

УДК 621.878.6

ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ІНТЕНСИФІКАЦІЇ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ КОВШОВОЇ ЗЕМЛЕРІЙНО-ТРАНСПОРТНОЇ МАШИНИ

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

¹ Кафедри будівельних та 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 Кафедри будівельних та 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. Для підвищення ефективності роботи ковшової землерійно-транспортної машини, наприклад, такої як самохідний скрепер, використовуються механічні інтенсифікатори різних конструкцій. Вони конструктивно виконуються у вигляді елеваторних систем, гвинтових та шнекових завантажувачів, металевих та підгребальних пристроїв. Перелічені інтенсифікатори мають загальні недоліки, а саме: ґрунт, що зрізується у повному обсязі переміщується інтенсифікатором, підвищена матеріалоемність та енергоємність, не реалізується в повному обсязі тягові зусилля базової машини, складність конструкції та низька надійність, зайве подрібнення та перемішування ґрунту. Тому потрібно розробляти такі засоби інтенсифікації робочого процесу землерійно-транспортних машин та технічні рішення для їх реалізації при яких повністю реалізуються тягові властивості ходового обладнання з максимальними тяговим та загальним ККД і залишки потужності використовувати для приводу інтенсифікатора. **Мета статті.** Запропонувати засіб інтенсифікації робочого процесу ковшової землерійно-транспортної машини для забезпечення максимальних значень загального та тягового ККД машини при мінімальних витратах потужності на інтенсифікацію робочого процесу. **Висновок.** Запропоновано інноваційний підхід до інтенсифікації робочого процесу ковшової землерійно-транспортної машини та технічні рішення для його реалізації при яких копання ґрунту частково здійснюється за рахунок тягового зусилля машини та інтенсифікатором, що реалізує залишки потужності силового обладнання, при умові реалізації найбільших значень загального та тягового ККД землерійно-транспортної машини і мінімальних витрат потужності на привід інтенсифікаторів.

Ключові слова: ківш скрепера, копання ґрунту, інтенсифікатор робочого процесу, загальний ККД машини, тяговий ККД, витрати потужності, технічні рішення інтенсифікаторів.

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА КОВШОВОЙ ЗЕМЛЕРИЙНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ

ХМАРА Л.А.¹, д.т.н., проф.,
ГОЛУБЧЕНКО А.И.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. Для повышения эффективности работы ковшовой землеройно-транспортной машины, например, такой как самоходный скрепер, используются механические интенсификаторы различных конструкций. Они конструктивно выполняются в виде элеваторных систем, винтовых и шнековых загрузчиков, метательных и подгребальных устройств. Перечисленные интенсификаторы имеют общие недостатки, а именно: ґрунт, который срезается в полном объеме перемещается интенсификатором, повышенная материалоемкость и энергоемность, не реализуются в полном объеме тяговые усилия базовой машины, сложность конструкции и низкая надежность, лишнее дробление и перемешивание ґрунта. Поэтому необходимо разрабатывать такие средства интенсификации рабочего процесса землеройно-транспортных машин и технические решения для их реализации, при которых полностью реализуются тяговые свойства ходового оборудования с максимальными тяговым и общим КПД, а остатки мощности использовать для привода интенсификатора. **Цель статьи.** Предложить способ интенсификации рабочего процесса ковшовой землеройно-транспортной машины для обеспечения максимальных значений общего и тягового КПД машины при минимальных затратах мощности на интенсификацию рабочего процесса. **Вывод.** Предложен инновационный подход к интенсификации рабочего процесса ковшовой землеройно-транспортной машины и технические решения для его реализации, при которых копаня ґрунта частично осуществляется за счет тягового усилия машины и интенсификатором, что реализует остатки

мощности силового оборудования, при условии реализации наибольших значений общего и тягового КПД землерейно-транспортной машины и минимальных затрат мощности на привод интенсификаторов.

Ключевые слова: *ковш скрепера, копанье грунта, интенсификатор рабочего процесса, общий КПД машины, тяговый КПД машины, затраты мощности, технические решения интенсификаторов.*

INNOVATIVE APPROACH TO THE INTENSIFICATION OF THE WORKING PROCESS OF THE BUCKET DIGGER TRANSPORT MACHINE

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 "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", st. Chernishevskogo, 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 "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", st. Chernishevskogo, 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. In order to increase the efficiency of the bucket earthmoving machine, for example, such as a self-propelled scraper, mechanical intensifiers of various designs are used. They are constructively executed in the form of elevator systems, screw and screw loader, metal and hook-up devices. The listed intensifiers have common disadvantages, namely: the soil that is cut off completely is transferred by the intensifier, increased material and energy intensity, the full traction effort of the base machine is not fully realized, the complexity of the design and low reliability, excessive crushing and mixing of the soil. Therefore, it is necessary to develop such means of intensifying the work process of earth moving vehicles and technical solutions for their implementation, which fully realize the traction properties of running equipment with maximum traction and overall efficiency and power balances to use for the drive of the intensifier. The purpose of the article. To offer a means of intensifying the working process of the bucket earthmover truck to ensure maximum values of the overall and tractive efficiency of the machine at minimum power consumption for the intensification of the work process. Conclusion. The innovative approach to the intensification of the work process of the bucket earthmoving machine and the technical solutions for its implementation during which the digging of the soil is partially carried out at the expense of the traction effort of the machine and the intensifier, which implements the remnants of power equipment, provided that the greatest values of the total and traction efficiency of earthmover- the vehicle and the minimum power consumption on the drive of the intensifier.

