

УДК 621.878.6

КОМБІНОВАНИЙ СПОСІБ КОΠΑНИЯ ГРУНТУ КОВШЕМ СКРЕПЕРА ТА ЙОГО ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

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. Одним із напрямів підвищення ефективності ковшових землерійно-транспортних машин є зниження опору копанню, реалізація якого дозволяє при постійних значеннях ваги та потужності машини збільшити глибину копанню і відповідно підвищити продуктивність виконання земляних робіт. Опір копанню поєднує декілька складових, а саме опір різанню, заповненню ковша ґрунтом, опір пересуванню призми волочіння. У зв'язку з цією особливістю знизити опір копанню можливо вдосконаленням різальної системи, застосуванням інтенсифікаторів для примусового транспортування ґрунту, використанням фізичних ефектів для руйнування та транспортування ґрунту. Тому пошук нових конструктивних рішень та засобів копанню ґрунту ковшовими землерійно-транспортними машинами, їх теоретичне та експериментальне дослідження є актуальною задачею. **Мета статті.** Запропонувати комбінований спосіб копанню ґрунту ковшем скрепера та технічне рішення для його реалізації з поєднанням традиційного різання ґрунту та використанням активного інтенсифікатора, виконати теоретичні дослідження. **Висновок.** Запропоновано комбінований спосіб пошарового копанню ґрунту ковшем скрепера з поєднанням традиційного різання ґрунту прямолінійним ножом та використанням різально-метального інтенсифікатора для одночасного різання ґрунту та його транспортування у ківш. Отримані математичні моделі визначення силових параметрів процесу різання ґрунту для встановлення раціональних геометричних та кінематичних параметрів різальної системи.

Ключові слова: ківш скрепера, копанню ґрунту, різання ґрунту, різально-метальний інтенсифікатор, математичні моделі, геометричні, кінематичні та силові параметри

КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ КОПАНИЯ ГРУНТА КОВШОМ СКРЕПЕРА И ЕГО ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

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. Одним из направлений повышения эффективности ковшовых землеройно-транспортных машин является снижение сопротивления копанню, реализация которого позволяет при постоянных значениях веса и мощности машины увеличить глубину копания и соответственно повысить производительность выполнения земляных работ. Сопротивление копанню включает несколько составляющих, а именно сопротивление резанию, заполнению ковша ґрунтом, сопротивление перемещению призмы волочения. В связи с этой особенностью снизить сопротивление копанню можно усовершенствованием режущей системы, применением интенсификаторов для принудительного транспортирования ґрунта, использование физических эффектов для разрушения и транспортирования ґрунта. Поэтому поиск новых конструктивных решений и способов копания ґрунта ковшовыми землеройно-транспортными машинами, их теоретическое и экспериментальное исследование является актуальной задачей. **Цель статьи.** Предложить комбинированный способ копания ґрунта ковшем скрепера и техническое решение для его реализации с сочетанием традиционного резания ґрунта и использованием активного интенсификатора, выполнить теоретические исследования. **Вывод.** Предложен комбинированный способ послышного копания ґрунта ковшем скрепера с объединением традиционного резания ґрунта прямолинейным ножом и использованием режуще-метального интенсификатора для одновременного резания ґрунта и его транспортирования в кувш. Получены математические модели определения силовых параметров процесса резания ґрунта для установления рациональных геометрических и кинематических параметров режущей системы.

Ключевые слова: кувш скрепера, копанне ґрунта, резание ґрунта, режуще-метальный интенсификатор, математические модели, геометрические, кинематические и силовые параметры

COMBINED METHOD OF DIGGING SOIL THE SCOOP OF DRAG SHOVEL AND HIS THEORETICAL RESEARCH

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: leonidkhmara@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. One of directions increase efficiency scoop earthmoving-transport machines is a decline of resistance to digging realization that allows at the permanent values weight and power of machine to increase the depth of digging and accordingly to promote the productivity of implementation earthmovings. Resistance to digging includes a few constituents, name lyres stance to cutting, filling of scoop soil, resistance to moving of prism of dragging. In connection with this feature, bringing down resistance to digging is possible the improvement of the cutting system, application of intensifiers for a force portage of soil, use of physical effects for destruction and portage of soil. Therefore a search of new structural decisions and methods of digging soil scoop earthmoving-transport machines, their theoretical and experimental research, is an actual task. **The purpose of the article.** To offer the combined method of digging of soil the scoop drag shovel and technical decision for his realization with combination of the traditional cutting of soil and use of active intensifier, to execute theoretical researches. **Conclusion.** The combined method of the layer digging of soil the scoop drags hovel is offered with the association of the traditional cutting soil by a rectilinear knife and use of cutting-missile intensifier for the simultaneous cutting of soil and his portage in a scoop. The mathematical models of determination power parameters process cutting soil are got for establishment of rational geometrical and kinematics parameters of the cutting system.

