

УДК 621.878

ВИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗ ХАРАКТЕРУ ЗМІНИ СИЛОВИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ЗЕМЛЕРИЙНО-ТРАНСПОРТНОЇ МАШИНИ ЦИКЛІЧНОЇ ДІЇ

ХМАРА Л. А.¹, *д-р техн. наук, проф.*,

ГОЛУБЧЕНКО О. І.^{2*}, *канд. техн. наук, доц.*

¹Кафедра будівельних і дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (093) 267-03-86, 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, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (050) 514-61-02, e-mail: alexgol@ua.fm, ORCID ID: 0000-0003-2971-1263.

Анотація. Постановка проблеми. Ефективність виконання робочого процесу землерийно-транспортною машиною для копання ґрунту залежить від повної реалізації потужності силового обладнання та тягових характеристик ходового обладнання під час виконання цієї операції. Найбільш ефективним буде режим копання ґрунту, коли від його початку до кінцевої стадії силове обладнання реалізує номінальну потужність, а ходове обладнання – максимальний тяговий ККД, за якого буксування рушії не перевищує певне допустиме значення. Однак для традиційних конструкцій землерийно-транспортних машин циклічної дії, таких як скрепер, бульдозер, реалізувати ці умови важко. Особливість процесу копання полягає у зростанні опору копанню ґрунту від його початкової стадії до кінцевої, коли максимально реалізуються тягові властивості машини. Тому розрахунок потужності силового обладнання враховує тягові показники машини на кінцевій стадії копання. Також у сучасних землерийно-транспортних машин з метою підвищення продуктивності даводиться збільшувати транспортні швидкості, що потребує збільшення потужності двигуна і вона може перевищувати потрібну потужність для робочого режиму. Таким чином, нестационарність робочого процесу спричинює неповне використання потужності силового обладнання машини і внаслідок цього появу її залишків. Величина залишків потужності залежить від стадії копання ґрунту, його фізико-механічних властивостей, умов взаємодії ходового обладнання з поверхнею руху. Один із засобів реалізації залишкової потужності – це використання її для приводу інтенсифікаторів робочого процесу землерийно-транспортних машин. Тому для ефективного вибору параметрів інтенсифікатора, режимів його роботи потрібно знати величину залишкової потужності та характер її зміни під час копання ґрунту. **Мета статті** – розроблення методики визначення залишкової потужності силового обладнання землерийно-транспортної машини на прикладі самохідного скрепера, характеру її зміни під час копання ґрунту з урахуванням фізико-механічних характеристик ґрунту та умов взаємодії ходового обладнання з поверхнею руху. **Висновок.** Запропоновано методику визначення змінних силових та енергетичних параметрів процесу копання ґрунту самохідним скрепером залежно від геометричних параметрів ковша скрепера, умов взаємодії його з ґрунтом, фізико-механічних властивостей ґрунту та особливостей ходового обладнання. Встановлено величину та характер зміни залишкової потужності силового обладнання під час копання ґрунту, яку доцільно використовувати для інтенсифікації робочого процесу скрепера. Для реалізації тягових властивостей ходового обладнання землерийно-транспортної машини, зниження матеріалоемності та енергоємності інтенсифікатора доцільно частково виконувати інтенсифікацію робочого процесу з використанням залишкової потужності двигуна.

Ключові слова: скрепер; копання ґрунту; змінні силові та енергетичні параметри; залишкова потужність; тягові властивості ходового обладнання; інтенсифікація робочого процесу

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ХАРАКТЕРА ИЗМЕНЕНИЯ СИЛОВЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ЗЕМЛЕРИЙНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

ХМАРА Л. А.¹, *д-р техн. наук, проф.*

ГОЛУБЧЕНКО О. І.^{2*}, *канд. техн. наук, доц.*

¹Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (093) 267-03-86, 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, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (050) 514-61-02, e-mail: alexgol@ua.fm, ORCID ID: 0000-0003-2971-1263.

Аннотация. Постановка проблемы. Эффективность выполнения рабочего процесса землерийно-

