

УДК 621.872

ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІННОВАЦІЙНОГО ТЕЛЕСКОПІЧНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ БУЛЬДОЗЕРА (НА ОСНОВІ ЗАГАЛЬНИХ ТЕОРІЙ ВЗАЄМОДІЇ ВІДВАЛЬНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ З СЕРЕДОВИЩЕМ)

ХМАРА Л. А. ¹, д. т. н., проф.КРОЛЬ Р. М. ², к. т. н., доц.,

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

² Кафедра будівельних і дорожніх машин (БДМ), Державного вищого навчального закладу (ДВНЗ) «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (ПДАБА), вул. Чернишевського, 24-а, 49005, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-73, e-mail: krol.roman2012@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0002-7180-663X

Анотація. Постановка проблеми. Можливість оптимізації геометричних параметрів телескопічного робочого органу бульдозера до різноманітних ґрунтових умов та технологічних операцій дозволить раціонально використовувати тягово-зчіпні характеристики машини, підвищити її продуктивність та універсальність. **Метою статті** є розробка алгоритму оптимізаційного розрахунку геометричних параметрів відвала бульдозера в залежності від ґрунтових умов та тягово-зчіпних характеристик базової машини. **Висновок.** На основі тягового балансу розроблено алгоритм оптимізації геометричних параметрів відвала бульдозера телескопічного типу за узагальненим критерієм оптимізації P_{NG} в залежності від потужності двигуна базової машини та фізико-механічних властивостей середовища, що розроблюється.

Ключові слова: бульдозер, ґрунтові умови, базова машина, дальність транспортування ґрунту, геометричні параметри відвала, оптимізаційний розрахунок, тягово-зчіпні характеристики.

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИННОВАЦИОННОГО ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА БУЛЬДОЗЕРА (НА ОСНОВЕ ОБЩИХ ТЕОРИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОТВАЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СО СРЕДОЙ)

ХМАРА Л. А. ¹, д. т. н., проф.КРОЛЬ Р. Н. ², к. т. н., доц.,

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

² Кафедра строительных и дорожных машин (СДМ), Государственного высшего учебного заведения (ГВУЗ) «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» (ПГАСА), ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-73, e-mail: krol.roman2012@gmail.ua, ORCID ID: 0000-0002-7180-663X

Аннотация. Постановка проблемы. Возможность оптимизации геометрических параметров телескопического рабочего органа бульдозера к различным ґрунтовым условиям и технологических операций позволит рационально использовать тягово-сцепные характеристики машины, повысить её производительность и универсальность. **Целью статьи** есть разработка алгоритма оптимизационного расчета геометрических параметров отвала бульдозера в зависимости от ґрунтовых условий и тягово-сцепных характеристик базовой машины. **Выводы.** На основании тягового баланса разработано алгоритм оптимизации геометрических параметров отвала бульдозера телескопического типа за обобщенным критерием оптимизации P_{NG} в зависимости от мощности двигателя базовой машины и физико-механических свойств разрабатываемой среды.

Ключевые слова: бульдозер, ґрунтовые условия, базовая машина, дальность транспортирования ґрунта, геометрические параметры отвала, оптимизационный расчет, тягово-сцепные характеристики.

OPTIMIZATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS INNOVATIVE TELESCOPIC WORKING ORGAN BULLDOZER (ON BASIS OF GENERAL THEORIES CO-OPERATION DUMP WORKING ORGANS WITH ENVIRONMENT)

KHMARA L. A. ¹, Doctor of Technical Sciences, Professor.KROL' R. N. ², Cand. Sc. (Tech.)

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

² Department of Building and Travelling of machines (BTM), State Higher Educational Establishment (SHEE) "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", st. Chernyshevsky, 24-A, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (099) 207-87-00, e-mail: krol.roman2012@gmail.ua, ORCID ID: 0000-0002-7180-663X

Summary. Raising of problem. Possibility of optimization geometrical parameters telescopic working organ bulldozer to different the ground terms and technological operations will allow rationally to use hauling-coupling descriptions machine, promote her productivity and universality. **Purpose.** Development of algorithm optimization calculation of geometrical parameters dump bulldozer depending on the ground terms and hauling-coupling descriptions of base machine. **Conclusions.** On the basis of hauling balance the algorithm optimization of geometrical parameters dump bulldozer telescopic type is worked out after the generalized criterion optimization P_{NG} depending on engine of base machine and physical and mechanical properties of the developed environment power.

Key words: bulldozer, ground terms, base machine, distance of portage soil, geometrical parameters of dump, optimization calculation, hauling-coupling descriptions.

Актуальність проблеми. Можливість адаптації робочих органів землерійно-транспортних машин (ЗТМ) до різноманітних ґрунтових умов та технологічних операцій дозволить раціонально використовувати тягово-зчіпні характеристики машини, підвищити її продуктивність та універсальність.

Аналіз публікацій. Питанням тягових розрахунків ЗТМ присвячені роботи М. Г. Домбровського [5], А. М. Зеленина [6, 7], В. І. Баловнева, І. П. Керова [2, 3], Н. Я. Хархути, М. І. Капустіна, В. П. Семенова, І. М. Евентова [4], А. М. Холодова [13, 14], Т. В. Алексеевої, К. А. Артемьева, А. А. Бромберга [1], Л. А. Хмари [8, 9], Ю. О. Ветрова [10], але ними не розглянуті питання впливу зміни геометричних параметрів робочого органа на тягово-зчіпні характеристики ЗТМ, а також не виконано оптимізаційний розрахунок робочого органа для різних ґрунтових умов.

Метою статті є розробка алгоритму оптимізаційного розрахунку геометричних параметрів відвала бульдозера телескопічного типу за узагальненим критерієм оптимізації P_{NG} на основі загальних теорій взаємодії відвальних робочих органів з середовищем в залежності від ґрунтових умов та тягово-зчіпних характеристик бульдозера.

Основний матеріал. Процес взаємодії з ґрунтом, що розроблюється – один із визначаючих факторів робочого циклу машин для землерійно-транспортних робіт. Характер проходження процесу здійснює суттєвий вплив на конструкцію ЗТМ. Проходження процесу взаємодії робочого органу машини з ґрунтом залежить від технологічного призначення машини, тобто від виду робіт, що виконуються машиною, фізико-механічних властивостей ґрунту та способу його руйнування, геометричних параметрів робочого органа, параметрів режиму копання (глибини різання, кута різання, кута установки робочого органа в плані і т.д.), які визначають силові та енергетичні параметри робочого процесу машини.