Key words: scoop of drag shovel, digging of soil, cutting of soil, cutting-missile intensifier, mathematical models, geometrical, kinematics and power parameters

Постановка проблеми. У загальний опір копанню ґрунту будь-якої землерийно-транспортної машини, у тому числі і скрепера, входить зусилля різання ґрунту, яке залежить від конструкції та параметрів різальної системи, фізико-механічних характеристик ґрунту та умов взаємодії робочого обладнання із розроблюваним середовищем. Процес різання ґрунту машинами може здійснюватись статичними різальними системами у яких зусилля різання ґрунту створюється за рахунок тягового зусилля базової машини, а також активними робочими органами та механічними інтенсифікаторами, що мають свій власний привід від силового обладнання машини. У першому варіанті зусилля різання залежить від тягово-зчіпних властивостей ходового обладнання і як показує практика експлуатації тягового зусилля базової машини недостатньо для ефективного заповнення ковшових землерийно-транспортних машин. Другий варіант копання ґрунту зменшує вплив тягових властивостей базової машини, але збільшує масу машини, у випадку коли ґрунт у повному об'ємі зрізається активним робочим органом або транспортується інтенсифікатором відбувається зайве переміщення ґрунту та його подрібнення, що знижує загальний ККД робочого процесу машини.

Тому необхідно розробляти такі засоби копання ґрунту робочим обладнанням землерийно-транспортних машин та технічні рішення для їх реалізації при яких повністю реалізуються тягові властивості ходового обладнання із заданим

коефіцієнтом буксування і силове обладнання працює на режимі наближеному до номінального під час процесу копання.

Аналіз публікацій. Вдосконалення традиційних різальних систем землерийно-транспортних машин передбачає використання виступаючого середнього ножа прямокутної або трикутної форми, ножів напівкруглої та зігнутої форми, з напрямними пристроями для ґрунтового потоку, з розпушувальними зубами, двохступеневої різальної системи, із пристроями керування параметрами різальної системи, такими як кут різання, ширина різання [1–5].

Для підвищення ефективності процесу копання та заповнення ковшів скреперів використовуються технічні рішення спрямовані на інтенсифікацію процесу заповнення ковшів ґрунтом. Найбільш відомими та дослідженими є механічні інтенсифікатори у вигляді елеваторних систем, гвинтових та шнекових завантажувачів, металевих та підгребальних пристроїв [8-11].

Мета статті. Запропонувати комбінований спосіб копання ґрунту ковшем скрепера та технічне рішення для його реалізації з поєднанням традиційного різання ґрунту та використанням активного інтенсифікатора, виконати теоретичне дослідження.

Викладання основного матеріалу. Конструкція ковша скрепера з реалізацією комбінованого способу копання ґрунту надана на рисунку 1. Скреперний ківш складається з різального ножа 1, днища 2, бічних стінок 3,

задньої стінки 4 і гідроциліндра керування 5. В передній частині ковша скрепера змонтовано різально-метальний інтенсифікатор, який має несучу раму 6, що шарнірно приєднана до бічних стінок 3 ковша та оснащена гідроциліндрами 7 повороту, привідний вал 8, який за допомогою підшипникових опор 9 і 10 змонтований на рамі 6, привід у складі гідродвигунів 11, редукторів 12 та ланцюгових передач 13. На привідному валу 8 симетрично розташовані багатозахідні гвинтові поверхні, які виконані у вигляді дискретно встановлених по гвинтовим лініям зубців 14 із закріпленими на них різальними ножами 15 на кінцях. Бічні частини послідовно розташованих зубців 14 з'єднані між собою гнучкими елементами, наприклад, у вигляді ланцюгів 16. Привідний вал 8 із зубами 14 та різальними ножами 15 охоплюється попереду захисним кожухом 17, а позаду нього встановлена розмежувальна стійка 18 з шириною, рівною ширині інтенсифікатора.

Під час роботи товщина ґрунту, що зрізається поділяється на два шари. верхній шар зрізається різально-метальним інтенсифікатором. При цьому кожний різальний ніж 15 зрізає сегментоподібну стружку ґрунту і накопичує його на своїй поверхні.

Після виходу різальних ножів 15 із зони взаємодії з захисним кожухом 17 відбувається метання ґрунту у порожнину ковша. Під час робочого процесу відбувається часткове пересипання ґрунту по різальним зубам 14 з ножами 15 до центральної частини інтенсифікатора з обох боків. Таким чином, здійснюється більш інтенсивна концентрація потоку ґрунту при метанні в центральній частині ковша. Ґрунт, що зрізається і транспортується різально-метальним інтенсифікатором у цілому заповнює у більшій ступені задню та верхню частини порожнини ковша.

Зрізаний прямолінійним ножом 1 нижній шар ґрунту у вигляді пласта підіймається по його похилій поверхні і далі підіймається по днищу 2 ковша. Після втрати стійкості пласта відбувається подальший підйом ґрунту у ківш з наступним насунанням шару ґрунту на попередній. Таким чином заповнюється нижня центральна частина порожнини ковша. Зони різання та транспортування ґрунту різально-метальним інтенсифікатором і ножом 1 відділені між собою розмежувальною стійкою 18.