транспортной машиной по копанию грунта зависит от полной реализации мощности силового оборудования и тяговых свойств ходового оборудования во время выполнения этой операции. Наиболее эффективным будет режим копания, когда от его начала до конечной стадии силовое оборудование реализует номинальную мощность, а ходовое оборудование – максимальный КПД, при котором буксование движителя не превышает определенное допустимое значение. Однако, для традиционных конструкций землеройно-транспортных машин циклического действия, таких как скрепер, бульдозер, реализовать эти условия трудно. Особенность процесса копания заключается в увеличении сопротивления копанию грунта от начальной стадии до конечной, когда максимально реализуются тяговые возможности машины. Поэтому расчет мощности силового оборудования учитывает силовые показатели машины на конечной стадии копания. Также в современных землеройно-транспортных машинах с целью повышения производительности приходится увеличивать транспортные скорости, которые требуют увеличения мощности двигателя, и она может превышать требуемую мощность для рабочего режима. Таким образом, нестационарность рабочего процесса приводит к неполному использованию мощности силового оборудования машины и вследствие этого появлению её остатков. Величина остатков мощности зависит от стадии копания грунта, его физико-механических свойств, условий взаимодействия ходового оборудования с поверхностью движения. Один из способов реализации избыточной мощности – это использование её для привода интенсификаторов рабочего процесса землеройно-транспортных машин. Поэтому для эффективного выбора параметров интенсификатора, режимов его работы необходимо знать величину остатков мощности и характер её изменения во время копания грунта. **Цель статьи** – разработка методики определения остаточной мощности силового оборудования землеройно-транспортной машины на примере самоходного скрепера, характера её изменения при копании грунта с учетом физико-механических характеристик грунта и условий взаимодействия ходового оборудования с поверхностью движения. **Вывод.** Предложена методика определения текущих силовых и энергетических параметров процесса копания грунта самоходным скрепером в зависимости от геометрических параметров ковша скрепера, условий его взаимодействия с грунтом, физико-механических свойств грунта и особенностей ходового оборудования. Установлена величина и характер изменения остаточной мощности силового оборудования при копании грунта, которую целесообразно использовать для интенсификации рабочего процесса скрепера. Для реализации тяговых свойств ходового оборудования землеройно-транспортной машины, снижения материалоемкости и энергоемкости интенсификатора целесообразно частично проводить интенсификацию рабочего процесса с использованием остаточной мощности двигателя.

Ключевые слова: скрепер; копание грунта; текущие силовые и энергетические параметры; остаточная мощность; тяговые свойства ходового оборудования; интенсификация рабочего процесса

DETERMINATION AND ANALYSIS OF CHANGE POWER CHARACTER AND POWER PARAMETERS OF EARTHMOVING-TRANSPORT WORKING PROCESS MACHINES OF CYCLIC ACTION

KHMARA L. A.¹, *Doctor of Technical Sciences, Professor.*

HOLUBCHENKO A. I.^{2*}, *Ph. D., Associate Professor.*

¹Department of Building and Traveling of machines (BTM), State Higher Educational Establishment (SHEE) «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», st. Chernyshevsky, 24-A, Dnipro, 49600, 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, Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (050) 514-61-02, e-mail: alexgol@ua.fm, ORCID ID: 0000-0003-2971-1263.

Summary. Raising of problem. Efficiency of implementation working process an earthmoving-transport machine on digging of soil depends on complete realization of power equipment and hauling properties working equipment during implementation this operation. Most effective will be the mode of digging when from his beginning to the final stage a power equipment will realize nominal power, and working equipment maximal KKD at that skidding of mover does not exceed the defined possible value. However, for the traditional constructions of earthmoving-transport machines cyclic action, for such, as a drag shovel, bulldozer, realizing these terms is heavy. The feature of process digging consists in the increase of resistance to digging soil from the ego of the initial stage to eventual when hauling possibilities of machine will be maximally realized. Therefore the calculation of power equipment takes into account the power indexes of machine on the final stage of digging. Thus the unstationarity of working process results in the under exploitation of power equipment machine and hereupon appearance her bits and pieces. The size of bits and pieces power depends on the stage digging of soil, his physical and mechanical properties, terms cooperation of working equipment with the surface of motion. One of methods realization surplus power, this use it for the drive intensifiers working process of earthmoving-transport machines. Therefore for the effective choice parameters of intensifier, his office hours it is necessary to know the size of bits and pieces of power and character her change during digging of soil. **The purpose of the article.** Development of methodology determination remaining power equipment an earthmoving-transport machine on the example self-propelled drags hovel, character her change at digging of soil

taking into account physical and mechanical properties of soil and terms cooperation working equipment with the surface of motion. **Conclusion.** Methodology of determination current power and power parameters process digging of soil depending on the geometrical parameters scoop drag shovel, terms his cooperating with soil, physical and mechanical properties of soil and features working equipment a self-propelled drags hovel is offered. A size and character of change remaining power equipment are set at digging of soil, that it is expedient to use for intensification of working process drags hovel.