Бульдозери класифікують за призначенням, номінальному тяговому зусиллю та різних

конструктивних схемах [10]. За призначенням розрізняють бульдозери загального призначення та спеціальні. Бульдозери загального призначення виконують пошарове різання, набір та переміщення ґрунтів, порід та матеріалів середньої міцності у середніх кліматичних умовах (помірний клімат з температурою від -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$).

Економічно вигідна середня дальність транспортування ґрунту бульдозерами загального призначення звичайно не перевищує 60 м. Частіше всього такі бульдозери обладнанні неповоротним в горизонтальній площині відвалом.

Бульдозери спеціального призначення використовуються для виконання окремих видів робіт: прокладення шляхів та доріг, зрібання торфу, розрівнювання кавальєрів, підземної та підводної розробки матеріалів, розробки та переміщення легких і сипучих матеріалів типу вугілля та ін., а також для роботи в особливих кліматичних умовах (наприклад, при низьких температурах до -60°C , у сухому та жаркому кліматі пустель, у тропічній місцевості, у небезпечних та загазованих місцях, на ґрунтах з пониженою несучою здатністю і т.д.). На спеціальних бульдозерах встановлюються різноманітні типи відвалів.

За номінальним тяговим зусиллям бульдозери підрозділяються на надважкі (з номінальним тяговим зусиллям більше 300 кН та потужністю більше 300 кВт), важкі (відповідно 200...300 кН та 184...300 кВт), середні (135...200 кН та 118...183 кВт), легкі (25...135 кН та 43...117 кВт) та малогабаритні (відповідно менше 25 кН та менше 43 кВт).

За конструктивними ознаками бульдозери класифікують за типом ходової частини, робочих органів, рам та управління. По типу ходової частини розрізняють бульдозери гусеничні та колісні. Для розробки міцних ґрунтів використовуються гусеничні бульдозери. По типу робочого органа бульдозери розрізняють (рис. 1):

– з неповоротним (прямим) відвалом, який встановлений на бульдозері перпендикулярно поздовжній осі машини (кут захвату рівний 90°);

– з неповоротним напівсферичним відвалом, вигнуті бокові щитки та ножі якого встановлені під

невеликим кутом до лобової поверхні;

– з неповоротним сферичним відвалом, що складається з трьох приблизно рівних частин, встановлених під кутом близько 15° один до одного;

– з не поворотним коротким відвалом, обладнаним амортизаторами для зменшення ударних навантажень при штовханні скреперів;

– з поворотним відвалом, який можна встановлювати в горизонтальній площині під кутом в

обидві сторони до повздовжньої осі машини або перпендикулярно до неї;

– універсальні (шляхопрохідники) з шарнірно-зчленованим відвалом із двох частин; кожен частину чи обидві разом можна встановлювати в горизонтальній площині під кутом до повздовжньої осі машини чи перпендикулярно до неї.

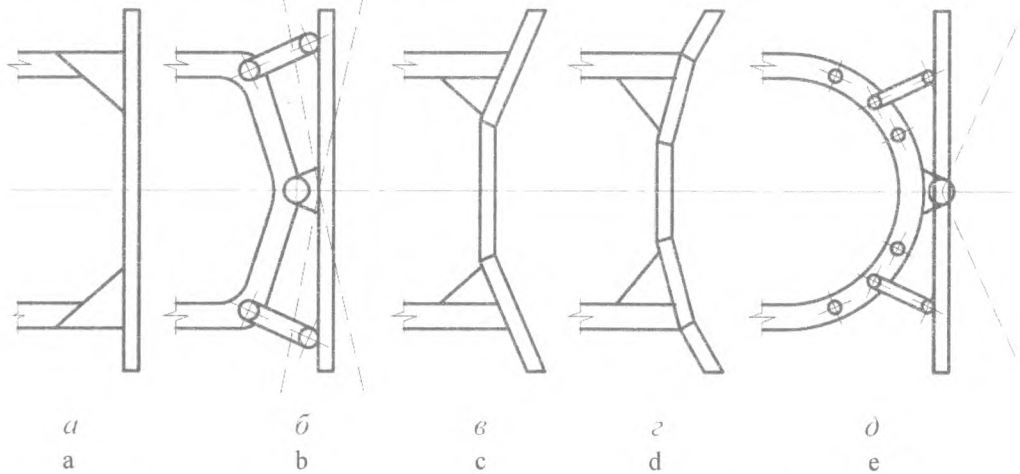


Рис. 1. Конструкції бульдозерних відвалів (вид зверху): а – неповоротний лобовий відвал; б – поворотний в плані відвал; в – напівсферичний відвал; г – сферичний відвал великої накопичувальної здатності; д – універсальний шарнірно-зчленований відвал (шляхопрохідник)

Fig. 1. Constructions of bulldozer dumps (kind from above): a – irrevocable frontal dump; b – turning in a plan dump; c – semispherical dump; d – spherical dump of large storey ability; e – universal joint - arthrous dump (wayshaft)

Напівсферичні та сферичні відвали характеризуються великою утримуючою здатністю за рахунок переміщення призми волочіння збільшеного об'єму, що дозволяє різко підвищити продуктивність бульдозера при розробці маломіцних ґрунтів. Всі вказані типи бульдозерів можуть мати пристрій для поперечного перекосу відвалу. Перекіс відвалу полегшує розробку міцних ґрунтів та порід, нарізку канав та кюветів. Бульдозери з відвалами перших трьох типів інколи мають регулювання кута різання шляхом повороту (нахилу) відвалу вперед та назад. В теперішній час здебільшого використовуються бульдозери з напівсферичним неповоротним відвалом та пристроєм для перекосу. Такі бульдозери можна ефективно використовувати для розроблення більшості типів ґрунтів. Для розширення області використання бульдозерів на відвал навішується швидкоз'ємне робоче обладнання: гідрокерований щелепний захват з виступаючим середнім ножом [2], руйнівні зубці, вилочні захвати, підйомний крюк і т.д. По тину рами розрізняють бульдозери з обхоплюючою та внутрішньою рамою. В теперішній час внутрішню раму використовують тільки для бульдозерів-штовхачів, жорсткість робочого обладнання котрих повинна бути підвищеною. По типу механізму керування розрізняють бульдозери з гідравлічним та канатно-блочним керуванням,

причому останній тип керування все більше виходить із використання.

Схема процесу взаємодії бульдозерного обладнання з ґрунтом при установці відвалу в плані під прямим кутом до повздовжньої осі бульдозера приведена на рисунку 2. При копанні ґрунту відбувається набір ґрунту перед бульдозерним відвалом та формування призми волочіння до початку сталого режиму копання, коли кількість ґрунту, що поступає в призму волочіння, рівна кількості ґрунту, котрий втрачається відвалом у бокові валки. Експериментально встановлено [3], що стружка, котра відділяється від масиву, на початковому етапі під дією відпору ґрунту рухається вгору по відвалу. На останніх етапах різання у верхній частині відвалу стружка руйнується на окремі фрагменти, які падають вниз на шари ґрунту, що знову вирізаються та утворюють призму волочіння.