Key words: scraper bucket, digging the soil, intensifier of the working process, the overall efficiency of the machine, the cost of power, technical solutions of intensifiers.

Постановка проблеми. Використання завантажувальних пристроїв дозволяє здійснювати заповнення ковшової землерейно-транспортної машини у повному об'ємі, виключити використання тракторів-штовхачів, зменшити буксування на кінцевій стадії процесу копання. Але интенсифікатор уявляє собою окрему цілісну машину, яка складається з привідного двигуна, редуктора та робочого органу у вигляді скребкового елеватора, шнека, гвинта, металника та інших. Відбір потужності на привід интенсифікатора здійснюється переважно від двигуна базової машини. Отже, у цілому ковшова землерейно-транспортна машина, наприклад у вигляді самохідного скрепера, складається з основної машини у вигляді базового тягача з ковшем і додаткової машини до складу якої входять интенсифікатор з приводом. Складається ситуація наявності «машини у машині». Так як интенсифікатор виконує додаткові функції транспортування ґрунту від різальної системи землерейно-транспортної машини, то у цьому випадку ефективність машини у цілому буде найвищою, коли в повній мірі реалізуються тягові властивості базової машини, що кількісно

оцінюються загальним та тяговим ККД. А мінімальні залишки потужності витрачаються на привід интенсифікатора. У цьому випадку даний пристрій буде мати мінімальну матеріаломісткість та енергоємність, що позитивно відбивається на ефективності машини у цілому.

Тому перспективним напрямом вдосконалення землерейно-транспортних машин є розробка нових підходів до процесу интенсифікації та нових технічних рішень для їх реалізації, які забезпечують максимальні значення тягового та загального ККД машини під час виконання процесу копання ґрунту.

Аналіз публікацій. Підвищення ефективності ковшових землерейно-транспортних машин здійснюється за декількома напрямками. До них слід віднести вдосконалення різальної системи, які полягають у використанні виступаючого середнього або бокових ножів прямокутної або трикутної форми, ножів напівкруглої та зігнутої форми, застосування напрямних пристроїв для зрізаного ґрунту, розпушувальних зубів, двохножової різальної системи, пристроїв керування параметрами різальної системи, накладанні вібраційних коливань на різальну систему [12,13,16]. Інший шлях

вдосконалення конструктивних схем скреперного обладнання полягає у зміні форми та параметрів складових елементів ковша, а саме використання похилих бокових стінок, днища з ухилом у бік завантаження, ковша з рухомим днищем, телескопічних ковшів та інші [8]. Також, одним із ефективних напрямів підвищення ефективності ковшових землерийно-транспортних машин є інтенсифікація процесу заповнення ковшу ґрунтом. Найбільше застосування для реалізації цього запряму, як в серійному так і дослідному виробництві, отримали механічні інтенсифікатори у вигляді скребкових елеваторів, гвинтових та шнекових завантажувачів, металників, підгребальних пристроїв [1, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11].

Викладання основного матеріалу. Висока ефективність скреперів в умовах незначної відстані транспортування привела до виконання даними машинами в США до 50% об'ємів землерийних робіт, в той же час на території пострадянського простору цей рівень не перевищує 10%. З розвитком активних завантажувальних пристроїв за кордоном значна частина скреперного парку була модернізована – що дозволило усунути основний недолік, який перешкоджає автономній роботі скреперів.

Серед багато відомих засобів та пристроїв інтенсифікації ковшових землерийно-транспортних машин найбільше впровадження в серійне виробництво отримали елеваторні та ковшові завантажувачі. До найбільш відомих фірм, що виробляють самохідні скрепери з вказаними інтенсифікаторами відносяться: Caterpillar, моделі 613С сер. II, 615С сер. II, 621G із елеваторним завантаженням, моделі 621G, 631G, 627G, 637G, 657G із шнековим завантаженням: JohnDeer 862В Серія II, 762В Серія II.

Попит на скрепери з елеваторним завантаженням в дорожньо-будівельних роботах обумовлений рядом переваг, а саме можливість заповнення ковшу більш ніж на 100% (з «шапкою»); високі планувальні характеристики за рахунок здійснення вирівнювання ґрунту; можливість роботи в автономному режимі; висока продуктивність та швидкість робочого процесу. До недоліків елеваторів слід віднести ускладнення конструкції ковша, робота елеватора характеризується значними динамічними навантаженнями, не можливість роботи на ґрунтах із кам'янистими вклученнями, при завантаженні ковшу із-за похилого положення елеватора центр ваги машини змінюється у бік задньої, як правило, не привідної вісі коліс. Ця особливість знижує тягово-зчіпні якості скрепера, що зменшує ефективність копання та транспортування ґрунту.

