразно объединить в одном рабочем органе выполнение процессов резания и транспортирования. Одним из вариантов реализации этой идеи является создание режуще-метального рабочего органа, который объединяет выполнение процессов резания и транспортирования грунта. Создание данного оборудования предполагает получение математических моделей для определения его рациональных параметров. **Цель статьи.** Теоретическое исследование рабочего процесса режуще-метального рабочего органа для создания математических моделей по определению его геометрических и кинематических параметров. **Вывод.** Выполненные теоретические исследования процесса транспортирования грунта режуще-метальным рабочим органом позволили получить математические модели для определения геометрических параметров объема грунта на лопастях в зависимости от производительности и частоты вращения, для определения направления и значения абсолютной скорости грунта при разгрузке рабочего органа, а также определения угла разгрузки. По заданному расстоянию транспортирования грунта получена математическая модель для определения требуемой частоты вращения режуще-метального рабочего органа.

Ключевые слова: режуще-метальный рабочий орган, транспортирование грунта, метание грунта, математические модели, параметры рабочего процесса

THEORETICAL RESEARCH OF GEOMETRICAL AND KINEMATICS PARAMETERS OF PROCESS OF PORTAGE OF SOIL A CUT-MISSILE WORKER BY AN ORGAN

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

¹ Department of Building and Traveling of machines, State Higher Educational Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", st. Chernyshevsky, 24-A, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (067) 585-26-59, e-mail: leonidkharma@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302.

² Department of Building and Traveling of machines, State Higher Educational Establishment "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. The working process of earth-moving-transport machines envisages two successive operations, namely cutting of soil and his further portage. Depending on the type of an earth-moving-transport machine the process of portage comes true of different ways, so for example, in the traditional constructions of drag shovels transferring of soil from the zone of cutting comes true due to advancement of the ground shaving in a scoop under the action of under constraint of soil, that is created by hauling effort of base machine. For the increase of efficiency of this process on scoop earth-moving-transport machines additional transporting devices are used as scraper elevators screw and screw loaders, blade throwers, raking up devices, et al. However their use increases resource-demanding of machine, lowers a general output-input ratio due to the additional expenses of energy on the drive of transporting device that superfluous interfusion and crushing of soil. In earth-moving-transport machines of continuous action, such as a grader-elevator, cut-thrower, the external portage of soil from the zone of cutting comes true by a band conveyer or blade thrower with the movable casing. On some constructions of grader-elevators between a cutting knife and band conveyer an additional missile device is set. For liquidation of the indicated defects, namely reductions of resource-demanding and power-hungriness of machine on the whole, it is expedient to unite implementation of processes of cutting and portage in one working organ. One of variants of realization of this idea is creation of cut-missile worker organ that unites implementation of processes of cutting and portage of soil. Creation of this equipment supposes the receipt of mathematical models for determination of his rational parameters. **The purpose of the article.** Theoretical research of working process of cut-missile worker organ for creation of mathematical models on determination of his geometrical and kinematics parameters. **Conclusion.** The executed theoretical researches of process of portage of soil a cut-missile worker organ allowed to get mathematical models for determination of geometrical parameters of volume of soil on blades depending on the productivity and frequency of rotation, for a directionfinding and value of absolute speed of soil at unloading of working organ, and also determination of unloading corner. On the set distance of portage of soil a mathematical model is got for determination of the required frequency of rotation of cut-missile worker organ.

Key words: cut-missile worker organ, portage of soil, throwing of soil, mathematical models, parameters of working process

Постановка проблеми. На виконанні земляних робіт у різних галузях будівництва використовуються землерийно-транспортні машини, як циклічної так і безперервної дії. Незалежно від типу машини ґрунт під час розробки спочатку зрізається різальною системою машини, а далі транспортується у ковшові землерийно-транспортні машини циклічної дії або у машинах безперервної дії за їх межі за допомогою транспортувальних пристроїв у вигляді стрічкових та скребкових конвеєрів, гвинтових і шнекових завантажувачів, лопатевих металників та інших.

Перспективним напрямом розвитку землерийно-транспортних машин, що дозволяє знизити загальну матеріалоемність та енергоемність машини є створення робочого обладнання, яке одночасно виконує різання середовища та його транспортування у ківш, або за межі у випадку машин безперервної дії.

Аналіз публікацій. Для транспортування сипких вантажів та ґрунтів широко застосовуються металники із радіальними лопатями, але вони не можуть здійснювати ефективне різання ґрунту [1-4]. Відомі теоретичні дослідження металників не враховують розподіл та геометричні розміри маси вантажу на лопатях. Висота порції вантажу приймається рівною висоті лопаті, хоча вона залежить від частоти обертання металника та продуктивності транспортування. При визначенні кута розвантаження розглядається рух матеріальної частки, а не усього об'єму ґрунту.