Keywords: drag shovel; digging of soil; current power and power parameters; remaining power; hauling properties of working equipment; intensification of working process

Постановка проблеми. Один із шляхів підвищення ефективності землерийної техніки – використання інтенсифікаторів робочого процесу, які дозволять знизити загальний опір копанню ґрунту, збільшити об'єм ґрунту в ковші скрепера або у призмі волочіння перед відвалом бульдозера. Найбільш практичну реалізацію отримали на машинах для земляних робіт механічні інтенсифікатори у вигляді гвинтових та шнекових завантажувачів, елеваторів, металників тощо. Кожна конструкція інтенсифікатора має привідні двигуни, які отримують енергію від силового обладнання базової машини. Вибираючи раціональні параметри інтенсифікатора та режимів його роботи, потрібно знати частку вільної потужності машини, яка залишається після реалізації тягових властивостей ходового обладнання під час процесу копання з максимальним тяговим ККД.

Аналіз публікацій. Конструкціям інтенсифікаторів та вибору їх параметрів присвячені праці [1–5]. Переважно в них розглядаються та досліджуються технічні рішення інтенсифікаторів, у яких ґрунт транспортується у порожнину ковша або призму волочіння після різальної системи у повному об'ємі. Такий режим роботи інтенсифікатора потребує значного відбору потужності двигуна базової машини, збільшує масу інтенсифікатора, не дає ефективно реалізувати тягово-зчіпні властивості землерийно-транспортної машини у цілому.

Виклад основного матеріалу. Робочий процес копання ґрунту землерийно-транспортною машиною, наприклад скрепером, здійснюється на тяговому режимі. Його особливість – наявність високого опору при взаємодії робочого обладнання з ґрунтом,

необхідність долання опору коченню ходового обладнання, опору руху на підйом, наявність витрат потужності на буксування колісних рушій, необхідність долання сил інерції.

Однак перелічені силові та енергетичні параметри робочого процесу є змінними під час копання ґрунту і залежать від поточного об'єму ґрунту в ковші. Тобто, щоб знати характер зміни вказаних параметрів робочого процесу скрепера, потрібно встановити залежність об'єму ґрунту в ковші від шляху копання.

Розглянемо поточний процес заповнення ковша скрепера згідно з розрахунковою схемою на рисунку 1. Зрізаний об'єм ґрунту на відстані L розподіляється таким чином: V_1 – об'єм ґрунту в основній частині ковша; V_2 – об'єм пласта ґрунту, що підіймається від різального ножа ковша; V_3 – об'єм ґрунту в порожнині передньої заслінки; V_{np} – об'єм призми волочіння перед передньою заслінкою.

Об'єм V_1 дорівнює:

$$\text{при } H \leq L_k \cdot \operatorname{tg} \rho \quad V_1 = 0,5 \cdot B \cdot H^2 \cdot \operatorname{ctg} \rho; \quad (1)$$

$$\text{при } H > L_k \cdot \operatorname{tg} \rho \quad V_1 = 0,5B(2H - L_k \operatorname{tg} \rho) \cdot L, \quad (2)$$

де B – ширина ковша; H – поточне значення висоти ґрунту у ковші; L_k – довжина ковша; L – поточне значення шляху копання; ρ – кут зовнішнього тертя ґрунту.

Об'єм V_2 дорівнює:

$$V_2 = B \cdot a \cdot H, \quad (3)$$

де $a = K_\psi \cdot h$ – ширина основи пласта ґрунту, що рухається у ковші;

$$K_\psi = \frac{\operatorname{tg} \alpha_p + \operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg} \alpha_p \cdot \operatorname{tg} \psi};$$

α_p – кут різання ґрунту; $\psi = \frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}$ – кут

зсуву ґрунту.

Об'єм V_3 дорівнює:

$$V_3 = \frac{0,5 \cdot H^2 \cdot B \cdot \cos \alpha_3 \cdot \cos \rho}{\sin(\alpha_3 + \rho)}, \quad (4)$$

де $\alpha_3 = \arctg \frac{H_3}{L_3}$.

Згідно з дослідженням [9], об'єм

призми волочіння дорівнює:

$$V_{np} = 0,75 \cdot \frac{H_{np}^2 \cdot B}{\operatorname{tg} \rho}, \quad (5)$$

де $H_{np} = 0,41 \cdot H$ – висота призми волочіння.