Впровадженню у виробництво скреперів з гвинтовими та шнековими завантажувачами сприяли наступні переваги: трудоемкість виготовлення, технічного обслуговування та ремонту даних пристроїв значно нижчі у порівнянні із скребковими елеваторами; простота конструкції та висока

жорсткість; можливість транспортування кусків ґрунту після його попереднього розпушування; можливість установки гвинтового завантажувального обладнання на базовий скрепер із незначними доробками його конструкції; компактність приводу у вигляді гідромоторів в комплекті із планетарними редукторами або тільки високомоментних гідромоторів. Проблеми експлуатації скреперів із гвинтовими завантажувачами полягають у збільшенні опору копання ґрунту, так як гвинтові конвеєри мають найбільшу енергоємність у порівнянні з іншими транспортувальними пристроями, зниження якості планування ґрунту, складність розвантаження ґрунту, тому що, гвинтові пристрої перешкоджають виштовхуванню ґрунту з ковшу, а також вони частково займають корисний простір ковшу.

У перелічених найбільш поширених та впроваджених традиційних конструкціях скреперів з інтенсифікаторами останні виконують процес переміщення ґрунту у повному обсязі від різальної системи ківша (рис.1). Тягове зусилля витрачається на різання ґрунту, опір переміщенню машини та долання ухилу шляху. У цьому випадку на долання сумарного опору витрачається тягове зусилля меншою величини ніж номінальне, не повністю реалізуються тягово-зчіпні властивості ходового обладнання базової машини з максимальним ККД. Одночасно витрачаються у більшій кількості залишки потужності силового обладнання на привід інтенсифікатора, що сприяє збільшенню його маси та маси машини у цілому.

Для усунення вказаних недоліків запропоновано новий інноваційний підхід до інтенсифікації робочого процесу землерийно-транспортної машини, наприклад, для скрепера. Його особливість полягає у тому, що ґрунт, який зрізається різальною системою машини та транспортується у ківш поділяється на два потоки з можливістю регулювання їх величини. Так, наприклад, у способі інтенсифікації робочого процесу скрепера (рис.2) різання ґрунту здійснюється частково традиційною різальною системою 1 скрепера за рахунок тягового зусилля, а також різально-метальним інтенсифікатором 2, який послідовно виконує різання ґрунту та його метання у задню частину ковша радіально розташованими ножами інтенсифікатора, що обертається. Регулюванням співвідношення глибини різання ґрунту ножем 1 та інтенсифікатором 2 можна забезпечити повне використання тягового зусилля скрепера та мінімальні витрати потужності на роботу інтенсифікатора.

Варіант інноваційного підходу до інтенсифікації робочого процесу скрепера з використанням гвинтових завантажувачів надана на рис.3. У цьому випадку ґрунт повністю зрізається ножем 1 і далі транспортується та заповнює внутрішню порожнину ківша традиційним способом за рахунок тягового зусилля скрепера. При цьому ґрунтова стружка просувається через накопичений ґрунт у ковші, що

збільшує загальний опір копанню ґрунту та відповідно тягове зусилля для його подолання.

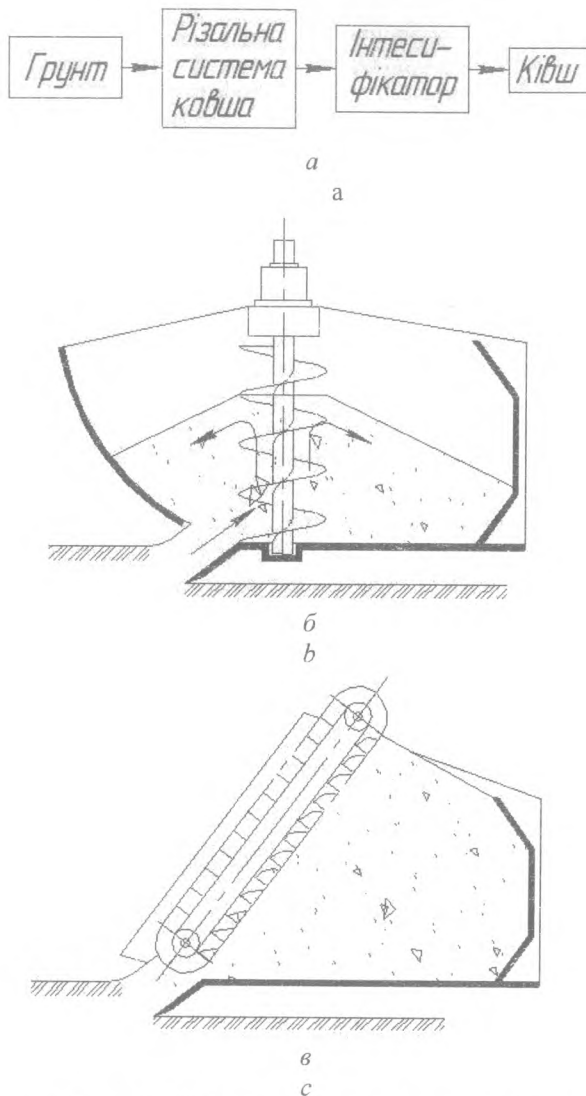


Рис. 1. Традиційний спосіб інтенсифікації робочого процесу землерийно-транспортної машини та конструктивні рішення для його реалізації: а – схема переміщення ґрунту при традиційному способі інтенсифікації; б – конструктивна схема гвинтового завантажувача; в – конструктивна схема елеваторного завантажувача