Відомі конструкції різально-метальних робочих органів виконані у вигляді безперервних гвинтових поверхонь симетрично встановлених на привідному валу [5-9]. Їх недоліками є нерівномірність навантаження на привідний вал, неможливість реалізувати багатозахідність різальних елементів, налипання ґрунту.

Викладання основного матеріалу.

Принципова схема різально-метального робочого органа показана на рисунку 1. Він складається з привідного вала 1 на якому по гвинтовим лініям встановлені зубці 2 з різальними ножами 3. Під час роботи ґрунт зрізається ножами 3 і накопичується на них у вигляді окремих порцій. Далі здійснюється транспортування ґрунту вздовж кожуха 4 і подальшим його метанням з початковою абсолютною швидкістю.

Рух ґрунту в різально-метальному робочому органі поділяється на три періоди. У першому періоді відбувається різання ґрунту та його розгін до колової швидкості різальних ножів 3 та формування перед кожним різальним ножем 3 порції ґрунту. Максимальний об'єм порції створюється при виході ножа 3 на денну поверхню із зони різання. Процес різання відбувається на куті α_3 . У другому періоді кожна порція ґрунту відцентровою силою притиснута до поверхонь

кожуха 4 та різального ножа 3 і рухається разом з ним із постійною кутовою швидкістю на шляху, якому відповідає кут α_{mp} . У третьому періоді дія реакції кожуха 4 на ґрунт припиняється і порція ґрунту рухається з абсолютною швидкістю, яка складається із колової швидкості та швидкості руху ґрунту вздовж ножа 3. Кут α_p відповідає повному розвантаженню ґрунту з різально-метального робочого органа.

На кінематичні параметри процесу транспортування різально-метальним робочим органом в першу чергу впливають маса та геометричні розміри порцій ґрунту на різальних ножах. Розрахункова схема визначення геометричних параметрів об'єму ґрунту на ножі на початку метання подана на рисунку 2.

Розглянемо умову рівноваги частки ґрунту на вільній поверхні максимального об'єму ґрунту, яка знаходиться від вісі обертання на відстані R_i під кутом φ_i .

Рівняння рівноваги має наступний вигляд

$$\sum F_x = 0; F_{mp} + F_{цб} \cdot \cos \lambda_i - G \cdot \cos \theta_i = 0; \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0; N - F_{цб} \cdot \sin \lambda_i - G \cdot \sin \theta_i = 0, \quad (2)$$

де $F_{цб} = m \cdot \omega_0^2 \cdot R_i$ - відцентрова сила, що діє на частку ґрунту; $G = m \cdot g$ - вага частки; $F_{mp} = N \cdot tg \rho$ - сила тертя частки по вільній поверхні ґрунту; λ_i, θ_i - кути, що визначають положення векторів $F_{цб}$ та G .

Після перетворень системи рівнянь (1), (2) можна отримати рівність

$$\frac{\omega_0^2 \cdot R_i}{g} = \frac{\cos(\theta_i + \rho)}{\cos(\lambda_i - \rho)}. \quad (3)$$

З урахуванням того, що кут $\theta_i = \frac{\pi}{2} - (\varphi_k - \varphi_2 + \varphi_i + \lambda_i)$ рівність (3) має вигляд

$$\frac{\omega_0^2 \cdot R_i}{g} = \sin(\varphi_k - \varphi_2 + \varphi_i) + \cos(\varphi_k - \varphi_2 + \varphi_i) \times tg(\lambda_i - \rho). \quad (4)$$

При $R_i = R_2, \varphi_i = 0$ та $\lambda_i = \lambda_1$ вираз (4) має наступний вигляд

$$\frac{\omega_0^2 \cdot R_2}{g} = \sin(\varphi_k - \varphi_2) + \cos(\varphi_k - \varphi_2) \cdot tg(\lambda_1 - \rho). \quad (5)$$