Розрізняють три зони (рис. 2), що характеризують процес взаємодії відвалу з ґрунтом [6]. Зона формування стружки 1, що розташовується біля ріжучого краю відвалу. Зона 2, що характеризується рухом пласту ґрунту по відвалу. Зона 3 визначається як зона руйнування пласту ґрунту та утворення призми волочіння.

Існують різні теорії, що описують процеси

різання ґрунту плоским ножом та копання ґрунту відвалом бульдозера. Широко використовуються при визначенні зусиль копання ґрунту відвальними робочими органами формули, отримані академіком

В. П. Горячкиним, професорами В. І. Баловневим, Ю. О. Ветровим, А. М. Зелениним, к.т.н. А. А. Яркіним та ін.

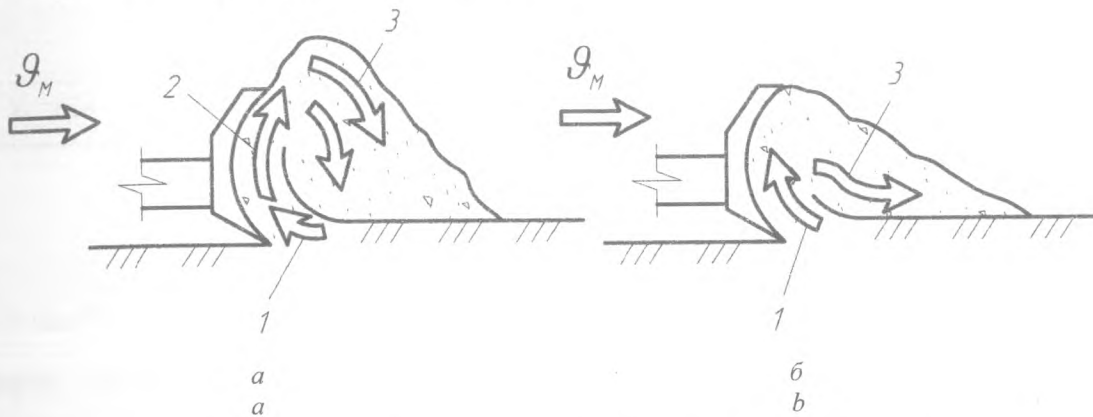


Рис. 2. Схема руху ґрунту перед відвалом бульдозера: а – зв’язний ґрунт; б – незв’язний ґрунт; 1 – зона формування стружки; 2 – зона руху пласта ґрунту по відвалу; 3 – зона руйнування пласта ґрунту та утворення призми волочіння

Fig. 2. Chart motion of soil before dump of bulldozer: a – coherent soil; b – incoherent soil; 1 – zone of forming shaving; 2 – zones motion layer of soil are on dump; 3 – zones destruction layer of soil and formation prism dragging

Академіком В. П. Горячкиним була запропонована формула для визначення зусилля різання ґрунту [12]:

$$T_p = G \cdot f + K \cdot a \cdot b + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot G_M^2,$$

де G – сила тяжіння плуга; f – коефіцієнт тертя ножа по ґрунту; K – питомий опір різанню, який залежить від міцності ґрунту; a, b – відповідно глибина та ширина різання; ε – коефіцієнт пропорційності; G_M – швидкість різання.

Перший член формули характеризує процес тертя, другий член – процес руйнування масиву

ґрунту, третій член – інерційні сили перевертання та відкидання пласту ґрунту. Дана формула призначена для розрахунку сільськогосподарських плугів із середньою глибиною різання $a = 0,15 \dots 0,2$ м та співвідношенням геометричних параметрів різання $b = 1,5 \cdot a$, що обмежує можливість її використання для розрахунку зусиль копання ґрунту робочими органами землерийно-транспортних машин.

На рисунку 3 подана розрахункова схема для визначення опору копання ґрунту неповоротним відвалом бульдозера на кінцевому етапі копання, запропонована д.т.н., професором В. І. Баловневим [3].

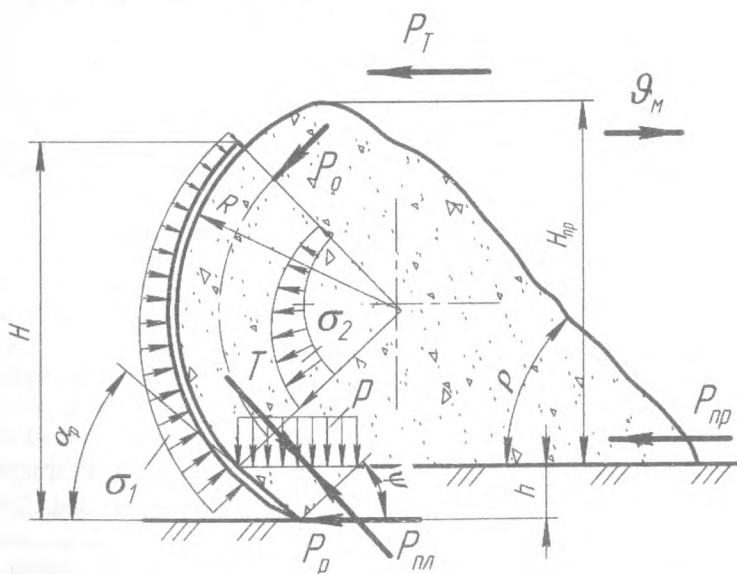


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення опору копанню ґрунту відвалом бульдозера

Fig. 3. Calculation chart for determination resistance digging of soil by the dump bulldozer

Горизонтальна складова опору копанню для плоского ножа з циліндричним відвалом постійної кривизни на основі прийнятої схеми в загальному виді визначається за формулою:

$$P_T = P_p + P_{np} + P_{zop},$$

де P_p – опір різанню з врахуванням опору руху пласта по відвалу та опору бокових ножів; P_{np} – опір призми волочіння з врахуванням впливу горизонтальної складової сил, що згибають пласт (останньою можна знехтувати); P_{zop} – горизонтальна складова опору підйому пласту.

Ґрунт, що вирізується плоским ножом із масиву (рис. 3) у вигляді стружки, яка згинається та переміщується вгору по відвалу, проходячи через призму волочіння по шляху найменшого опору. Пасивний тиск з боку призми волочіння визначає дію на стружку ґрунту нормальних сил ΔN , розподілених по поверхні тертя та, в свою чергу, характеризуючи сили тертя T_1 та T_2 . Сумарна дія цих сил тертя та власної ваги стружки ґрунту характеризує опір T руху стружки вгору по відвалу. Одночасно опір T діє зверху у вигляді розподіленого тиску P на елемент ґрунту, що відділяється плоским ножом від масиву, який намагається здвинути вперед та вгору під кутом здвигу ψ . Таким чином, сила переміщення ґрунту вгору по відвалу одночасно завдає вплив на силу різання (відокремлення ґрунту від масиву).