Fig. 1. The traditional way of intensifying the work of the earth moving vehicle and the design solutions for its implementation: a - the scheme of soil movement under the traditional method of intensification; b - structural diagram of elevator loader; c - the design scheme of the screw loader

Після досягнення ґрунту у ковші певної висоти і при якій витрачається на додання опору копання тягове зусилля скрепера з максимальним тяговим ККД, вступають в подальший процес транспортування ґрунту керовані гвинтові завантажувачі 2. Вони в першу чергу заповнюють верхню частину порожнини ківша за рахунок їх нахилу (рис.3,б). А далі після їх повороту та нахилу

гідроциліндрами 3 у протилежний бік відбувається заповнення ґрунтом передньої верхньої частини ковша (рис. 3,а). Сферична форма гвинтових інтенсифікаторів дозволяє з мінімальним опором здійснювати їх поворот у ґрунтовому середовищі.

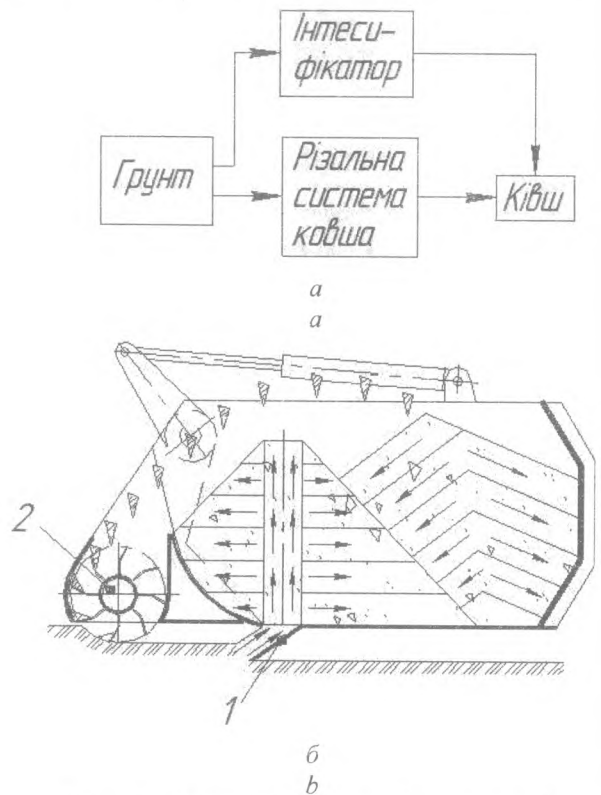


Рис. 2. Інноваційний спосіб інтенсифікації робочого процесу землерийно-транспортної машини з використанням різально-металевого інтенсифікатора: а – схема переміщення ґрунту; б – конструктивна схема та принцип роботи ковша скрепера з різально-металевим інтенсифікатором

Fig. 2. Innovative way of intensifying the work of the earth moving vehicle with the use of the cutting-metal intensifier: a - the scheme of soil movement; b - the design scheme and the principle of the scraper bucket with the cutting-metal intensifier

Теоретично оцінити ефективність роботи землерийно-транспортної машини з використанням інтенсифікатора можна за допомогою загального та тягового ККД, який дорівнює

$$\eta_z = \frac{N_K + N_{\text{INT}}}{N_e}; \quad (1)$$

$$\eta_m = \frac{N_K}{N_e - N_{\text{INT}}}; \quad (2)$$

де N_K - потужність, яка потрібна для подолання тягових опорів робочим обладнанням, що агрегатуються з базовою машиною; у випадку скрепера це потужність, яка витрачається на додання опору копання ґрунту; N_{INT} - потужність, яка витрачається на роботу інтенсифікатора; N_e - ефективна потужність двигуна машини.

Потужність $N_{\text{інт}}$ утворюється залишками потужності

$$N_{\text{інт}} = N_e - (N_{\text{тр}} + N_f + N_{\delta} + N_h + N_K), \quad (3)$$

де $N_{\text{тр}}$ - витрати потужності у вузлах трансмісії базової машини, які передають момент з колінчатого вала двигуна до ведучих коліс; N_f - витрати потужності на додання опору кочення ходового обладнання машини; N_{δ} - витрати потужності на буксування ведучих коліс ходового обладнання; N_h - витрати потужності на додання підйому шляху.