Звідки кут λ_1 дорівнює

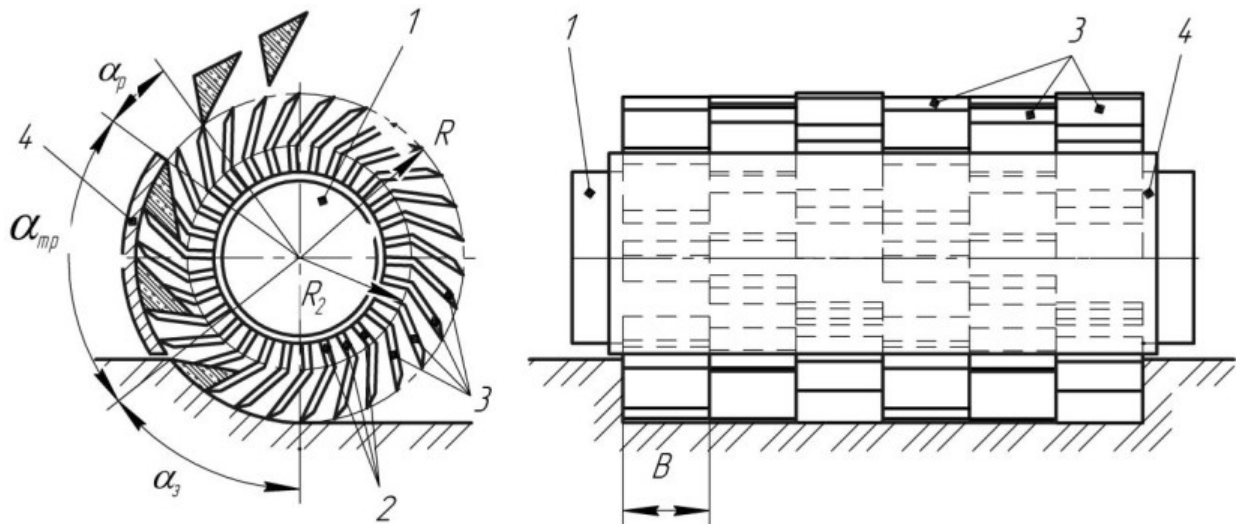


Рис. 1. Принципова схема різально-метального робочого органу

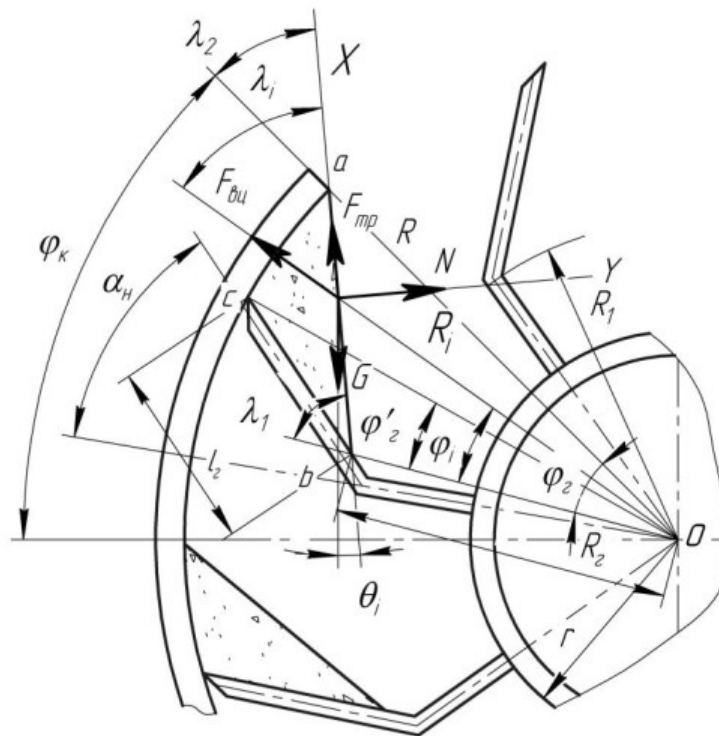


Рис. 2. Розрахункова схема визначення геометричних параметрів об'єму ґрунту на різальному ножі

$$\lambda_1 = \arctg \left[\frac{\omega_0^2 \cdot R_2}{g \cdot \cos(\varphi_k - \varphi_2)} - \operatorname{tg}(\varphi_k - \varphi_2) \right] + \rho. \quad (6)$$

При $R_i = R$, $\varphi_i = \varphi_2$ та $\lambda_i = \lambda_2$ вираз (4) має вигляд

$$\frac{\omega_0^2 \cdot R}{g} = \sin \varphi_k + \cos \varphi_k \cdot \operatorname{tg}(\lambda_2 - \rho). \quad (7)$$

Звідки кут λ_2 визначається наступною формулою

$$\lambda_2 = \arctg \left(\frac{\omega_0^2 \cdot R}{g \cdot \cos \varphi_k} - \operatorname{tg} \varphi_k \right) + \rho. \quad (8)$$

Кутові параметри φ_2 та φ_2' відповідно дорівнюють

$$\varphi_2 = \lambda_1 - \lambda_2; \quad (9)$$

$$\varphi_2' = \pi - \left(\arcsin \frac{R_1 \cdot \sin \alpha_H}{R} + \arcsin \frac{R_1 \cdot \sin \alpha_H}{R_2} \right). \quad (10)$$

Відстані ab , ac та l_2 визначаються залежностями

$$ab = \frac{R \cdot \sin \varphi_2}{\sin \lambda_1}; \quad (11)$$

$$ac = 2 \cdot R \cdot \sin \frac{\varphi_2 - \varphi'_2}{2}. \quad (12)$$

$$l_2 = \frac{R \cdot \sin \varphi'_2}{\sin \alpha_H}. \quad (13)$$

Площа поперечного перерізу об'єму ґрунту на різальному ножі

$$F = 0,5 \cdot ac \cdot l_2 \cdot \cos[\alpha_1 - 0,5 \cdot (\varphi_2 - \varphi'_2)] = \\ = R^2 \cdot \sin 0,5 \cdot (\varphi_2 - \varphi'_2) \cdot \sin \varphi'_2 \times \\ \times \frac{\cos[\alpha_1 - 0,5 \cdot (\varphi_2 - \varphi'_2)]}{\sin \alpha_H}, \quad (14)$$

$$\text{де } \alpha_1 = \arcsin\left(\frac{R_1 \cdot \sin \alpha_H}{R}\right).$$

Об'єм ґрунту на ножі

$$q = B \cdot F, \quad (15)$$

де B - ширина різальних ножів.