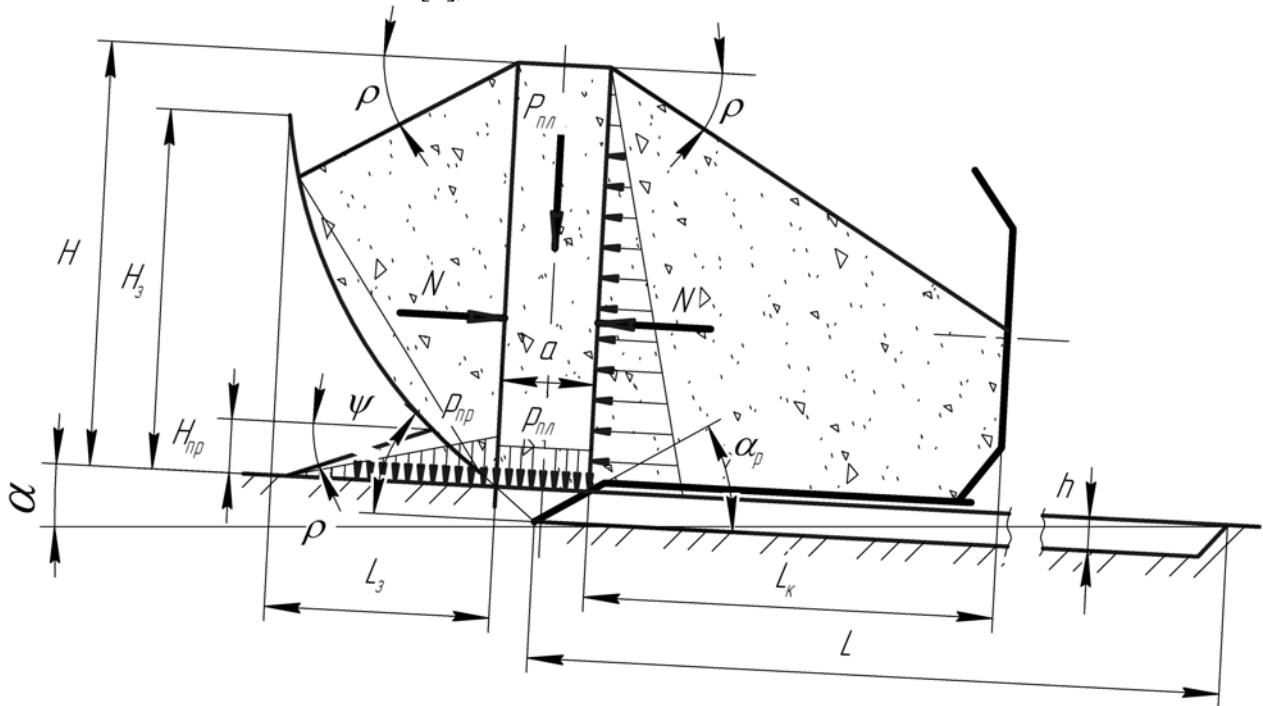


Рис. 1. Розрахункова схема поточного процесу копання ґрунту та заповнення ковша скрепера

Загальний об'єм ґрунту у ковші та призми волочіння складає:

при $H \leq L_k \cdot \operatorname{tg} \rho$

$$\Sigma V = 0,5 \cdot BH^2 \left[1,252 \cdot \operatorname{ctg} \rho + \frac{\cos \alpha_3 \cdot \cos \rho}{\sin(\alpha_3 + \rho)} \right] + B \cdot a \cdot h; \quad (6)$$

при $H > L_k \cdot \operatorname{tg} \rho$

$$\Sigma V = 0,5 \cdot B \left[(2H - L_k \operatorname{tg} \rho) L_k + 2aH \right] + H^2 B \cdot \left[\frac{0,5 \cos \alpha_3 \cos \rho}{\sin(\alpha_3 + \rho)} + 0,126 \operatorname{ctg} \rho \right]. \quad (7)$$

З іншого боку:

$$\Sigma V = K_p \cdot B \cdot h \cdot L, \quad (8)$$

де h – глибина різання ґрунту; K_p – коефіцієнт розпушення ґрунту; L – поточне значення шляху копання.

З рівностей (5), (6), (7) та (8) можна отримати рівняння для визначення поточного значення висоти H ґрунту в

ковші залежно від геометричних параметрів ковша, шляху L , глибини копання h та кута внутрішнього тертя ґрунту ρ .

Рівняння має вигляд:

$$q_1 \cdot H^2 + q_2 \cdot H - q_3 = 0, \quad (9)$$

де при $H \leq L_k \cdot \operatorname{tg} \rho$

$$q_1 = 0,5 \left[1,252 \cdot \operatorname{ctg} \rho + \frac{\cos \alpha_3 \cdot \cos \rho}{\sin(\alpha_3 + \rho)} \right]; \quad (10)$$

$$q_2 = a; \quad (11)$$

$$q_3 = K_p \cdot h \cdot L; \quad (12)$$

при $H > L_k \cdot \operatorname{tg} \rho$

$$q_1 = \frac{0,5 \cos \alpha_3 \cdot \cos \rho}{\sin(\alpha_3 + \rho)} + 0,126 \cdot \operatorname{ctg} \rho; \quad (13)$$

$$q_2 = L_k + a; \quad (14)$$

$$q_3 = 0,5 \cdot L_k^2 \cdot \operatorname{tg} \rho + K_p \cdot h \cdot L. \quad (15)$$