При $K = R/H \geq 0,9 \dots 1,1$, де R – радіус кривизни відвалу; H – висота відвалу, маємо:

$$P_p = \left(1 + ctg\alpha_p \cdot tg\delta\right) \cdot A_1 \cdot B \cdot h \cdot \left[9,81 \cdot \frac{\gamma \cdot h}{2} + ctg\rho + 9,81 \cdot \left(\frac{tg\rho}{K_\psi} \cdot \gamma_p \cdot \cos^2 \rho \cdot \frac{H^2}{h} + \gamma_p \cdot H\right)\right], \text{ кН};$$

$$P_{np} = 9,81 \cdot \gamma_p \cdot \cos^2 \rho \cdot \frac{B \cdot H^2}{2}, \text{ кН};$$

$$P_{zop} = 2 \cdot tg\delta \cdot A_2 \cdot l_{\bar{o}} \cdot h \cdot \left(9,81 \cdot \frac{\gamma \cdot h}{2} + ctg\rho \cdot C\right), \text{ кН},$$

де α_p – кут різання, град.; δ – кут зовнішнього тертя, град.; B – ширина різання для неповоротного відвалу, рівна довжині відвалу B , м; h – глибина різання, м; γ – об'ємна маса ґрунту з незруйнованою структурою, т/м³; C – зчеплення ґрунту з незруйнованою структурою, кН/м²; ρ – кут внутрішнього тертя ґрунту, що розроблюється, град.; γ_p – об'ємна маса ґрунту з незруйнованою структурою, т/м³; H_{np} – висота призми волочіння,

рівна висоті відвальної поверхні, м; $l_{\bar{o}}$ – ширина бокового ножа, м; A_1, A_2, K_ψ – коефіцієнти, що визначаються за формулами:

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

$$A_2 = \frac{\cos \delta \cdot \left(\cos \delta + \sqrt{\sin^2 \rho - \sin^2 \delta}\right)}{1 - \sin \rho} \times$$

$$\times e^{\left(\pi - 2\alpha_{\text{зам}} + \delta + \arcsin \frac{\sin \delta}{\sin \rho}\right) tg\rho};$$

$$K_\psi = \frac{tg\alpha_p + tg\psi}{tg\alpha_p \cdot tg\psi}; \quad 0 < \alpha_{\text{зам}} < \frac{\pi}{2}$$

де e – основа натуральних логарифмів, $e = 2,718$; $\psi = \frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}$ – кут зсуву ґрунту, град; $\alpha_{\text{зам}}$ – кут затуплення ріжучого ножа.

Напрямок руху пласту на кінцевому етапі не завжди буде проходити по поверхні відвалу. Він визначається величиною опорів, що виникають на шляху можливого просування, а також міцносними властивостями стружки, що вирізається. Вважаючи поверхню ковзання у вигляді криволінійної поверхні з досить великим радіусом кривизни, розрахункову формулу для визначення P_T можна записати в наступному спрощеному вигляді:

$$P_T = \left(1 + ctg\alpha_p \cdot tg\delta\right) \cdot A_1 \cdot B \cdot h \cdot \left[9,81 \cdot \frac{\gamma \cdot h}{2} + ctg\rho \cdot C + 9,81 \cdot \left(\frac{tg\rho}{K_\psi} \cdot \gamma_p \cdot \cos^2 \rho \cdot \frac{H^2}{h} + \gamma_p \cdot H\right)\right] + 9,81 \cdot \gamma_p \cdot \cos^2 \rho \cdot \frac{B \cdot H^2}{2}, \text{ кН}. \quad (1)$$

Формула (1) отримана на основі статички сипучого середовища та дозволяє виконувати оцінку відносної ефективності робочих органів відвального типу при $\rho > \delta$ та швидкості різання $\mathcal{Q}_M \leq 1,5$ м/с [3].

Розрахунок за формулою (1) передбачає необхідність знання фізико-механічних властивостей ґрунту, що розроблюється по параметрам $\rho, \delta, \gamma, \gamma_p, C$. Дана теорія показує хороше співпадіння з практичними результатами для процесів копання зв'язних та незв'язних ґрунтів відносно невеликої міцності відвальними робочими органами бульдозерів та автогрейдерів, а також використовується для розрахунку зусиль копання ґрунту ковшовими робочими органами скреперів, навантажувачів і т.п. Розрахунок P_T за формулою (1) дає відносну помилку 4...25% [3].

В практиці розрахунків використовують емпіричні залежності проф. А. Н. Зеленіна для визначення опору копанню ґрунту відвалом бульдозера [7]. На рисунку 4 показана розрахункова схема процесу взаємодії неповоротного відвалу

бульдозера з ґрунтом в кінці набору призми волочіння при сталому режимі копання.

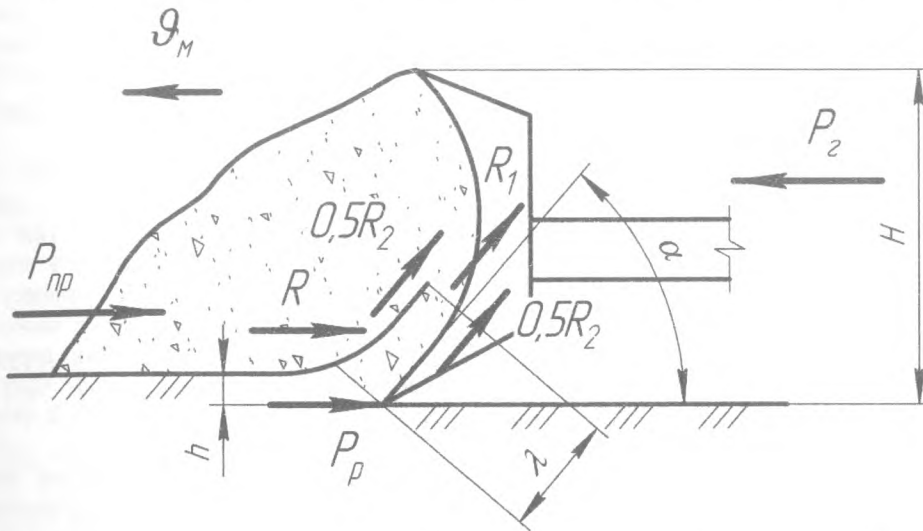


Рис. 4. Розрахункова схема взаємодії відвалу бульдозера з ґрунтом в кінці копання по А. Н. Зеленіну