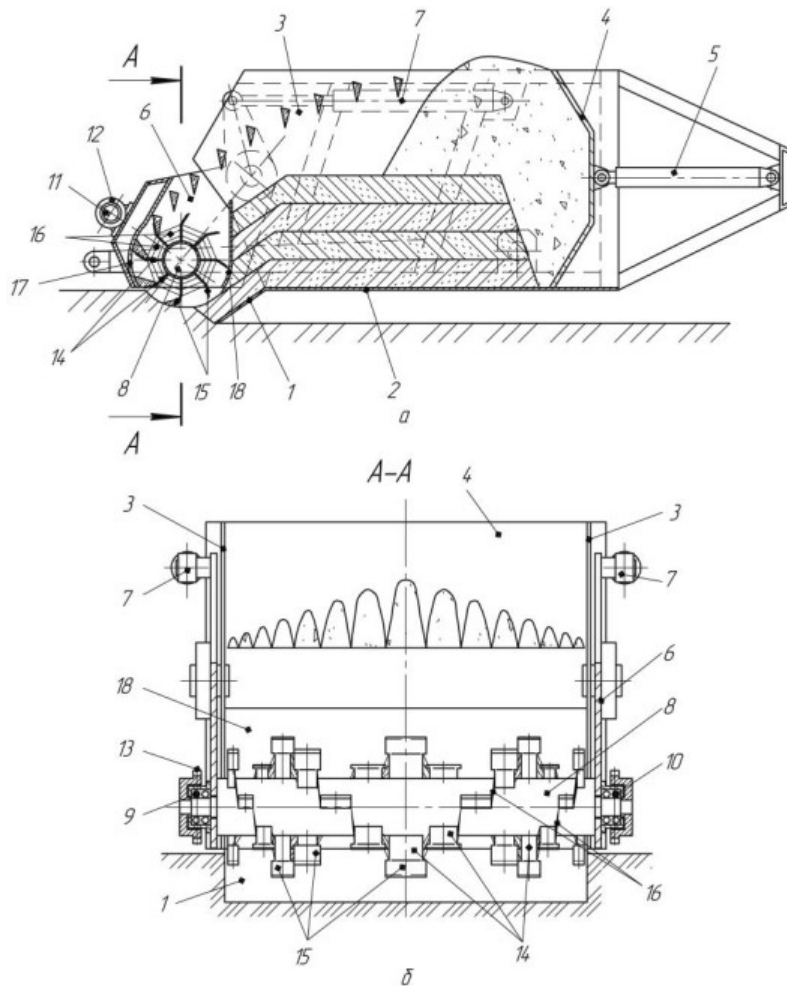


Рис. 1. Конструкція ковша скрепера з різально-метальним інтенсифікатором: а – процес комбінованого способу копання ґрунту; б – переріз А-А

Розрахункові схеми взаємодії ножів різально-метального інтенсифікатора з ґрунтом надані на рисунках 2 та 3.

У повздовжньому напрямі стружка ґрунту, що зрізається кожним ножом, має серпоподібну форму

з максимальною товщиною h_{\max} при сколюванні ґрунту перед виходом ножа на денну поверхню.

Процес копання ґрунту різально-метальним інтенсифікатором характеризується наступними геометричними параметрами.

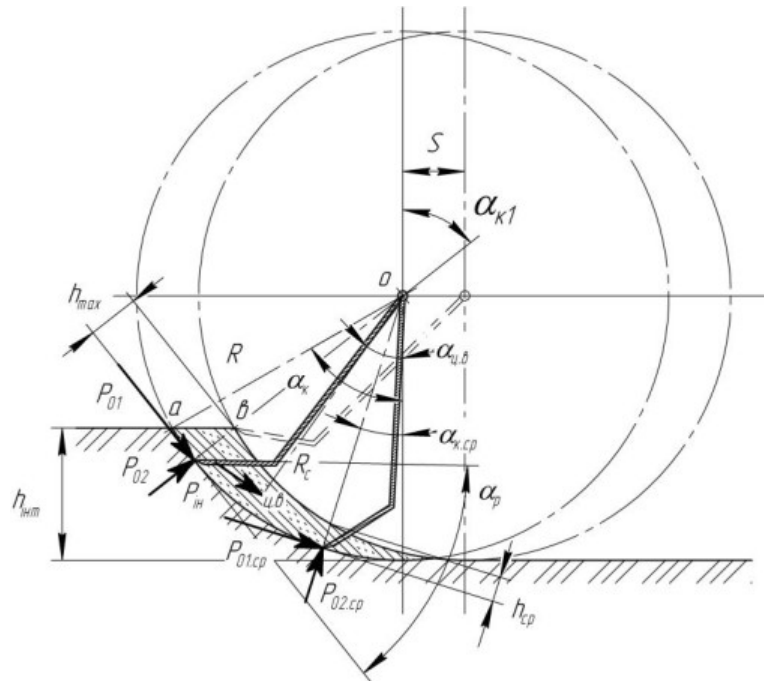


Рис. 2. Схема повздовжнього перерізу зрізу ґрунту, який утворюється різальним ножом інтенсифікатора

Подача інтенсифікатора

$$S = \frac{60 \cdot V_c}{n_{им} \cdot z}, \quad (1)$$

де V_c - швидкість поступового руху скрепера при копанні ґрунту, м/с; $n_{им}$ - частота обертання інтенсифікатора, хв.⁻¹; z - кількість заходів розташування різальних ножів по гвинтовій лінії на привідному валу інтенсифікатора.

Кути копання ґрунту інтенсифікатором

$$\alpha_k = \arccos \frac{R - h_{им}}{R}; \quad (2)$$

$$\alpha_{к1} = \alpha_k - \arcsin \frac{S \cdot \cos \alpha_k}{R - S \cdot \sin \alpha_k}, \quad (3)$$

де R - радіус інтенсифікатора; $h_{им}$ - глибина копання ґрунту інтенсифікатором.