З рівняння (9) поточне значення висоти

грунту у ковші скрепера:

$$H = \frac{\sqrt{q_2^2 - 4 \cdot q_1 \cdot q_3} - q_2}{2 \cdot q_1} \quad (16)$$

Опір, який виникає під час роботи землерийно-транспортної машини у процесі копання ґрунту, долається коловою силою P_k рушія ходового обладнання.

Так, у робочому процесі самохідного скрепера сила P_k витрачається на додання сили опору копанню ґрунту W_k , опору руху ходового обладнання W_f , опору руху на підйом від ухилу шляху W_h . Сили W_k , W_f , W_h залежать від поточного шляху копання L , тобто $W_k(L)$, $W_f(L)$ та $W_h(L)$, і тоді колова сила:

$$P_k(L) = W_k(L) + W_f(L) + W_h(L) - W_{in}(L), \quad (17)$$

де $W_{in}(L)$ – додаткова сила тяги, яка створюється силами інерції при поступовому вповільненому руху машини.

Дійсна швидкість руху машини дорівнює:

$$V_o = V_T \cdot [1 - \delta(L)], \quad (18)$$

де $\delta(L)$ – коефіцієнт буксування, який залежить від колової сили $P_k(L)$ на рушії ходового обладнання машини, вертикального навантаження на них $G_1(L)$, теоретичної швидкості V_T руху скрепера під час копання ґрунту та фізико-механічних властивостей ґрунту поверхні руху ходового обладнання.

Згідно з дослідженням [7], коефіцієнт буксування для пневмоколісного ходового обладнання визначається наступною формулою:

$$\delta(L) = A \frac{P_k(L)}{G_1(L)} + B \left[\frac{P_k(L)}{G_1(L)} \right]^n, \quad (19)$$

де A, B, n – коефіцієнти, що залежать від типу шин, тиску повітря та ґрунтових умов [7].

Для самохідних скреперів навантаження на привідні рушії ходового обладнання базової машини складає: для порожнього скрепера $G_1 = (0,6...0,7)G_0$; для завантаженого – $G_1 = (0,45...0,50)G$, де G_0 –

загальна вага порожнього скрепера; G – загальна вага скрепера разом із ґрунтом у ковші [7; 10].

Для визначення горизонтальної складової опору копанню ґрунту ковшем скрепера приймаємо аналітичну залежність [6], яка має такий вигляд:

$$W_e(L) = A_\alpha \cdot A_1 \cdot B \cdot h \cdot \left(\frac{\gamma \cdot g \cdot h}{2} + C_w \cdot \left[1 + \frac{1}{A_1} \right] \cdot ctg\rho + \right. \\ \left. + \frac{K_{mp}}{K_w} \cdot \gamma_p \cdot g \cdot \cos^2 \rho \cdot tg\rho \cdot \frac{H^2}{h} + \gamma_p \cdot g \cdot H \right) + \\ + 2 \cdot A_3 \cdot t \cdot h \cdot \left(\frac{\gamma \cdot g \cdot h}{2} + C_w \cdot \left[1 + \frac{1}{A_3} \right] \cdot ctg\rho \right) + \\ + \gamma_p \cdot g \cdot \cos^2 \rho \cdot \frac{B \cdot H_{np}^2}{2}, \quad (20)$$

де $A_\alpha = 1 + ctg\alpha_p \cdot tg\delta$;

$$A_1 = \frac{1 - \sin \rho \cdot \sin 2\alpha_p}{1 - \sin \rho};$$

$$A_3 = \frac{\cos \delta \cdot (\cos \delta + \sqrt{\sin^2 \rho - \sin^2 \delta})}{1 - \sin \rho} \times \\ \times \exp \left(\delta + \arcsin \frac{\sin \delta}{\sin \rho} \right) \cdot tg\rho;$$

B – ширина ковша; h – глибина копання; C_w – зчеплення ґрунту з незруйнованою структурою; t – товщина бічних підрізальних ножів; H_{np} – висота призми волочіння; δ – кут зовнішнього тертя ґрунту; α_p – кут різання ґрунту; K_{mp} – коефіцієнт, що враховує вплив опорів на бічних поверхнях пласта ґрунту, $K_{mp} = 1,1...1,2$.