Після підстановки значення $N_{\text{інт}}$ в формули (1) і (2) та перетворень отримаємо, що загальний та тяговий ККД землерийно-транспортної машини дорівнюють

$$\eta_z = 1 - \frac{N_{\text{тр}} + N_f + N_{\delta} + N_h}{N_e}; \quad (4)$$

$$\eta_m = \frac{N_K}{N_{\text{тр}} + N_f + N_{\delta} + N_h + N_K}. \quad (5)$$

Значені у цьому рівнянні потужності визначаються в потужній послідовності.

Колова сила рушія ходового обладнання дорівнює

$$P_K = W_K + W_f + W_h, \quad (6)$$

де W_K - сила, яка витрачається на додання опору взаємодії робочого обладнання землерийно-транспортної машини із розроблювальним середовищем; для самохідного скрепера на додання опору копання ґрунту; W_f - опір руху ходового обладнання; W_h - опір руху на підйом від ухилу шляху.

Відповідно

$W_f = (G + G_{\text{гр}})f$; $W_h = (G + G_{\text{гр}})\sin\alpha$, де G - вага машини; $G_{\text{гр}}$ - пліне значення ваги ґрунту у ковші скрепера; f - коефіцієнт опору кочення ходового обладнання; α - кут ухилу шляху.

На підставі досліджень [15] коефіцієнт буксування для пневмоколісного ходового обладнання визначається наступною залежністю.

$$\delta = A \frac{P_K}{G_1} + B \left[\frac{P_K}{G_1} \right]^n, \quad (7)$$

де A, B, n - коефіцієнти, що залежать від типу шин, тиску повітря та ґрунтових умов.

У випадку самохідних скреперів навантаження на привідні рушії ходового обладнання базової машини складає: для порожнього скрепера $G_1 = (0.6 \dots 0.7)G$; для навантаженого $G_1 = (0.45 \dots 0.5)(G + G_{\text{гр}})$ [15].

Дійсна швидкість руху землерийно-транспортної машини дорівнює

$$V_D = V_T(1 - \delta), \quad (8)$$

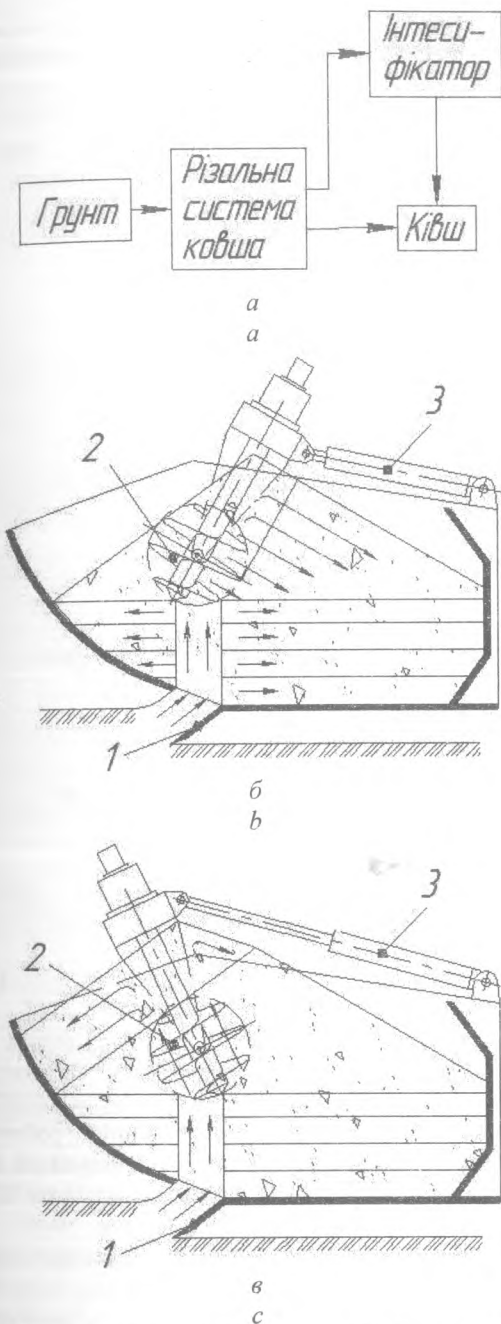


Рис. 3. Інноваційний спосіб інтенсифікації робочого процесу землерийно-транспортної машини з використанням керованих гвинтових завантажувачів: а – схема переміщення ґрунту; б – конструктивна схема та принцип роботи гвинтових завантажувачів; в – процес заповнення передньої частини ковша

Fig. 3. Innovative way of intensifying the work of the earth moving vehicle with the use of controlled screw loaders: a - the scheme of moving the soil; b - a structural scheme and the principle of work of screw loaders; c - the process of filling the front of the bucket

де V_T - теоретична швидкість руху машин.
Відповідні потужності будуть дорівнювати

$$N_f = W_f V_D; \quad (9)$$

$$N_h = W_h V_D; \quad (10)$$

$$N_\delta = P_k (V_T + V_D); \quad (11)$$

$$N_{тр} = (N_f + N_\delta + N_h + N_k)(1 - \eta_{тр}), \quad (12)$$

де $\eta_{тр}$ - ККД трансмісії базової машини.

Приклад використання наведеної методики.
Визначити раціональний режим роботи самохідного скрепера ДЗ-87-1 із застосуванням гвинтових завантажувачів.