Максимальна товщина стружки, що зрізається ножом

$$h_{\max} = S \cdot \sin \alpha_k. \quad (4)$$

Середня товщина стружки ґрунту, що зрізується

$$h_{ср} = 0,5 \cdot S \cdot \sin \alpha_k. \quad (5)$$

Кут копання, який відповідає середній товщині стружки ґрунту

$$\alpha_{к,ср} = \frac{\alpha_{к1}}{3}. \quad (6)$$

Шлях копання кожного ножа

$$L_k = R \cdot \alpha_k. \quad (7)$$

У поперечній площині до напрямку руху ножів перерізи ґрунту з урахуванням просторового характеру мають складну форму, що залежить від місця розташування ножа.

Для отримання математичних моделей по визначенню опору різання ґрунту ножами інтенсифікатора застосовуємо теорію різання запропоновану Ю. А. Ветровим [7].

У зв'язку із симетричним розташуванням різальних ножів відносно повздовжньої вісі ковша скрепера розглянемо визначення сил опору різання ґрунту для половини довжини інтенсифікатора.

Нехай на половині довжини інтенсифікатора по гвинтовій лінії розташовані різальні ножі у наступній послідовності від бічної стінки ковша скрепера 1, 2, 3, ..., i, ..., n.

Для початкового 1-го ножа дотичний опір різання ґрунту дорівнює

$$P_{01}^1 = \varphi \cdot m_g \cdot b_1 \cdot h + 2 \cdot m_{біч} \cdot h^2 + 2 \cdot m_{біч,зр} \cdot h, \quad (8)$$

де φ - коефіцієнт впливу кута різання; m_g - питома сила різання у лобовій частині; b_1 - ширина різання 1-го ножа; h - плинне значення глибини різання ґрунту; $m_{біч}$ - питома сила різання ґрунту у бічних частинах поперечного перерізу; $m_{біч,зр}$ - питома сила зрізу ґрунту бічними ребрами ножа

біля різальної кромки.

З урахуванням того, що 2-й ніж різальної системи рухається позаду 1-го ножа та збоку від нього, його бічна частина не здійснює зрізання ґрунту і тоді

$$P_{01}^2 = \varphi \cdot m_{\sigma} \cdot (b_2 \cdot h - F_{\sigma_{i\sigma}}) + m_{\sigma_{i\sigma}} \cdot h^2 + m_{\sigma_{i\sigma,зр}} \cdot h, \quad (9)$$

де b_2 - ширина різального ножа 2; $F_{\sigma_{i\sigma}}$ - площа бічної частини поперечного перерізу, $F_{\sigma_{i\sigma}} = 0,5 \cdot K_{\sigma_{i\sigma}}^2 \cdot h^2 \cdot \text{ctg} \gamma$; $K_{\sigma_{i\sigma}}$ - коефіцієнт глибини прорізи, що розширюється; γ - кут нахилу похилої поверхні прорізи.

Згідно розрахункових схем на ширину різальних ножів в діапазоні номерів 2, 3, ..., i, ..., n-1 накладається обмеження $b \geq K_{\sigma_{i\sigma}} \cdot h \cdot \text{ctg} \gamma$, а

n - ножа $b_n \geq 2 \cdot K_{\sigma_{i\sigma}} \cdot h \cdot \text{ctg} \gamma$.

Аналогічно для 3-го і 4-го ножів з шириною b_3, b_4 відповідно

$$P_{01}^3 = \varphi \cdot m_{\sigma} \cdot (b_3 \cdot h - F_{\sigma_{i\sigma}}) + m_{\sigma_{i\sigma}} \cdot h^2 + m_{\sigma_{i\sigma,зр}} \cdot h; \quad (10)$$

$$P_{01}^4 = \varphi \cdot m_{\sigma} \cdot (b_4 \cdot h - F_{\sigma_{i\sigma}}) + m_{\sigma_{i\sigma}} \cdot h^2 + m_{\sigma_{i\sigma,зр}} \cdot h. \quad (11)$$

Відповідно для i-го ножа

$$P_{01}^i = \varphi \cdot m_{\sigma} \cdot (b_i \cdot h - F_{\sigma_{i\sigma}}) + m_{\sigma_{i\sigma}} \cdot h^2 + m_{\sigma_{i\sigma,зр}} \cdot h. \quad (12)$$