Опір коченню ходового обладнання:

$$W_f(L) = f \cdot [G_0 + m_{ep}(L) \cdot g] \cdot \cos \alpha, \quad (21)$$

де f – коефіцієнт опору коченню ходового обладнання; $m_{ep}(L)$ – поточне значення маси ґрунту у ковші скрепера; α – кут ухилу шляху.

Опір руху на підйом:

$$W_h(L) = [G_0 + m_{ep}(L) \cdot g] \cdot \sin \alpha. \quad (22)$$

Додаткова сила тяги, яка створюється силами інерції:

$$W_{\dot{v}}(L) = [m_0 + m_{\dot{a}0}(L)] \cdot \frac{\Delta V_{\dot{a}}}{\Delta t}, \quad (23)$$

де $\Delta V_{\dot{a}}$ – зміна дійсної швидкості скрепера на визначеному інтервалі шляху копання; Δt – час руху скрепера на визначеному інтервалі.

Сумарна потужність ΣN , яка підводиться до рушіїв ходового обладнання землерійно-транспортної машини з механічною трансмісією під час копання ґрунту, дорівнює:

$$\Sigma N = N_f + N_h + N_{\delta} + N_{\kappa} + N_0, \quad (24)$$

де N_f – потужність, яка витрачається на додання опору коченню ходового обладнання; N_h – потужність, яка витрачається на додання опору підйому шляху; N_{δ} – потужність, яка витрачається на буксування рушіїв ходового обладнання; N_{κ} – потужність, яка витрачається на додання опору копанню ґрунту; N_0 – потужність на привід

системи керування під час копання.

Складові потужності у рівнянні (24) визначаються наступними залежностями:

$$N_f = W_f(L) \cdot V_{\dot{a}}; \quad (25)$$

$$N_h = W_h(L) \cdot V_{\dot{a}}; \quad (26)$$

$$N_{\delta} = P_{\kappa}(L) \cdot (V_m - V_{\dot{a}}); \quad (27)$$

$$N_{\kappa} = [W_{\kappa}(L) - W_{in}(L)] \cdot V_{\dot{a}}; \quad (28)$$

Потужність N_0 у таких землерійно-транспортних машинах як бульдозер, скрепер витрачається короткочасно під час зміни положення робочого обладнання і тому для визначення залишкової потужності приймаємо $N_0 = 0$.

Поточне значення залишкової потужності:

$$\Delta N = N_e \cdot \eta_m - \Sigma N, \quad (29)$$

де N_e – ефективна потужність силового обладнання машини; η_m – ККД приводу ходового обладнання.

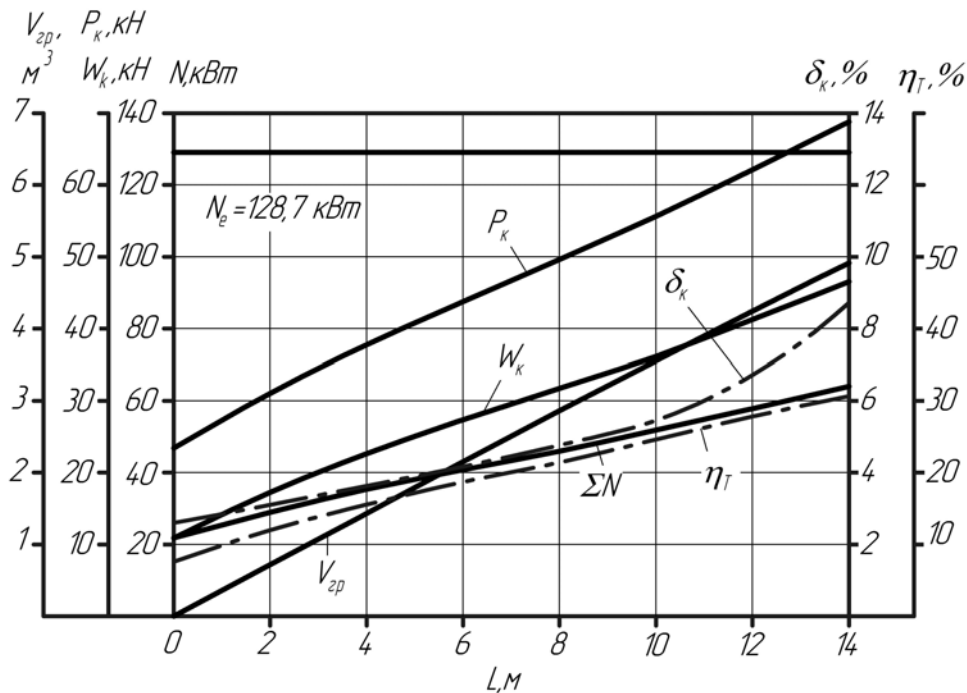


Рис. 2. Характер зміни силових та енергетичних параметрів робочого процесу самохідного скрепера ДЗ-87-1 під час копання ґрунту