З іншого боку об'єм q можна виразити через кількість різальних ножів Z по колу різально-метального робочого органа, кутову швидкість обертання ω_0 (c^{-1}), продуктивність транспортування Π (m^3/c) та кількість рядів m ножів вздовж вісі обертання

$$q = \frac{2\pi \cdot \Pi}{\omega_0 \cdot Z \cdot m}. \quad (16)$$

З урахуванням виразів (13), (14) та (15) отримаємо наступну рівність

$$\frac{2\pi \cdot \Pi}{\omega_0 \cdot Z \cdot m} = B \cdot R^2 \cdot \sin 0,5 \cdot (\varphi_2 - \varphi'_2) \cdot \sin \varphi'_2 \times \\ \times \frac{\cos[\alpha_1 - 0,5 \cdot (\varphi_2 - \varphi'_2)]}{\sin \alpha_H}. \quad (17)$$

Таким чином, рівності (6), (8), (9) та (17) утворюють систему рівнянь для розрахунку геометричних параметрів об'єму ґрунту на лопаті, а саме λ_1 , λ_2 , R_1 , φ_2

$$\left\{ \begin{aligned} \lambda_2 &= \arctg\left(\frac{\omega_0^2 \cdot R}{g \cdot \cos \varphi_K} - \operatorname{tg} \varphi_K\right) + \rho; & (18) \\ \varphi_2 &= \lambda_1 - \lambda_2; & (19) \\ \lambda_1 &= \arctg\left[\frac{\omega_0^2 \cdot R_2}{g \cdot \cos(\varphi_K - \varphi_2)} - \operatorname{tg}(\varphi_K - \varphi_2)\right] + \rho; & (20) \\ \frac{2\pi \cdot \Pi}{\omega_0 \cdot Z \cdot m} &= B \cdot R^2 \cdot \sin 0,5 \cdot (\varphi_2 - \varphi'_2) \cdot \sin \varphi'_2 \times \\ &\times \frac{\cos[\alpha_1 - 0,5 \cdot (\varphi_2 - \varphi'_2)]}{\sin \alpha_H}. & (21) \end{aligned} \right.$$

Розв'язання системи рівнянь доцільно виконувати у наступній послідовності. По перше з рівняння

$$\varphi_2 = \lambda_1 - \lambda_2 = \arctg\left[\frac{\omega_0^2 \cdot R_2}{g \cdot \cos(\varphi_K - \varphi_2)} - \operatorname{tg}(\varphi_K - \varphi_2)\right] - \arctg\left(\frac{\omega_0^2 \cdot R}{g \cdot \cos \varphi_K} - \operatorname{tg} \varphi_K\right) \quad (22)$$

знайти значення радіуса $R_2 = f(\varphi_2)$

$$R_2 = \frac{1}{A} \cdot \left[\frac{(B + \operatorname{tg} \varphi_2)}{(1 - B \cdot \operatorname{tg} \varphi_2)} + \operatorname{tg}(\varphi_K - \varphi_2) \right], \quad (23)$$

$$\text{де } A = \frac{\omega_0^2}{g \cdot \cos(\varphi_K - \varphi_2)}; \quad B = \frac{\omega_0^2 \cdot R}{g \cdot \cos \varphi_K} - \operatorname{tg} \varphi_K.$$

Далі підстановкою значень $\lambda_1 = f[R_2 = f(\varphi_2), \varphi_2]$, $R_2 = f(\varphi_2)$ та $\varphi'_2 = f[R_2 = f(\varphi_2)]$ в рівність (21) отримаємо трансцендентне рівняння розв'язання якого чисельним методом дає можливість отримати значення кута φ_2

$$F(\varphi_2) = \frac{2\pi \cdot \Pi}{\omega_0 \cdot Z \cdot m} - B \cdot R^2 \cdot \sin 0,5(\varphi_2 - \varphi'_2) \times \\ \times \frac{\sin \varphi'_2 \cdot \cos[\alpha_1 - 0,5(\varphi_2 - \varphi'_2)]}{\sin \alpha_H}. \quad (24)$$

Після виходу об'єму ґрунту, що знаходиться на різальному ножі, із взаємодії з захисним кожухом починається його рух вздовж ножа під дією відцентрової сили $F_{вц}$ (рис. 3, а). Після повороту різального ножа на кут розвантаження α_p об'єм ґрунту повністю сходять з поверхні ножа (рис. 3, б). Величина абсолютних швидкостей кінцевих точок b та c площі поперечного перерізу ґрунту складаються з векторів радіальних швидкостей V_0 , V_{01} перпендикулярних до поверхні ножа та

вектора швидкості V_H ґрунту вздовж ножа.