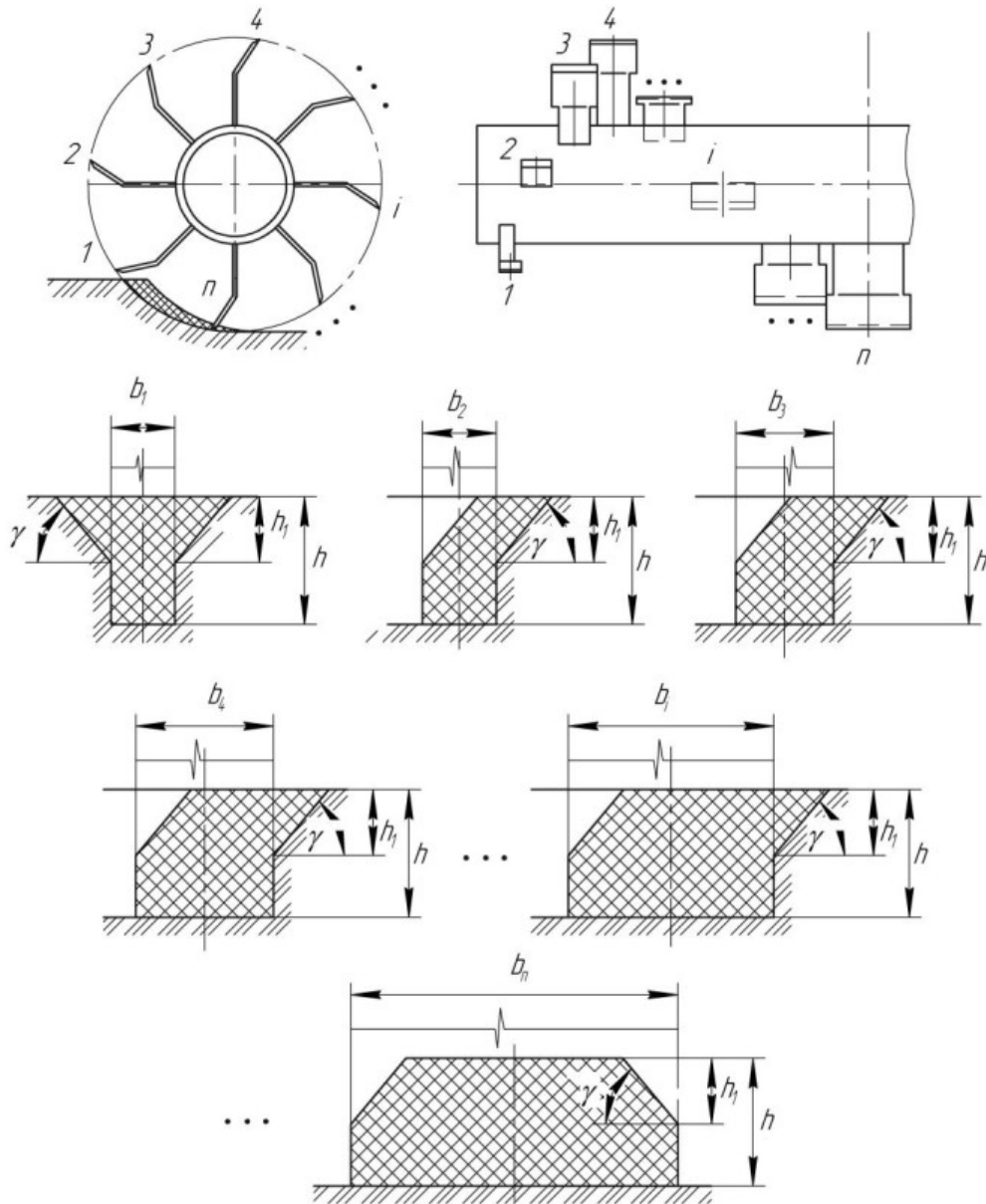


Рис.3. Схеми перерізів зрізів, які створюються різальними ножами інтенсифікатора

Роботи сил різання для окремих різальних ножів дорівнюють:

для 1-го ножа

$$A_1 = P_{01cp}^1 \cdot L_k = (\varphi \cdot m_6 \cdot b_1 \cdot h_{сер} + 2 \cdot m_{\delta_{i4}} \cdot h_{сер}^2 + 2 \cdot m_{\delta_{i4.зр}} \cdot h_{сер}) \cdot R \cdot \alpha_k; \quad (13)$$

для 2-го ножа

$$A_2 = P_{01cp}^2 \cdot L_k = [\varphi \cdot m_6 \cdot (b_2 \cdot h_{сер} - F_{\delta_{i4}}) + m_{\delta_{i4}} \cdot h_{сер}^2 + m_{\delta_{i4.зр}} \cdot h_{сер}] \cdot R \cdot \alpha_k; \quad (14)$$

для і-го ножа

$$A_i = P_{01cp}^i \cdot L_k = [\varphi \cdot m_6 \cdot (b_i \cdot h_{сер} - F_{\delta_{i4}}) + m_{\delta_{i4}} \cdot h_{сер}^2 + m_{\delta_{i4.зр}} \cdot h_{сер}] \cdot R \cdot \alpha_k; \quad (15)$$

для половини ширини n-го ножа

$$A_n = P_{01cp}^n \cdot L_k = [\varphi \cdot m_6 \cdot (0,5 \cdot b_n \cdot h_{сер} - F_{\delta_{i4}})] \cdot R \cdot \alpha_k. \quad (16)$$