Fig. 4. Calculation chart cooperation the dump bulldozer with soil at the end digging for A.N. Zeleninu

У відповідності з розрахунковою схемою (рис. 4) горизонтальна складова опору копанню ґрунту бульдозерним відвалом визначається із виразу [7]:

$$P_T = P_p + R + P_{np}, \quad (2)$$

де P_p – опір ґрунту різанню; R – опір заповнення відвалу ґрунтом в кінці набору призми волочіння; P_{np} – опір переміщенню призми волочіння ґрунту перед відвалом.

$$P_p = 9,81 \cdot C \cdot h^{1,35} (1 + 2,6 \cdot l) \cdot (1 + 0,01 \cdot \alpha), \quad \text{кН}, \quad (3)$$

де C – кількість ударів ударника ДорНДІ; h – глибина різання, см; l – довжина відвалу, м; α – кут різання, град.

$$R = (R_1 + R_2) \cdot \cos \delta_c, \quad \text{кН}$$

де R_1 – опір втисненню стружки в кінці набору

призми волочіння перед відвалом; R_2 – опір тертя стружки ґрунту об ґрунт призми волочіння та по бульдозерному відвалу; δ_c – кут нахилу стружки до горизонту, град; $\delta_c = \alpha + 5 \dots 10^\circ$, α – кут різання, град.

$$R_1 = \xi \cdot K_{сж} \cdot l_1 \cdot h, \quad \text{кН},$$

де ξ – коефіцієнт привантаження, що залежить від висоти бульдозерного відвалу H ; $\xi = 1$ при $H \leq 0,4$ м; $\xi = 1,5$ при $H = 0,4 \dots 1,0$ м; $\xi = 2$ при $H \geq 1$ м; $K_{сж}$ – питомий опір вдавлювання стружки в кН/см², вибирається по таблиці 1 [7]; l_1 – довжина відвалу, см; h – глибина різання, см.

Таблиця 1

Значення питомого опору вдавлювання стружки ґрунту $K_{сж}$ в залежності від кількості ударів ударника ДорНДІ

Table 1

Value specific resistance pressing shaving of soil $K_{сж}$ is depending on the amount shots shock-worker DorNDI

C	1-2	3	4	6
$K_{сж}$, кН/см ²	0,000686	0,001568	0,002156	0,00245
C	10	16	30	
$K_{сж}$, кН/см ²	0,004704	0,007056	0,01372	

$$R_2 = 2 \cdot H \cdot l \cdot \lambda \cdot \gamma \cdot \text{tg} \frac{(\rho + \delta)}{2},$$

де H – висота відвалу, м; l – довжина відвалу, м; λ – довжина стружки, $\lambda = 0,25 \dots 0,35$ м; ρ – кут тертя ґрунту об ґрунт, град.; δ – кут тертя ґрунту об метал, град.

В зв'язку з незначною погрішністю пропонується проводити розрахунок величини R по спрощеній формулі:

$$R = \xi \cdot K_{сж} \cdot l_1 \cdot h. \quad (4)$$

Опір рухові призми волочіння ґрунту можна прорахувати за формулою:

$$P_{np} = 9,81 \cdot V_{np} \cdot \gamma \cdot \text{tg} \rho, \quad (5)$$

де V_{np} – фактичний об'єм призми волочіння в щільному тілі, м³; γ – об'ємна маса ґрунту в щільному тілі, т/м³.

$$V_{np} = \frac{l \cdot H^2}{2 \cdot K_{np}}, \quad (5a)$$

де l – довжина відвалу, м; H – висота відвалу, м; K_{np} – коефіцієнт, що залежить від типу ґрунту (в'язкості, коефіцієнта розпушення) та від співвідношення $\frac{H}{l}$. Значення коефіцієнта K_{np} від співвідношення $\frac{H}{l}$ та типу ґрунту (табл. 1.2, [7]).

З врахуванням виразів (3), (4) та (5) формула (2) матиме наступний вигляд:

$$P_T = 9,81 \cdot C \cdot h^{1,35} \cdot (1 + 2,6 \cdot l) \cdot (1 + 0,01 \cdot \alpha) + \xi \cdot K_{сж} \cdot l_1 \cdot h + 9,81 \cdot V_{np} \cdot \gamma \cdot tg\rho. \quad (6)$$

До недоліків емпіричної формули (6) можна віднести складність точного розрахунку об'єму призми волочіння V_{np} , який являється величиною, що визначається експериментально. Крім того, формула справджується для однорідних ґрунтів і не може бути використана для ґрунтів з каменистими включеннями, оскільки величина C визначається ударником ДорНДІ та може виявитися неточною. Формула (6) справедлива при швидкостях різання ґрунту $v_m \leq 1,5$ м/с, а також для умов, при яких були отримані коефіцієнти ξ , $K_{сж}$ та сама формула.

В практиці розрахунків горизонтальної складової опору копанню відвалом бульдозера в кінці набору призми волочіння використовується розрахункова формула к.т.н. А. А. Яркіна [12]:

$$P_T = P_p + P_{np} + P_v = K \cdot l \cdot h + 9,81 \cdot V_{np} \cdot \gamma \cdot tg\rho + 9,81 \cdot V_{np} \cdot \gamma \cdot \cos^2 \alpha \cdot tg\delta, \text{ кН}, \quad (7)$$

де P_p – опір різанню; P_{np} – опір призми волочіння; P_v – опір переміщення ґрунту вверх по відвалу; K – питомий опір ґрунту лобовому різанню, кН/м²; середнє значення K при куті різання $\alpha = 45^0 \dots 60^0$ складають в кН/м² [12]:

- для ґрунтів I категорії – 70;
- для ґрунтів II категорії – 110;
- для ґрунтів III категорії – 170;

l – ширина відвалу бульдозера, м; h – глибина різання, м; V_{np} – фактичний об'єм призми волочіння в щільному тілі, визначається за формулою (5a); γ – об'ємна маса ґрунту в щільному тілі, кг/м³; $tg\rho$ – коефіцієнт опору переміщенню призми волочіння ґрунту по ґрунті [12]:

- для зв'язних ґрунтів $tg\rho = 0,5$;
- для незв'язних ґрунтів $tg\rho = 0,7$;
- (максимальне значення $tg\rho = 1$);

$tg\delta$ – коефіцієнт тертя ґрунту об метал:

- для зв'язних ґрунтів $tg\delta = 0,5$;

– для незв'язних ґрунтів $tg\delta = 0,7$.

Формула (7) використовується для орієнтовних розрахунків, оскільки чисельні дослідні коефіцієнти K , $tg\rho$, $tg\delta$ мають приближені значення, справедливі значення тільки для конкретних ґрунтових умов.