Також, встановити раціональну висоту розташування гвинтових завантажувачів відносно

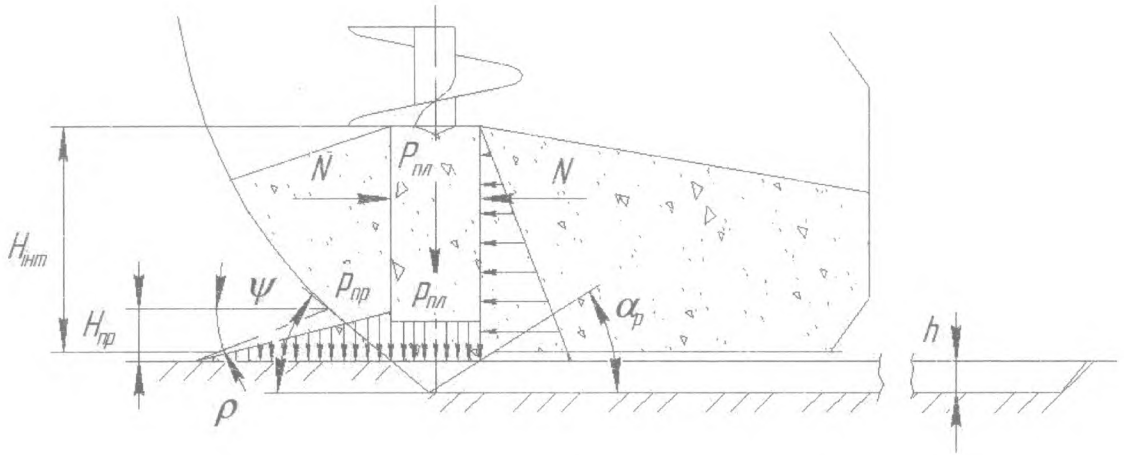


Рис. 4. Розрахункова схема визначення висоти встановлення гвинтового інтенсифікатора
Fig. 4. Estimated scheme for determining the height of installation of screw intensifier

різальної системи скрепера згідно розрахункової схеми на рис.4.

Вихідні дані до розрахунку: базова машина скрепера – пневмоколісний трактор

T-150K, загальна маса порожнього скрепера $m=12800$ кг, геометрична ємкість ковша $g=4,5m^3$, 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, ширина копання ґрунту $B_k=2,43$ м, товщина бічних різальних ножів $t=20$ мм, кут різання ґрунту $\alpha_p=35^\circ$; кут ухилу шляху $\alpha=5^\circ$ коефіцієнти $A=0,09$; $B=1,5$, $n=8$; фізико-механічні властивості ґрунту: тип ґрунту – глина третьої категорії $C_{уд}=7-12$, кут внутрішнього тертя $\rho=23^\circ$, кут зовнішнього тертя $\delta=22^\circ$, зчепине $C_w=0,110$ МПа, щільність ґрунту у природному стані $\gamma=2100$ кг/м³, у розпушеному стані $\gamma_p=1800$ кг/м³; коефіцієнт $f=0,13$; ККД трансмісії $\eta_{тр}=0,85$. На підставі рівнянь (1) – (10) визначаємо залежності загального η_3 та тягового η_m ККД землерийно-транспортної машини і надлишкової потужності силового обладнання $N_{инт}$, яка може реалізуватися на привід інтенсифікатора, в залежності від зусилля W_k .

З аналізу графіків (рис. 5) видно, що існує раціональний режим скрепера обладнаного інтенсифікатором при значеннях тягового η_m та загального η_3 ККД. Для визначення чисельних

параметрів даного режиму введемо поняття зведеного ККД, який дорівнює

$$\eta_{зв} = \eta_m \eta_3. \quad (13)$$

З графічної залежності $\eta_{зв} = f(W_k)$ видно, що максимальне значення $\eta_{зв} = 20\%$ відповідає дотичному опору копання ґрунту $W_k = 26000$ Н, витрат потужності на інтенсифікацію робочого процесу $N_{инт} = 62$ кВт, коефіцієнту буксування $\delta = 16\%$, тяговому ККД $\eta_m = 31\%$, загальному ККД $\eta_3 = 65\%$.

Відповідно до раціонального значення опору копання $W_k = 26000$ Н можна визначити потрібну висоту $N_{инт}$ встановлення гвинтових інтенсифікаторів. Для цього згідно розрахункової схеми на рис.5 використаємо аналітичну залежність для визначення горизонтальної складової опору копання ґрунту W_k згідно [4] де приймаємо, що висота пласта ґрунту, що піднімається від різальної системи дорівнює $N_{инт}$

Дана залежність має вигляд:

$$W_k = A_a A_1 B h \left[\frac{\gamma g h}{2} + C_w \left(1 + \frac{1}{A_1} \right) ctg \rho + \frac{K_{тр}}{K_\psi} \gamma_p g \cos^2 \rho \cdot tg \rho \frac{H_{инт}^2}{h} + \gamma_p g H_{инт} \right] + 2 A_3 t h \cdot \left[\frac{\gamma g h}{2} + C_w \left(1 + \frac{1}{A_3} \right) ctg \rho \right] + \gamma_p g \cos^2 \rho \frac{B H_{инт}^2}{2}, \quad [14]$$

де

$$A_a = 1 + ctg\alpha_p * tg\delta;$$

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

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

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

$$\psi = \frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}$$

$K_{тр}$ - коефіцієнт що враховує вплив опорів на бічних поверхнях пласта ґрунта, $K_{тр} = 1,1 \dots 1,2$; $H_{пр} = 0,41 N_{инт}$ - висота призми волочіння [2].