Відстань між віссю обертання різально-метального робочого органа та центром ваги об'єму

$$\text{ґрунту на ножі } R_C = \frac{2R + R_1}{3}.$$

Рівняння руху маси m ґрунту вздовж ножа у напрямі X має вигляд

$$m\ddot{x} = m \cdot \omega_0^2 \cdot R_C \cdot \cos \alpha_1 - mg \cdot \sin(\varphi_K + \alpha_1) - N \cdot tg \delta = 0. \quad (25)$$

Реакція на ґрунт з боку ножа

$$N = m \cdot \omega_0^2 \cdot R_C \cdot \sin \alpha_1 + mg \cdot \cos(\varphi_K + \alpha_1). \quad (26)$$

Після перетворень маємо

$$\ddot{x} = \frac{\omega_0^2 \cdot R_C \cdot \cos(\alpha_1 + \delta) - g \cdot \sin(\varphi_K + \alpha_1 + \delta)}{\cos \delta}. \quad (27)$$

Враховуючи, що $\ddot{x} = \frac{d\dot{x}}{dt}$ вираз (27) має вигляд

$$d\dot{x} = \{[\omega_0^2 \cdot R_C \cdot \cos(\alpha_1 + \delta) - g \cdot \sin(\varphi_K + \alpha_1 + \delta)] / \cos \delta\} dt. \quad (28)$$

Після інтегрування

$$\dot{x} = \{[\omega_0^2 \cdot R_C \cdot \cos(\alpha_1 + \delta) - g \cdot \sin(\varphi_K + \alpha_1 + \delta)] / \cos \delta\} t + C_1. \quad (29)$$

При початкових умовах $t = 0, \dot{x} = 0, C_1 = 0$.

Далі при інтегруванні виразу (29) маємо

$$x = \{[\omega_0^2 \cdot R_C \cdot \cos(\alpha_1 + \delta) - g \cdot \sin(\varphi_K + \alpha_1 + \delta)] / \cos \delta\} \frac{t^2}{2} + C_2. \quad (30)$$

При початкових умовах $t = 0, x = 0, C_2 = 0$.

За час розвантаження t_p ґрунт переміщується

по різальному ножу на відстань $l_2 = bc$, яка дорівнює

$$l_2 = \sqrt{R^2 + R_2^2 - 2 \cdot R \cdot R_2 \cdot \cos \varphi'_2}. \quad (31)$$

При $x = l_2$ вираз (30) має вигляд

$$l_2 = 0,5 \cdot t_p^2 \cdot \left[\omega_0^2 \cdot R_C \cdot \cos(\alpha_1 + \delta) - g \cdot \sin(\varphi_K + \alpha_1 + \delta) \right] / \cos \delta. \quad (32)$$

Звідки час розвантаження дорівнює

$$t_p = \sqrt{\frac{2 \cdot l_2 \cdot \cos \delta}{\omega_0^2 R_C \cdot \cos(\alpha_1 + \delta) - g \sin(\varphi_K + \alpha_1 + \delta)}}. \quad (33)$$

Швидкість ґрунту вздовж ножа в кінці процесу розвантаження

$$V_H = \sqrt{\frac{2l_2[\omega_0^2 R_C \cos(\alpha_1 + \delta) - g \sin(\varphi_K + \alpha_1 + \delta)]}{\cos \delta}}. \quad (34)$$

Кут розвантаження різально-метального робочого органа $\alpha_p = \omega_0 \cdot t_p$.

Радіальні швидкості відповідно дорівнюють

$$V_{01} = \omega_0 \cdot R; \quad (35)$$

$$V_0 = \omega_0 \cdot R_0, \quad (36)$$

$$\text{де } R_0 = \sqrt{l_2^2 + R^2 + 2 \cdot l_2 \cdot R \cdot \sin \alpha_1}.$$

Кути нахилу векторів V_{01}, V_0 визначаються наступними формулами

$$\xi_{01} = \frac{\pi}{2} - (\varphi_K + \alpha_p); \quad (37)$$

$$\xi_0 = \frac{\pi}{2} - \left(\varphi_K + \alpha_p + \arcsin \frac{l_2 \cdot \sin \alpha_1}{R_0} \right). \quad (38)$$