Сумарна робота

$$\begin{aligned} \Sigma A &= 2 \cdot z \cdot (A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_i + \dots + A_n) = \\ &= 2z [\varphi \cdot m_6 \cdot b_1 \cdot h_{сер} + 2m_{\delta_{i4}} \cdot h_{сер}^2 + 2m_{\delta_{i4.зр}} \cdot h_{сер} + \\ &+ \varphi \cdot m_6 \cdot (b_2 \cdot h_{сер} - F_{\delta_{i4}}) + m_{\delta_{i4}} \cdot h_{сер}^2 + m_{\delta_{i4.зр}} \cdot h_{сер} + \\ &+ \varphi \cdot m_6 \cdot (b_3 \cdot h_{сер} - F_{\delta_{i4}}) + m_{\delta_{i4}} \cdot h_{сер}^2 + \\ &+ m_{\delta_{i4.зр}} \cdot h_{сер} + \dots + \varphi \cdot m_6 \cdot (b_i \cdot h_{сер} - F_{\delta_{i4}}) + \\ &+ m_{\delta_{i4}} \cdot h_{сер}^2 + m_{\delta_{i4.зр}} \cdot h_{сер} + \dots + \varphi \cdot m_6 \cdot \\ &\times (0,5b_n \cdot h_{сер} - F_{\delta_{i4}})] \cdot R \cdot \alpha_k. \quad (17) \end{aligned}$$

Після перетворень та з урахуванням того, що $b_1 + b_2 + b_3 + \dots + b_i + \dots + 0,5b_n = 0,5B$, де B - ширина ковша скрепера, а також, що $F_{\delta_{i4}} = 0,5 \cdot K_{\delta_{i4}}^2 \cdot h_{сер}^2 \cdot ctg\gamma$, кінцевий вираз для визначення роботи

$$\Sigma A = z \left\{ \varphi \cdot m_6 \cdot h_{сер} \cdot [B - (n-1) \cdot K_{\delta_{i4}}^2 \cdot h_{сер} \cdot ctg\gamma] + n \cdot h_{сер} \cdot (m_{\delta_{i4}} \cdot h_{сер} + m_{\delta_{i4.зр}}) \right\} \cdot R \cdot \alpha_k. \quad (18)$$

Для практичних розрахунків по формулі (18) потрібно використати значення відношень питомих сил різання, які встановлені згідно досліджень [7]

$$\eta_{\delta_{i4}} = \frac{2 \cdot m_{\delta_{i4}}}{m_6 \cdot K_{\delta_{i4}}^2 \cdot ctg\gamma}; \quad (19)$$

$$\eta_{\delta_{i4.зр}} = \frac{m_{\delta_{i4.зр}}}{(1 - K_{\delta_{i4}}) \cdot m_6}. \quad (20)$$

З яких питомі сили $m_{\delta_{i4}}$ та $m_{\delta_{i4.зр}}$ дорівнюють

$$m_{\delta_{i4}} = 0,5 \cdot m_6 \cdot \eta_{\delta_{i4}} \cdot K_{\delta_{i4}}^2 \cdot ctg\gamma; \quad (21)$$

$$m_{\delta_{i4.зр}} = m_6 \cdot \eta_{\delta_{i4.зр}} \cdot (1 - K_{\delta_{i4}}). \quad (22)$$

Коефіцієнти $\eta_{\delta_{i4}}$, $\eta_{\delta_{i4.зр}}$ для глинистих ґрунтів мають значення $\eta_{\delta_{i4}} = 0,36$ та $\eta_{\delta_{i4.зр}} = 0,137$ м.

З урахуванням визначення питомих сил $m_{\delta_{i4}}$ та $m_{\delta_{i4.зр}}$ формула має вигляд

$$\begin{aligned} \Sigma A &= z \cdot R \cdot \alpha_k \cdot m_6 \cdot h_{сер} \left\{ \varphi \cdot [B - (n-1) \cdot K_{\delta_{i4}}^2 \cdot h_{сер} \times \right. \\ &\times ctg\gamma] + n \cdot [0,5\eta_{\delta_{i4}} \cdot K_{\delta_{i4}}^2 \cdot h_{сер} \cdot ctg\gamma + \eta_{\delta_{i4.зр}} \times \\ &\times (1 - K_{\delta_{i4}})] \left. \right\}. \quad (23) \end{aligned}$$

Середнє значення дотичної складової опору різання ґрунту за один оберт інтенсифікатора

$$\begin{aligned} P_{01cp} &= \frac{A}{2\pi R} = \frac{\alpha_k}{2\pi} \cdot z \cdot m_6 \cdot h_{сер} \left\{ \varphi \cdot [B - (n-1) \cdot K_{\delta_{i4}}^2 \times \right. \\ &\times h_{сер} \cdot ctg\gamma] + n \cdot [0,5\eta_{\delta_{i4}} \cdot K_{\delta_{i4}}^2 \cdot h_{сер} \cdot ctg\gamma + \\ &+ \eta_{\delta_{i4.зр}} \cdot (1 - K_{\delta_{i4}})] \left. \right\}. \quad (24) \end{aligned}$$

Середнє значення нормальної складової опору різання ґрунту за один оберт інтенсифікатора

$$P_{02cp} = P_{01cp} \cdot ctg(\alpha_p + \delta), \quad (25)$$

де α_p - кут різання; δ - кут зовнішнього тертя ґрунту.

Для визначення горизонтальної складової опору копання різально-метальним інтенсифікатором у напрямі переміщення ковша скрепера потрібно врахувати опір від розгону ґрунту до кутової швидкості обертання інтенсифікатора в зоні різання.

Витрати потужності на розгін ґрунту у зоні різання

$$N_p = B \cdot h_{ин} \cdot K_p \cdot \gamma_2 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot R_c}{2000}, \text{ кВт} \quad (26)$$

де K_p - коефіцієнт розпушення ґрунту; ω_0 - кутова швидкість обертання інтенсифікатора; $R_c = R - h_{сер}$ - радіальна координата центра ваги об'єму ґрунту, що зрізається різальним ножем; γ_2 - об'ємна вага ґрунту.