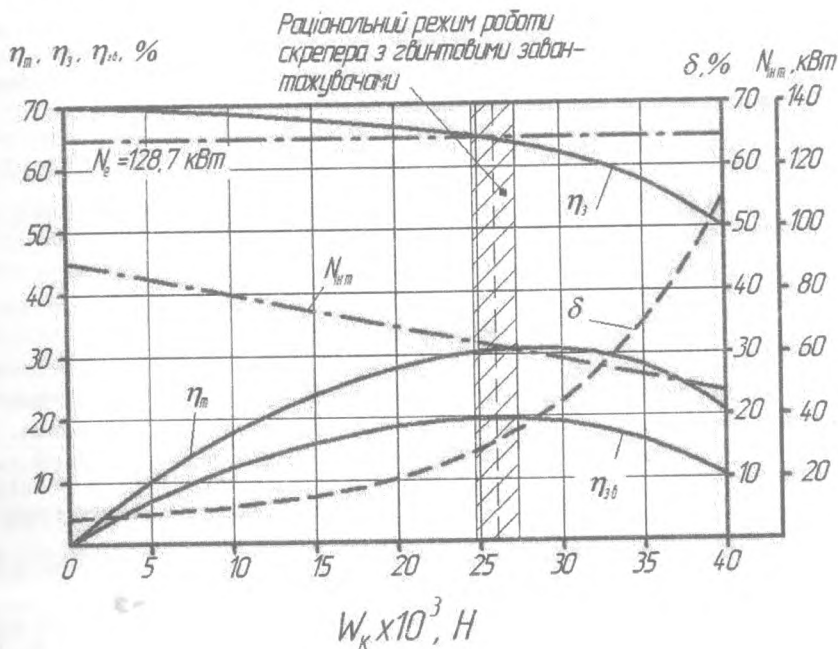


Рис. 5. Визначення параметрів раціонального режиму роботи самохідного скрепера ДЗ-87-1 з керованим гвинтовим завантажувачем

Fig. 5. Determination of the parameters of the rational mode of self-propelled scraper DZ-87-1 with a controlled screw loader

Залежність (14) уявляє собою квадратне рівняння відносно невідомої висоти $H_{инт}$.

Після розв'язання отримуємо, що висота встановлення гвинтових інтенсифікаторів, яка відповідає раціональному режиму роботи скрепера становить $H_{инт} = 0,8$ м

Висновок. Запропоновано інноваційний підхід до інтенсифікації робочого процесу ковшової землерийно-транспортної машини та

технічні рішення для його реалізації при яких копання ґрунту частково здійснюється за рахунок тягового зусилля машини та інтенсифікатором, що реалізує залишки потужності силового обладнання, при умові реалізації найбільших значень загального та тягового ККД землерийно-транспортної машини і мінімальних витрат потужності на привід інтенсифікаторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анализ баланса мощности радиального роторно-лопастного метателя грунта для заполнения ковша скрепера // Сборник научных трудов ИГАСА «Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин». Выпуск 10. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. – Днепропетровск, 2000. – С. 54-63.
2. Артемьев К.А. Основы теории копания грунта скреперами / К.А. Артемьев. – Москва; Свердловск: Машгиз, 1969. 127 с.
3. Баловнев В.И. Дорожно-строительные машины с рабочими органами интенсифицирующего действия. – М.: Машиностроение, 1981. – 223 с.
4. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин / В.И. Баловнев. – Москва: Машиностроение, 1994. – 432 с.
5. Голубченко О.І. Кінематичні особливості процесу транспортування ґрунту гвинтовим робочим органом різально-кидалного типу для землерийно-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.

6. Голубченко О. И. Конструкции та застосування різально-металних органів для інтенсифікації робочих процесів землерійно-транспортних машин / О. И. Голубченко // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. – Вып. 66. – 2012. – С. 296-302.
7. Голубченко О. И. Огляд та пропозиції конструкцій активного робочого обладнання землерійно-транспортних машин безперервної дії / О. И. Голубченко, М. Е. Хожило // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2011. – № 6-7. – С. 48 – 55.
8. Интенсификация рабочих процессов машин для земляных работ. Днепропетровск: ДИСИ, 1989. - 329 с.
9. Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве / [В. И. Баловнев, Л. А. Хмара] – Москва: Транспорт, 1983. – 384 с.
10. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве / [В. И. Баловнев, Л. А. Хмара]. – Москва: Транспорт, 1993. – 383 с.
11. Кавалеров А.А. Роторные метатели грунтов: Обзор. – М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1969. – 38 с.
12. 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.
13. Модернізація та підвищення продуктивності будівельних машин / [Л. А. Хмара, М. П. Колісник, В. П. Станевський] – Київ: Будівельник, 1992. – 152 с.
14. 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.
15. Ульянов Н.А. Теория самоходных колесных землеройно-транспортных машин / Н.А. Ульянов. – Москва: Машиностроение, 1969. – 520 с.
16. Федоров Д. И. Рабочие органы землеройных машин / Д. И. Федоров. Москва: Машиностроение, 1977. - 288 с.