Одним із способів розрахунку сил різання ґрунтів (рис. 5) розроблений та запропонований проф. Ю.А. Ветровим [11]. Він відрізняється можливістю окремо враховувати вплив на сили різання основних факторів процесу різання та ґрунтується на закономірностях цього процесу для простих ножів, що відділяють стружку, із яких звичайно утворюється ріжуча частина робочих органів землерийних машин. Сила різання простим гострим ножом залежить від трьох основних геометричних параметрів: ширини зрізу, товщини зрізу (глибини різання) та кута різання. Взаємодія ножа з ґрунтом носить просторовий характер.

Силу блокованого різання P розкладають на три складові:

$$P = P_{св} + P_{бок} + P_{бокср}, \quad (8)$$

де $P_{св}$ – сила, що потрібна для подолання опору ґрунту передньою гранню ножа (пропорційна площі перерізу прорізі перед передньою гранню ножа та залежить від кута різання та міцності ґрунту); $P_{бок}$ – сила, що потрібна для подолання опору ґрунту руйнуванню в бокових розширеннях прорізі (пропорційна їх площі перетину, залежить від міцності ґрунту та не залежить від кута різання та ширини зрізу);

$P_{бокср}$ – сила, що потрібна для подолання опору ґрунту зрізу боковими ребрами ножа біля дна прорізі (пропорційна товщині зрізу, залежить від міцності ґрунту та не залежить від кута різання та ширини зрізу).

Якщо ніж має площадку зношення чи затуплення, то виникає додаткова сила різання $P_{плзн}$:

$$P_{св} = p_{св} \cdot F_{св}; \quad P_{бок} = p_{бок} \cdot F_{бок};$$

$$P_{бокср} = p_{бокср} \cdot L_{бок};$$

$$P_{плзн} = p_{плзн} \cdot L_{плзн},$$

де $p_{св}$, $p_{бок}$ – питомі сили руйнування ґрунту відповідно в середній частині та бокових розширеннях прорізі; $F_{св}$, $F_{бок}$ – площі середніх та бокових частин поперечного перерізу прорізі; $p_{бокср}$ – питома сила зрізу ґрунту боковими ребрами ножа; $L_{бок}$ – сумарна довжина лінії зрізу ґрунту боковими ребрами ножа; $p_{плзн}$ – питома сила для подолання опору ґрунту на площадці зношення чи затуплення ножа, що приходить на одиницю довжини ріжучого краю; $L_{плзн}$ – довжина затупленого чи зношеного ріжучого краю (при блокованому різанні простим ножом вона рівна ширині зрізу).

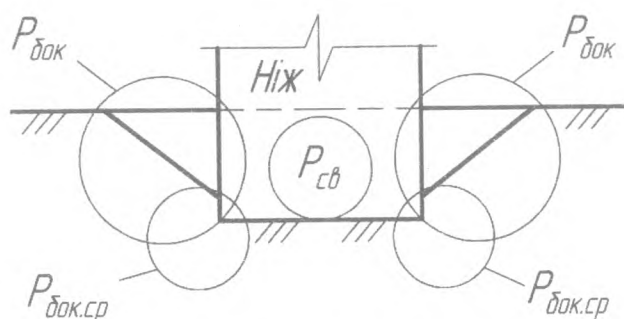


Рис. 5. Зони дії складових сили різання гострим ножем

Fig. 5. Zones action constituents cutting force by a sharp knife

Формула (8) може бути використана для зубів ковшів та розпушувачів. Недоцільно використовування її для визначення опору копанню ґрунту відвалом бульдозера, оскільки дана формула не містить членів, що характеризують сили опору заповнення відвалу ґрунтом та переміщення призми волочіння перед відвалом.

Визначається оптимальна висота, ширина відвалу бульдозера та довжина транспортування, при якій буде повністю використано тягове зусилля базової машини, отримана максимально можлива продуктивність, дотримані умови пересування бульдозера з неповоротним відвалом по зчепленню та мінімальною глибиною різання в кінці копання ґрунту, необхідна для відновлення призми волочіння при неминучих втратах ґрунту в бокові валки, забезпечений мінімум узагальненого показника енергоємності та металоємності.

Для складання алгоритму оптимізації висоти та ширини відвалу використовуються формули тягового розрахунку бульдозера, визначення продуктивності, енергоємності, металоємності, глибини різання на початку та в кінці копання ґрунту й інших параметрів.

Загальний опір, що діє на бульдозер при транспортуванні об'єму ґрунту, що знаходиться перед відвалом, визначається за формулою:

$$W_T = W_{np} + W_{сmp} + W_{nep}, \quad (9)$$

де W_{np} – опір переміщенню призми волочіння ґрунту перед відвалом, кН; $W_{сmp}$ – опір переміщенню ґрунту вверх по відвалу, кН; W_{nep} – опір переміщенню бульдозера, кН.

$$W_{np} = 9,81 \cdot V_{np} \cdot \gamma \cdot \text{tg} \rho,$$

де V_{np} – об'єм призми волочіння ґрунту, м³; γ – об'ємна маса ґрунту, т/м³; ρ – кут тертя ґрунту об ґрунт.

$$V_{np} = \frac{B \cdot H^2}{2 \cdot K_{np}},$$

де H – висота відвалу, м; B – ширина відвалу, м; K_{np} – коефіцієнт, що залежить від типу ґрунту (зв'язності, коефіцієнта розпушення) та співвідношення $\frac{H}{B}$. Значення коефіцієнта K_{np} в залежності від співвідношення $\frac{H}{B}$ та типу ґрунту приведені в таблиці 2.

Таблиця 2.

Значення коефіцієнта призми волочіння ґрунту K_{np}

Table 2.

Value coefficient prism dragging of soil K_{np}

Співвідношення H/B	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
Зв'язні ґрунти I–III категорії	0,7	0,73	0,77	0,8	0,85	0,9	0,95
Незв'язні ґрунти	1,15	1,17	1,19	1,2	1,2	1,3	1,5

$$W_{сmp} = 9,81 \cdot V_{np} \cdot \gamma \cdot \cos^2 \alpha \cdot \text{tg} \delta,$$

де α – кут різання, град.; γ – об'ємна маса ґрунту, т/м³; δ – кут тертя ґрунту об метал, град.

$$W_{nep} = 9,81 \cdot G \cdot (f \pm i),$$

де G – маса трактора та бульдозерного обладнання, т; f – коефіцієнт опору переміщенню руху трактора, $f = 0,1 \dots 0,12$; i – уклін місцевості.