Сила інерції P_p , що діє на ґрунт під час його розгону до кутової швидкості ω_0 дорівнює

$$P_p = \frac{1000 \cdot N_p}{R_c \cdot \omega_0}, \text{ Н} \quad (27)$$

Середнє значення горизонтальної складової опору копання різально-метальним інтенсифікатором у напрямі переміщення ковша скрепера

$$\begin{aligned} W_{01} &= P_{01cp} \cdot \cos \alpha_{к.ср} + P_{02cp} \cdot \sin \alpha_{к.ср} + \\ &+ P_p \cdot \cos \alpha_{цв}, \quad (28) \end{aligned}$$

де $\alpha_{цв}$ - кутова координата центра ваги об'єму ґрунту, що зрізається.

Об'єм ґрунту, що зрізається за один оберт різально-метального інтенсифікатора

$$Q = V_c \cdot \frac{60}{n_{инт}} \cdot B \cdot h_{инт}. \quad (29)$$

Енергоємність різання ґрунту різально-

металльним інтенсифікатором

$$E = \frac{\sum A}{Q} = \frac{n_{im} \cdot \sum A}{60 \cdot V_c \cdot B \cdot h_{im}} \quad (30)$$

Основний ніж скрепера є прямолінійним з шириною B ковша скрепера, який здійснює різання ґрунту на глибину h_n (рис. 4). Так як, ширина ножа на порядок перевищує глибину різання ґрунту, то для знаходження горизонтальної складової опору різання доцільно використати теорію граничної рівноваги ґрунтів. Згідно неї горизонтальна складова опору різання дорівнює [6]

$$W_{01,n} = (1 + ctg \alpha_{p,n} \cdot tg \delta) \cdot A_1 \cdot B \cdot h_n \cdot \left[\frac{\gamma_z \cdot g \cdot h_n}{2} + \right.$$

$$\left. + C_w \cdot ctg \rho \cdot \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) + p_{nl} \right], \quad (31)$$

де $\alpha_{p,n}$ - кут різання ґрунту ножем; δ - кут зовнішнього тертя ґрунту; γ_z - густина природного ґрунту; C_w - зчеплення ґрунту; ρ - кут внутрішнього тертя ґрунту; p_{nl} - розподільне навантаження від пласта ґрунту, що поступає у ківш.

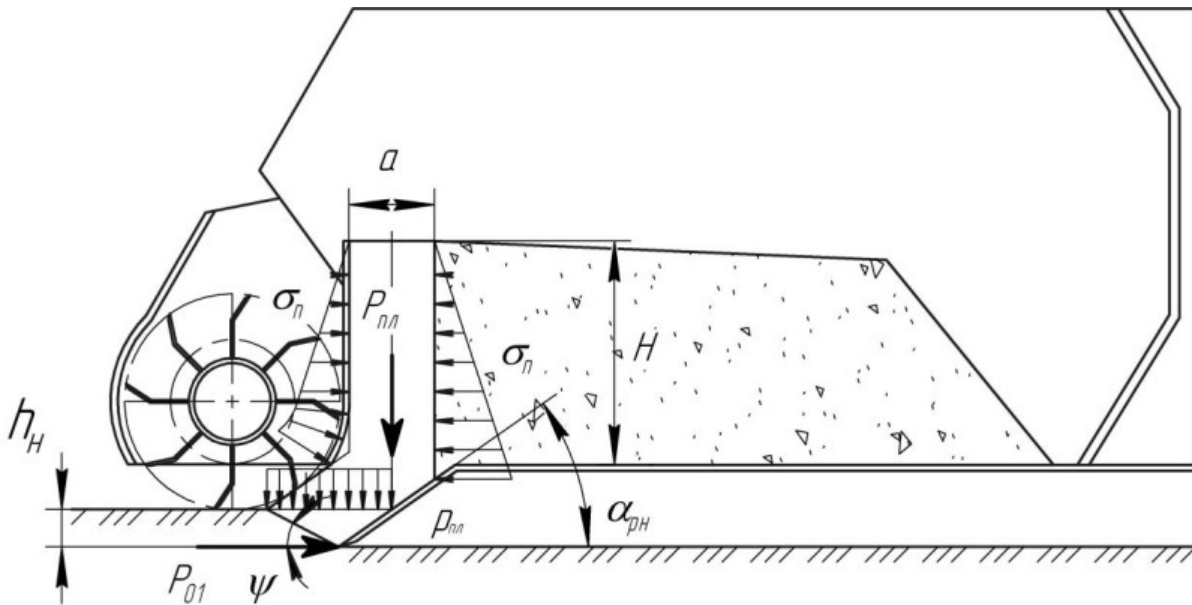


Рис. 4. Розрахункова схема визначення опору різання ґрунту основним ножем

Величина коефіцієнта A_1 визначається аналітично в залежності від кута різання $\alpha_{p,n}$

$$\text{При } \alpha_{p,n} \leq \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \delta}{\sin \rho} - \frac{\delta}{2}$$

$$A_1 = \frac{1 - \sin \rho \cdot \cos 2\alpha_{p,n}}{1 - \sin \rho} \quad (32)$$

Розподільне навантаження p_{nl} дорівнює

$$p_{nl} = \frac{P_{nl} \cdot \sin \alpha_p}{B \cdot a} \quad (33)$$

де P_{nl} - опір руху пласта, що вирізається з ґрунтового масиву, вздовж поверхні різального ножа; a - ширина основи ґрунту, що зрізається.