Кут нахилу вектора швидкості V_H

$$\xi_H = \pi - (\alpha_1 + \varphi_H + \alpha_p). \quad (39)$$

Значення абсолютних швидкостей V_M, V_{M1} на початку метання об'єму ґрунту дорівнюють

$$V_{M1} = \sqrt{V_{01}^2 + V_H^2 + 2 \cdot V_{01} V_H \cos(\xi_H - \xi_{01})}; \quad (40)$$

$$V_M = \sqrt{V_0^2 + V_H^2 + 2 \cdot V_0 V_H \cos(\xi_H - \xi_0)}; \quad (41)$$

Кути

$$\varphi_0 = \arcsin \frac{V_0 \cdot \sin \xi_0 + V_H \cdot \sin \xi_H}{V_M}; \quad (42)$$

$$\varphi_{01} = \arcsin \frac{V_{01} \cdot \sin \xi_{01} + V_H \cdot \sin \xi_H}{V_M}; \quad (43)$$

Координати граничних точок початку процесу метання порції ґрунту різальним ножом визначаються наступними формулами

$$x_0 = R_0 \cdot \cos(\varphi_K + \alpha_p) + \arcsin \frac{l_2 \cdot \sin \alpha_1}{R_0}; \quad (44)$$

$$x_{01} = R \cdot \cos(\varphi_K + \alpha_p); \quad (45)$$

$$y_0 = R_0 \cdot \sin \left(\varphi_K + \alpha_p + \arcsin \frac{l_2 \cdot \sin \alpha_1}{R_0} \right); \quad (46)$$

$$y_{01} = R \cdot \sin(\varphi_K + \alpha_p). \quad (47)$$

Рівняння траєкторії руху часток ґрунту кинутих під кутом φ_0 до горизонту із швидкістю V_M в координатних осях XY з початком у місці відриву часток від метального пристрою має вигляд

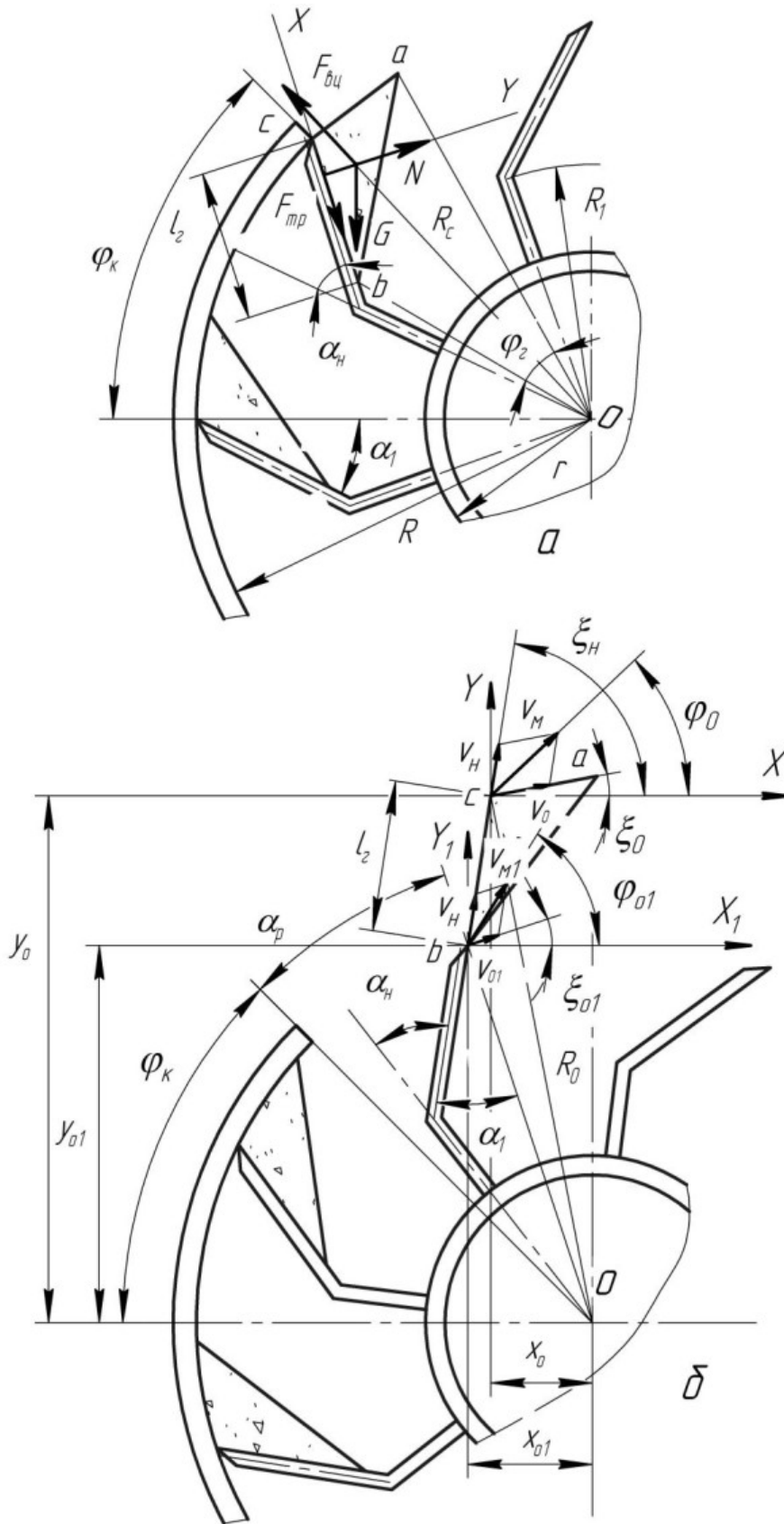


Рис. 3. Розрахункова схема визначення кута розвантаження ножів різально-метального робочого органа та початкових швидкостей метання: а-початок сходу ґрунту з ножа; б-кінець сходу ґрунту з ножа