REFERENCES

1. *Analizbalansamoschnostiradialnogorotorno-lopastnogometatelyagruntadlyazapolneniyakovshaskrepera* // SborniknauchnyihtrudovPGASA «Intensifikatsiyarabochihprotsestvostroitelnyihdorozhnyihmashin». Vyiusk 10. Pod'emno-transportnyie, stroitelnyie i dorozhnyie mashinyi i oborudovanie. – Dnepropetrovsk, 2000. – S. 54-63.
2. Artemev K.A. *Osnovyi teorii kopaniyagrunta skreperami* / K.A. Artemev. – Moskva; Sverdlovsk: Mashgiz, 1969. 127 s.
3. Balovnev V. I. *Dorozhno-stroitelnyie mashinyi s rabochimi organami intensifitsiruyuscheho deystviya*. – M.: Mashinostroenie, 1981. – 223 s.
4. Balovnev V. I. *Modelirovanie protsestvov vzaimodeystviya so sredoy rabochih organov dorozhno-stroitelnyih mashin* / V. I. Balovnev. - Moskva: Mashinostroenie, 1994. - 432 s.
5. Golubchenko O. I. *KinematichnI osoblivostI protsesu transportuvannya Gruntu gvintovim robochim organom rIzalno-kidalnogo tipu dlya zemleriyno-transportnih mashin bezperervnoYi dIYi* / O. I. Golubchenko, M. E. Hozhilo // Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Pod'emno-transportnyie, stroitelnyie i dorozhnyie mashinyi i oborudovanie. – Vyip. 57. – 2010. – S. 36-45.
6. Golubchenko O. I. *KonstruksIYi ta zastosuvannya rIzalno-metalnih organIv dlya IntensifIkatsIYi rabochih protsesIv zemleriyno-transportnih mashin* / O. I. Golubchenko // Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Pod'emno-transportnyie, stroitelnyie i dorozhnyie mashinyi i oborudovanie. – Vyip. 66. – 2012. – S. 296-302.
7. Golubchenko O. I. *Oglyad ta propozitsIYi konstruksIy aktivnogo robochogo obladdnannya zemleriyno-transportnih mashin bezperervnoYi dIYi* / O. I. Golubchenko, M. E. Hozhilo // VIsnik PridnIprovskoYi derzhavnoYi akademIYi budIvniitstva ta arhItekturi. – 2011. – # 6-7. – S. 48 – 55.
8. *Intensifikatsiya rabochih protsestvov mashin dlya zemlyanyih rabot*. Dnepropetrovsk: DISI, 1989. - 329 s.
9. *Intensifikatsiya zemlyanyih rabot v dorozhnom stroitelstve* / [V. I. Balovnev, L. A. Khmara] – Moskva: Transport, 1983. – 384 s.
10. *Intensifikatsiya razrobotki gruntov v dorozhnom stroitelstve* / [V. I. Balovnev, L. A. Khmara]. – Moskva: Transport, 1993. – 383 s.
11. Kavalеров А.А. *Rotornyie metатели грунтов: Обзор*. – М.: TsNIITESTroymash, 1969. – 38 с.
12. *Mashini dlya zemlyanyih robIt: PIdruchnik* / L. A. Khmara, S. V. Kravets, M. P. Skoblyuk ta In.; za zag. red. d.t.n., prof. L. A. Khmari ta d.t.n., prof. S. V. Kravtsya. – HarkIv: HNADU, 2014. – 548 s.
13. *ModernIzatsIya ta pIdvischennya produktivnostI budIvelnih mashin* / [L. A. Khmara, M. P. Kollsnik, V. P. Stanevskiy] – KiYiv: BudIvelnik, 1992. – 152 s.
14. *Sovremennyye skrepery s mehanizirovannoy zagruzkoY: Obzornaya informatsiya* / Balovnev V. I., Roninson E. G., Tolmachev A. I., Khmara L. A., Yarkin A. A. Seriya 2 "Dorozhnyie mashinyi". - M.: TsNIITESTroymash. - 1990. - Vyip. 3. - 41 s.
15. Ulyanov N.A. *Teoriya samohodnyih kolesnyih zemleroyno-transportnyih mashin* / N.A. Ulyanov. – Moskva: Mashinostroenie, 1969. – 520 s.
16. Fedorov D. I. *Rabochie organyi zemleroynyih mashin* / D. I. Fedorov. Moskva: Mashinostroenie, 1977. - 288 s.