Ширина основи ґрунту, що зрізається рівна

$$a = k_\psi \cdot h, \quad (36)$$

де

$$k_\psi = \frac{tg \alpha_{p,n} + tg \psi}{tg \alpha_{p,n} \cdot tg \psi} \quad (37)$$

$$\psi = \frac{\pi}{2} - \frac{\rho}{2} \text{ - кут зсуву ґрунту.}$$

Опір руху пласта зрізаного ґрунту у порожнину ковша дорівнює

$$P_{nl} = (tg \rho + tg \delta) \cdot \cos^2 \rho \cdot \gamma \cdot g \cdot B \cdot H^2 + \gamma_p \cdot g \cdot a \cdot B \cdot H_z, \quad (38)$$

де H_z - максимальна висота підйому пласта ґрунту; $H_z = (0,6 \dots 0,7) H_k$, де H_k - висота ковша.

Висновки.

1. Запропоновано комбінований спосіб пошарового копання ґрунту ковшем скрепера з поєднанням традиційного різання ґрунту прямолінійним ножем та використанням різально-металльного інтенсифікатора для одночасного різання ґрунту та його транспортування у ківш.

2. Отримані математичні моделі визначення силових параметрів процесу різання ґрунту для встановлення раціональних геометричних та кінематичних параметрів різальної системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Машины для земляных работ: Пособие / 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.
2. Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве / [В. И. Баловнев, Л. А. Хмара] – Москва: Транспорт, 1983. – 384 с.
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]. – Москва: Транспорт, 1993. – 383 с.
5. Федоров Д. И. Рабочие органы землеройных машин / Д. И. Федоров. Москва: Машиностроение, 1977. - 288 с.
6. Баловнев В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин / В. И. Баловнев. - Москва: Машиностроение, 1994. - 432 с.
7. Ветров Ю. А. Резание грунтов землеройными машинами / Ю. А. Ветров. - Москва: Машиностроение, 1971. - 357 с.
8. Современные скреперы с механизированной загрузкой: Обзорная информация / Баловнев В. И., Ронинсон Э. Г., Толмачев А. И., Хмара Л. А., Яркин А. А. Серия 2 "Дорожные машины". - М.: ЦНИИТЭСтроймаш. - 1990. - Вып. 3. - 41 с.
9. 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.
10. 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.
11. Голубченко О. І. Конструкції та застосування різально-металних 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. Balovnev V. I. Intensifikatsiya zemlyanykh rabot v dorozhnom stroitelstve [Intensification of earthmovings is in travelling building] / V. I. Balovnev, L. A. Khmara – M.: Transport, 1983. – 384 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 rotorno-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 nauchnykh trudov PGASA «Intensifikatsiya rabochih protsessov stroitelnykh i dorozhnykh mashin». Vypusk 10. Pod'emno-transportnyie, stroitelnyie i dorozhnyie mashiny i oborudovanie. – Dnepropetrovsk, 2000. – P. 54-63.
4. Kavalero A. A. Rotornyye metatelye gruntov: Obzor [Rotor throwers of soils: Review]. - M.: TsNIITEstroy mash, 1969. - 38 p.
5. Fedorov D. I. Rabochie organyi zemleroynykh mashin [Working organs of earthmovers] / D. I. Fedorov. Moskva: Mashinostroenie, 1977. - 288 p.
6. Balovnev V. I. Modelirovanie protsessov vzaimodeystviya so sredoy rabochih organov dorozhno-stroitelnykh mashin [Design of processes of co-operating with the environment of working organs of trailbuilders]. - M.: Mashinostroenie, 1994. - 432 p.
7. Vetrov Yu. A. Rezanie gruntov zemleroynymi mashinami [Cutting with of soils earthmovers] / Yu. A. Vetrov. - Moskva: Mashinostroenie, 1971. - 357 p.
8. Sovremennyye skrepery s mehanizirovannoy zagruzkoy: Obzornaya informatsiya [Modern drag shovels with the mechanized loading: Survey information] / Balovnev V. I., Roninson E. G., Tolmachev A. I., Hmara L. A., Yarkin A. A. Seriya 2 "Dorozhnyie mashiny". - M.: TsNIITEstroy mash. - 1990. - Vyip. 3. - 41 p.
9. Golubchenko O. I. Kinematicheskiye osoblyivosty protsesu transportuvannya gruntu gvintovim robochim organom rizalno-kidalnogo tipu dlya zemleriyno-transportnykh mashin bezperervnoy 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.
10. Golubchenko O. I. Oglyad ta propozitsiyi konstruksiyi aktivnogo robochogo obladnannya zemleriyno-transportnykh mashin bezperervnoy 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.
11. Golubchenko O. I. Konstruksiyi ta zastosuvannya rizalno-metalnih organiv dlya intensifikatsiyi rabochih protsesiv zemleriyno-transportnykh 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.