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 - \frac{g \cdot x^2}{2 \cdot V_M^2 \cdot \cos^2 \varphi_0} \quad (48)$$

Згідно рисунку 4 в координатних осях XU при $x = l_{\max}$, $y = -(y_0 + h)$, де h - висота розташування поверхні для приземлення ґрунту відносно осі обертання різально-метального робочого органа, рівняння траєкторії має вигляд

$$-(y_0 + h) = l_{\max} \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 - \frac{g \cdot l_{\max}^2}{2 \cdot V_M^2 \cdot \cos^2 \varphi_0} \quad (49)$$

Звідки

$$l_{\max} = \frac{V_M \cdot \cos \varphi_0}{g} \cdot [V_M \cdot \sin \varphi_0 +$$

$$+ \sqrt{V_M^2 \cdot \sin^2 \varphi_0 + 2g(y_0 + h)}] \quad (50)$$

В координатних осях X_1Y_1 при $x = l_{\min}$, $y = -(y_{01} + h)$

$$-(y_{01} + h) = l_{\min} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{01} - \frac{g \cdot l_{\min}^2}{2 \cdot V_{M1}^2 \cdot \cos^2 \varphi_{01}} \quad (51)$$

Звідки

$$l_{\min} = \frac{V_{M1} \cdot \cos \varphi_{01}}{g} \cdot [V_{M1} \cdot \sin \varphi_{01} + \sqrt{V_{M1}^2 \cdot \sin^2 \varphi_{01} + 2g(y_{01} + h)}] \quad (52)$$

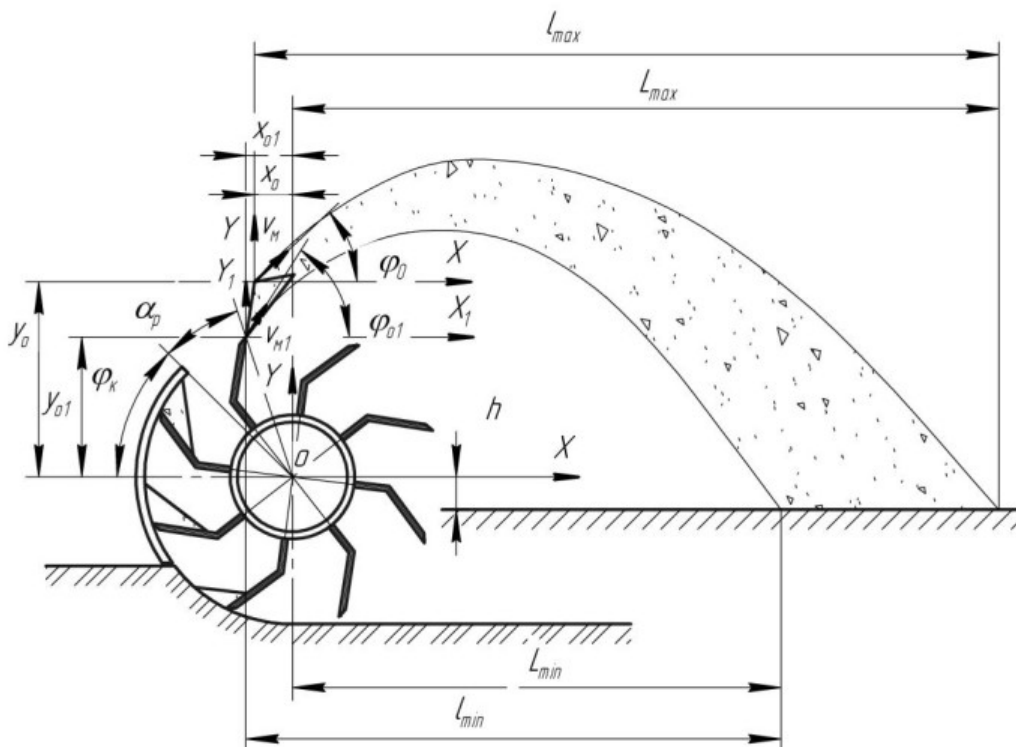


Рис. 4. Розрахункова схема визначення геометричних параметрів процесу метання ґрунту

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

$$L_{\max} = l_{\max} - x_0; \quad (53)$$

$$L_{\min} = l_{\min} - x_{01}. \quad (54)$$

Висновок. Виконані теоретичні дослідження процесу транспортування ґрунту різально-метальним робочим органом дозволили отримати математичні моделі для визначення геометричних

параметрів об'єму ґрунту на лопатях в залежності від продуктивності та частоти обертання для визначення напрямку та значення абсолютної швидкості ґрунту при розвантаженні робочого органа, а також визначення кута розвантаження. По заданій відстані транспортування ґрунту отримана математична модель для визначення потрібної частоти обертання різально-метального робочого органа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баловнев В. И. Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара – М.: Транспорт, 1983. – 383 с.