Розглянемо визначення силових та енергетичних параметрів робочого процесу землерійно-транспортної машини на прикладі самохідного скрепера ДЗ-87-1 за таких вихідних даних [11]: базова

машина – пневмоколісний трактор Т-150К; загальна маса порожнього скрепера $m_0 = 12800$ кг; геометрична ємкість ковша $q = 4,5$ м³, ефективна потужність двигуна $N_e = 128,7$ кВт;

теоретична швидкість руху на першій передачі $V_m = 0,93$ м/с; глибина копання ґрунту $h = 0,135$ м; геометричні параметри ковша: $L_k = 1,0$ м; $L_3 = 0,6$ м; $H_3 = 1,125$ м; $B = 2,43$ м; $t = 20$ мм; $\alpha_p = 35^0$; коефіцієнти $A = 0,09$; $B = 1,5$; $n = 8$; фізико-механічні властивості ґрунту: тип ґрунту – суглинок другої категорії $C_{yo} = 6-8$; кут внутрішнього тертя $\rho = 37^0$; кут зовнішнього тертя $\delta = 27^0$; зчеплення $C_w = 0,085$ МПа; щільність ґрунту у природному стані $\gamma = 2000$ кг/м³, у розпушеному стані $\gamma_p = 1800$ кг/м³.

Характер зміни силових та енергетичних параметрів робочого процесу скрепера ДЗ-87-1 під час копання наведено на рисунку 2.

Аналіз зміни змінних параметрів процесу копання ґрунту скрепером ДЗ-87-1 дозволяє визначити залежність вільної потужності силового обладнання, які складають на початку робочого процесу до 63 %, а в кінці – до 35 % від номінальної потужності силового обладнання базової машини. При цьому значення коефіцієнта буксування $\delta_k < 10\%$, а тяговий ККД не перевищує 35 %, що свідчить про неповне використання потужності силового обладнання.

Визначений резерв потужності можна використати для інтенсифікації робочого процесу скрепера з метою збільшення об'єму ґрунту в ковші і відповідно

продуктивності земляних робіт. Режим роботи інтенсифікатора повинен бути змінним, більше завантажуватися на початковій стадії з подальшим зменшенням потужності.

Реалізувати такі умови дозволяють механічні інтенсифікатори у вигляді гвинтових та шнекових завантажувачів, різально-метальних пристроїв, які в першу чергу ефективно заповнюють задню частину ковша, допомагають підйому ґрунту від різальної системи у внутрішню порожнину ковша.

Висновок. Запропоновано методику визначення змінних силових та енергетичних параметрів процесу копання ґрунту самохідним скрепером залежно від геометричних параметрів ковша скрепера, умов взаємодії його з ґрунтом, фізико-механічних властивостей ґрунту та особливостей ходового обладнання.

Встановлено величину та характер зміни залишкової потужності силового обладнання під час копання ґрунту, яку доцільно використовувати для інтенсифікації робочого процесу скрепера.

Для реалізації тягових властивостей ходового обладнання землерійно-транспортної машини, зниження матеріалоємності та енергоємності інтенсифікатора доцільно частково виконувати інтенсифікацію робочого процесу з використанням залишкової потужності двигуна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Баловнев В. И. Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара. – Москва : Транспорт, 1983. – 183 с.
2. Хмара Л. А. Модернизация и повышение производительности строительных машин / Л. А. Хмара, Н. П. Колесник, В. П. Станевский. – Киев : Будівельник, 1992. – 152 с.
3. Баловнев В. И. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве / Баловнев В. И., Хмара Л. А. – Москва : Транспорт, 1993. – 383 с.
4. Баловнев В. И. Дорожно-строительные машины с рабочими органами интенсифицирующего действия / В. И. Баловнев. – Москва : Машиностроение, 1981. – 223 с.
5. Современные скреперы с механизированной загрузкой : обзор. информ. / Баловнев В. И., Ронинсон Э. Г., Толмачев А. И., Хмара Л. А., Яркин А. А. – Москва, 1990. – Серия 2 : Дорожные машины, вып. 3. – 41 с.
6. Баловнев В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин / Баловнев В. И. – 2-е изд., перераб. – Москва : Машиностроение, 1994. – 432 с.
7. Ульянов Н. А. Теория самоходных колесных землеройно-транспортных машин / Н. А. Ульянов. – Москва : Машиностроение, 1969. – 520 с.
8. Федоров Д. И. Рабочие органы землеройных машин / Д. И. Федоров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1990. – 368 с.