Знак «плюс» ставиться при роботі бульдозера на підйомах та знак «мінус» – на схилах. При куті нахилу місцевості $\beta \geq 10^0$ (0,175 рад) розрахунок слід проводити за більш точною формулою:

$$W_{nep} = 9,81 \cdot G \cdot (f \cdot \cos \beta \pm i \cdot \sin \beta)$$

при $\beta = 0$ маємо $W_{nep} = 9,81 \cdot G \cdot f$;

$$G = G_m + G_{\bar{\sigma}}, \quad (9a)$$

де G_m – маса трактора, т; $G_{\bar{\sigma}}$ – маса

бульдозерного обладнання, що орієнтовно може бути визначена за формулою:

$$G_{б. j+1} = \frac{H_{j+1}}{H_{\min}^{noch}} \cdot G_{б. \min}^{noch} \cdot K_{G. j+1},$$

де $G_{б. j+1}$ – маса бульдозерного обладнання при збільшеній висоті відвалу бульдозера, т; H_{j+1} – збільшена висота відвалу бульдозера в порівнянні з початковою прийнятою висотою відвала

бульдозера, м; H_{\min}^{noch} – початково прийнята висота відвалу бульдозера, м; $K_{G. j+1}$ – коефіцієнт збільшення маси бульдозерного обладнання, що залежить від збільшення висоти та ширини відвалу, співвідношення H/B .

Орієнтовне значення коефіцієнта $K_{G. j+1}$ в залежності від співвідношення H/B приведені в таблиці 3.

Орієнтовні значення коефіцієнта збільшення маси бульдозерного обладнання

Таблиця 3.

Table 3.

Reference values coefficient increase mass of bulldozer equipment

Співвідношення H/B	0,15	0,20	0,25	0,3	0,35	0,40	0,45
Коефіцієнт K_G	1,00	1,02	1,04	1,05	1,05	1,13	1,31

При $H_{j+1} = H_{\min}^{noch}$ та $K_{G. j+1}$ маємо

$$G_{б. j+1} = G_{б. \min}^{noch}.$$

Визначаємо тягове зусилля базової машини T за формулою:

$$T = 0,9 P_{кол} = \frac{0,9 \cdot N_{дв}}{g_p}, \quad (10)$$

де $P_{кол}$ – колове зусилля на ведучих колесах тягача або ведучих зірочках гусеничного трактора, кН; $N_{дв}$ – потужність двигуна базової машини, кВт; g_p – швидкість руху бульдозера при копанні ґрунту, $g_p = 0,4 \dots 0,5$ м/с.

Визначаємо необхідне тягове зусилля при різанні ґрунту на кінцевому етапі копання

$$T_{риз} = T - W_T = T - (W_{np} + W_{сmp} + W_{неp}).$$

Товщина стружки на кінцевому етапі копання h_2 визначається за формулою:

$$h_2 = \frac{T_{риз}}{L \cdot K}, \quad (11)$$

де K – питомий опір ґрунту лобовому різанню, кН/м², для ґрунту I категорії $K = 70 \dots 100$ кН/м²; II категорії $K = 100 \dots 180$ кН/м²; III категорії $K = 180 \dots 200$ кН/м²; L – довжина шляху транспортування ґрунту, м.

Для того, щоб призма ґрунту, що переміщується, поповнювала свій об'єм при втратах в бокові валки, необхідно, щоб дотримувалась умова $h_2 \geq h_{заг}$, де $h_{заг}$ – величина заглиблення ножа бульдозера на кінцевому етапі копання, при якій відновлюються втрати ґрунту в транспортуемій призмі волочіння при її переході в бокові валки.

Величину заглиблення ножа бульдозера можна визначити за формулою:

$$h_{заг} = \frac{K_{вал} \cdot V_{np}}{L}, \quad (12)$$

де $K_{вал}$ – коефіцієнт, що характеризує втрати

ґрунту в бокові валки на 1 м шляху, $K_{вал} = \frac{V_{вал}}{V_{np}}$; $V_{вал}$

– об'єм ґрунту в бокових валках у щільному тілі на 1 м шляху, м³/м.

Орієнтовно коефіцієнт $K_{вал}$ можна прийняти рівним для ґрунтів: зв'язних $K_{вал} = 0,025 \dots 0,032$; незв'язних $K_{вал} = 0,06 \dots 0,07$.

Визначаємо опір ґрунту різанню на кінцевому етапі копання

$$W_p = K \cdot h_{заг} \cdot L.$$

Загальний опір, що діє на бульдозер при його русі на кінцевому етапі копання:

$$\sum W = W_p + W_{np} + W_{сmp} + W_{неp}. \quad (13)$$

Тяговий розрахунок передбачає безумовне виконання умови

$$\sum W \leq G_{зч} \cdot \varphi \leq T,$$

де T – тягове зусилля базової машини, кН; $G_{зч}$ – зчіпна вага бульдозера, рівна для бульдозерів на пневмоколісному ході вазі, що припадає на ведучі колеса, а для бульдозерів на гусеничному ході, рівна загальній вазі бульдозера, $G_{зч} = G$; φ – коефіцієнт зчеплення, який може бути прийнятий рівним 0,9 для гусеничних машин та 0,6 – для колісних машин [13].

Продуктивність бульдозера при різанні та переміщенні ґрунту визначається за формулою:

$$П = \frac{3600 \cdot V_{np} \cdot K_в \cdot K_y \cdot K_n}{T_u \cdot K_p}, \quad (14)$$

де $K_в$ – коефіцієнт використання бульдозера за часом, $K_в = 0,8 \dots 0,85$; K_y – коефіцієнт, що враховує вплив ухилу місцевості на продуктивність бульдозера (табл.4); K_p – коефіцієнт розпушення ґрунту.

Таблица 4.

Значения коэффициента влияния наклона местности на продуктивность бульдозера

Table 4.