2. Хмара Л. А. Модернізація та підвищення продуктивності будівельних машин / Л. А. Хмара, М. П. Колісник, В. П. Станевський – К.: Будівельник, 1992. – 152 с.
3. Деревянчук М. И. Анализ баланса мощности радиального роторно-лопастного метателя грунта для заполнения ковша скрепера // Сборник научных трудов ПГАСА «Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин». Выпуск 10. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. – Днепропетровск, 2000. – С. 54-63.
4. Кавалеров А. А. Роторные метатели грунтов: Обзор. - М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1969. - 38 с.
5. Голубченко О. І. 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.
6. Голубченко О. І. Кінематичні особливості процесу транспортування ґрунту гвинтовим робочим органом різально-кидалного типу для 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.
7. 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.
8. 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.
9. Машини для земляних робіт: 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.

REFERENCES

1. Balovnev V. I. Intensifikatsiya zemlyanyih rabot v dorozhnom stroitelstve [Intensification of earthmoving is in travelling building] / V. I. Balovnev, L. A. Khmara – M.: Transport, 1983. – 383 p.
2. Khmara L. A. Modernizatsiya ta pidvischennya produktivnosti budivelnih mashin [Modernisation and increase of the productivity of building machines] / L. A. Khmara, M. P. Kolisnik, V. P. Stanevskiy – K.: Budivelnik, 1992. – 152 p.
3. Derevyanchuk M. I. Analiz balansu moschnosti radialnogo rotornogo lopastnogo metatelya grunta dlya zapolneniya kovsha skrepera [Statement of power of radial rotor-blade thrower of soil analysis for filling of scoop of dragshovel] // Sbornik nauchnyih trudov PGASA «Intensifikatsiya rabochih protsessov stroitelnyih i dorozhnyih mashin». Vyipusk 10. Pod'emno-transportnyie, stroitelnyie i dorozhnyie mashiny i oborudovanie. – Dnepropetrovsk, 2000. – P. 54-63.
4. Kavalеров A. A. Rotornyye metatelye gruntov: Obzor [Rotor throwers of soils: Review]. - M.: TsNIITEstroy mash, 1969. - 38 s.
5. Golubchenko O. I. Rozrobka robochogo obladdannya zemleriyno-transportnoyi mashini bezperervnoyi diyi [Development of working equipment of an earth-moving-transport machine of continuous action] / O. I. Golubchenko, M. E. Hozhilo // Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Pod'emno-transportnyie, stroitelnyie i dorozhnyie mashiny i oborudovanie. – Vyip. 51. – 2009. – P. 110-113.
6. Golubchenko O. I. Kinematichni osoblivosti protsesu transportuvannya gruntu gvintovim robochim organom rizalno-kidalnogo tipu dlya zemleriyno-transportnih mashin bezperervnoyi diyi [Kinematics features of process of transporting of soil by the spiral working organ of cutting-missile type for earth-moving-transport machines of continuous action] / O. I. Golubchenko, M. E. Hozhilo // Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Pod'emno-transportnyie, stroitelnyie i dorozhnyie mashiny i oborudovanie. – Vyip. 57. – 2010. – P. 36-45.
7. Golubchenko O. I. Oglyad ta propozitsiyi konstruksiy aktivnogo robochogo obladdannya zemleriyno-transportnih mashin bezperervnoyi diyi [Review and suggestions of constructions of active working equipment of earth-moving-transport machines of continuous action] / O. I. Golubchenko, M. E. Hozhilo // Visnik Pridniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnitstva ta arhitekturi. – 2011. – № 6-7. – P. 48 – 55.
8. Golubchenko O. I. Konstruksiyi ta zastosuvannya rizalno-metallnih organiv dlya intensifikatsiyi robochih protsesiv zemleriyno-transportnih mashin [Constructions and applications of cutting-missile organs are for intensification of working processes of earth-moving-transport machines] / O. I. Golubchenko // Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Pod'emno-transportnyie, stroitelnyie i dorozhnyie mashiny i oborudovanie. – Vyip. 66. – 2012. – P. 296-302.
9. Khmara L. A. Modernizatsiya ta pidvischennya produktivnosti budivelnih mashin [Modernisation and increase of the productivity of building machines] / L. A. Khmara, M. P. Kolisnik, V. P. Stanevskiy – K.: Budivelnik, 1992. – 152 p.