9. Артемьев К. А. Основы теории копания грунта скреперами / К. А. Артемьев. – Москва ; Свердловск : Машгиз, 1963. – 127 с.
10. Проектирование машин для земляных работ : учеб. пос. для вузов по спец. "Строит. и дор. машины и оборуд." / А. М. Холодов, В. К. Руднев, В. В. Ничке, Л. В. Назаров, Е. Н. Лысиков ; под ред. А. М. Холодова. – Харьков : Вища шк., 1986. – 270 с.
11. Строительные машины : справочник : в 2 т. / под общ. ред. Э. И. Кузина. – Москва : Машиностроение, 1991. – Т 1 : Машины для строительства промышленных, гражданских сооружений и дорог. – 496 с.
12. Машины для земляных работ : підручник / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, М. П. Скоблюк, В. Г. Нікітін, М. І. Дерев'янчук, В. М. Супонев ; за заг. ред. Л. А. Хмари, С. В. Кравця. – Харків : Фавор, 2014. – 548 с.

REFERENCES

1. Balovnev V.I. and Khmara L.A. *Intensifikaciya zemlyanyx rabot v dorozhnom stroitelstve* [Intensification of earthmovings in road building]. Moskva: Transport, 1983, 384 p. (in Russian).
2. Khmara L.A., Kolisnyk M.P. and Stanevskiy V.P. *Modernizatsiia ta pidvyshchennia produktyvnosti budivelnykh mashin* [Modernisation and increase of the productivity of building machines]. Kyiv: Budivel'nik, 1992, 152 p. (in Ukrainian).
3. Balovnev V.I. and Khmara L.A. *Intensifikaciya razrabotki gruntov v dorozhnom stroitelstve* [Intensification development of soils in road building]. Moskva: Transport, 1993, 383 p. (in Russian).
4. Balovnev V.I. *Dorozhno-stroitelnye mashiny s rabochimi organami intensifitsiruyushchego dejstviya* [Road-building machines with the working organs of intensifying action]. Moskva: Mashinostroenie, 1981, 223 p. (in Russian).
5. Balovnev V.I., Roninson E.G., Tolmachev A.I., Khmara L.A. and Yarkin A.A. *Sovremennye skrepery s mexanizirovannoj zagruzkoj* [Modern dragshovels with the mechanized loading]. *Seriya 2: Dorozhnye mashiny* [Series 2: Road machines]. Moskva, 1990, iss. 3, 41 p. (in Russian).
6. Balovnev V.I. *Modelirovanie processov vzaimodeystviya so sredoj rabochix organov dorozhno-stroitelnyx mashin* [Processes modeling of interaction with the environment of working bodies of road-building machines]. Moskva: Mashinostroenie, 1994, ed. 2, 432 p. (in Russian).
7. Ulyanov N.A. *Teoriya samohodnyx kolesnyx zemlerojno-transportnyx mashin* [Theory of the self-propelled wheeled earthmoving-transport machines]. Moskva: Mashinostroenie, 1969, 520 p. (in Russian).
8. Fedorov D.I. *Rabochie organy zemlerojnyx mashin* [Working organs of earthmovers]. Moskva: Mashinostroenie, 1983, ed. 2, 368 p. (in Russian).
9. Artem'ev K.A. *Osnovy i teorii kopaniya grunta skreperami* [Bases theory of digging soil with drag shovels]. Moskva, Sverdlovsk: Mashgiz, 1963, 128 p. (in Russian).
10. Xolodov A.M., Rudnev V.K., Niche V.V., Nazarov L.V. and Lysikov I.N. *Proektirovanie mashin dlya zemlyanyx rabot* [Planning machines for earthmovings]. Kharkiv: Vischa shk., 1986, 272 p. (in Russian).
11. Kuzin E.I. *Stroitelnye mashiny: Spravochnik v 2 t.* [Building machines: reference book in 2 volums]. T. 1: *Mashiny dlya stroitelstva promyshlennyx, grazhdanskiy sooruzhenij i dorog* [Vol. 1: Machines for construction of industrial, civil buildings and roads]. Moskva: Mashinostroenie, 1991, 496 p. (in Russian).
12. Khmara L.A., Kravets S.V., Skobliuk M.P., Nikitin V.G., Derevianchuk M.I. and Suponiev V.M. *Mashiny dlia zemlianykh robot* [Machines for earthmovings]. Kharkiv: Favor, 2014, 548 p. (in Ukrainian).

Рецензент: Заренбін В. Г., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 16.09.2017 р.

Прийнята до друку: 29.09.2017 р.