Value coefficient of influence inclination locality on the productivity bulldozer

Кут підйому, град.	K_y	Кут схилу, град.	K_y
0-5	1,00-0,67	0-5	1,00-1,33
5-10	0,67-0,50	5-10	1,33-1,94
10-15	0,5-0,40	10-15	1,94-2,25
		15-20	2,25-2,68

K_p – коэффициент разпушения грунта,
 $K_p = 1,05 \dots 1,35$; $K_n = 1 - 0,005 \cdot l_{mp}$ – коэффициент, що враховує втрати при переміщенні ґрунту;
 l_{mp} – довжина переміщення (транспортування) ґрунту, м; T_y – тривалість робочого циклу.

$$T_y = \frac{l_p}{g_p} + \frac{l_{mp}}{g_{mp}} + \frac{l_p + l_{mp}}{g_{xx}} + t_{nom},$$

де l_p – довжина шляху різання, м;
 g_p – швидкість руху бульдозера при різанні ґрунту,
 $g_p = 0,4 \dots 0,5$ м/с; g_{mp} – швидкість руху бульдозера при переміщенні ґрунту, $g_{mp} = 0,9 \dots 1,0$ м/с; g_{xx} – швидкість зворотного (холостого) ходу трактора,
 $g_{xx} = 1,1 \dots 1,2$ м/с;
 t_{nom} – загальний час, що затрачається на опускання відвалу, на переключення передач та на розворот,
 $t_{nom} = 25 \dots 26$ с.

$$l_p = \frac{V_{np}}{F} = \frac{V_{np}}{L \cdot h_{cp}} = \frac{2 \cdot V_{np}}{L \cdot (h_1 - h_2)},$$

де F – площа ґрунту, що зрізається, м²;
 h_{cp} – середня глибина різання, м; h_1 – глибина різання на початку копання, м; h_2 – глибина різання на кінцевому етапі копання, м.

$$h_1 = \frac{T - W_{nep}}{K \cdot L};$$

$$g_{mp} = \frac{N_{\text{дв}}}{P_{\text{кол}}} = \frac{0,9 \cdot N_{\text{дв}}}{W_{np} + W_{cmp} + W_{nep}},$$

де $N_{\text{дв}}$ – потужність двигуна базової машини, кВт; $P_{\text{кол}}$ – колове зусилля на ведучих колесах тягача або на ведучих зірочках гусеничного трактора, що витрачається на переміщення (транспортування) ґрунту та бульдозера, $P_{\text{кол}} = 1,1 \cdot T$; T – тягова сила, що використовується на переміщення (транспортування) ґрунту та бульдозера, кН.

Узагальнений критерій оцінки технічного рівня варіанту конструкції машини на передпроектних етапах проектування Π_{NG} може бути визначений за формулою:

$$\Pi_{NG} = \frac{N_{\text{дв}} \cdot G}{\Pi^2}, \quad (15)$$

де $N_{\text{дв}}$ – встановлена потужність базової машини, кВт; G – загальна маса бульдозера, т; Π – продуктивність, м³/год.

Висновок. На основі тягового балансу розроблено алгоритм оптимізації геометричних параметрів відвалу бульдозера телескопічного типу за узагальненим критерієм оптимізації Π_{NG} в залежності від потужності двигуна базової машини та фізико-механічних властивостей середовища, що розроблюється.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алексеева Т. В. Дорожные машины. Машины для земляных работ [Алексеева Т. В., Артемьев К. А., Бромберг А. А. и др.] – М.: Машиностроение. 1972. – 504 с.
2. Баловнев В.И. Дорожно-строительные машины с рабочими органами интенсифицирующего действия. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
3. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. – М.: Высшая школа, 1982. – 335 с.
4. Дорожные машины. Теория, конструкция и расчет. Учебник для вузов. [Хархута Н. Я., Капустин М. И., Семенов В. П., Эвентов И. М.] – Л.: Машиностроение, 1976. – 472 с.
5. Домбровский Н. Г. Строительные машины / Н. Г. Домбровский, Картвелишвили Ю. Л., Гальперин М. И. – М.: Машиностроение, 1976. – 391 с.
6. Зеленин А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами / А. Н. Зеленин. – М.: Машиностроение, 1968. – 376 с.
7. Зеленин А. Н. Машины для земляных работ. Учебное пособие для вузов / А. Н. Зеленин, В. И. Баловнев, И. П. Керов. – М.: Машиностроение, 1975. – 424 с.

8. Машины для земляных работ: Пidrучник / 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. – Х.: ХНАДУ, 2014. – 548 с.
9. Машины для земляных работ: Навчальний посiбник / Хмара Л. А., Кравець С. В., Нічке В. В., Назаров Л. В., Скоблюк М. П., Нікітiн В. Г. Під загальною редакцією проф. Хмари Л. А. та проф. Кравця С. В. Рівне – Дніпропетровськ – Харків. – 2010. – 557 с.
10. Машины для земляных работ / Ю.А. Ветров, А.А. Кархов, А.С. Кондра и др. – Киев: Высшая школа, 1976. – 368 с.
11. Машины для земляных работ / Ю.А. Ветров, А.А. Кархов, А.С. Кондра и др. – Киев: Высшая школа, 1976. – 368 с.
12. Навесное тракторное оборудование для разработки высокопрочных грунтов / Б.З. Захарчук, Г.А. Шлойдо, А.А. Яркин и др. – М.: Машиностроение, 1979. – 191 с.
13. Проектирование машин для земляных работ. Под ред. А. М. Холодова. – Харьков «Вища школа». 1986. – 272 с.
14. Холодов А. М. Землеройно – транспортные машины / А. М. Холодов, В. В. Нічке, Л. В. Назаров. – Харьков «Вища школа». 1982. – 192 с.
15. Шаммат Н.К. Основы BASIC и объектно-проектированного программирования. – Киев, Диалектика. 1996. – 448 с.
16. Шилдт Г.Н. Языки программирования. – Санкт-Петербург, 1996. – 416 с.

REFERENCES

1. Alekseeva T. V. Dorozhnyie mashinyi. Mashinyi dlya zemlyanyih rabot [Traveling machines. Machines for earthmovings] [Alekseeva T. V., Artemev K. A., Bromberg A. A. i dr.] – М.: Mashinostroenie. 1972. – 504 s.
2. Balovnev V.I. Dorozhno-stroitelnyie mashinyi s rabochimi organami intensifitsiruyushego deystviya. [Trail builders with the working organs of intensifying action] – М.: Mashinostroenie, 1981. – 224 s.
3. Balovnev V.I. Modelirovanie protsessov vzaimodeystviya so sredoy rabochih organov dorozhno-stroitelnyih mashin. [Design of processes co-operating with the environment of working organs trail builders] – М.: Vysshaya shkola, 1982. – 335 s.
4. Dorozhnyie mashinyi. Teoriya, konstruktsiya i raschet. Uchebnik dlya vuzov [Theory, construction and calculation. Textbook for institutions of higher learning]. [Harhuta N. Ya., Kapustin M. I., Semenov V. P., Eventov I. M.] – L.: Mashinostroenie, 1976. – 472 s.
5. Dombrovskiy N. G. Stroitelnyie mashinyi [Building machines] / N. G. Dombrovskiy, Kartvelishvili Yu. L., Galperin M. I. – М.: Mashinostroenie, 1976. – 391 s.
6. Zelenin A. N. Osnovyi razrusheniya gruntov mekhanicheskimi sposobami [Bases of destruction soils mechanical methods] / A. N. Zelenin. – М.: Mashinostroenie, 1968. – 376 s.
7. Zelenin A. N. Mashinyi dlya zemlyanyih rabot. Uchebnoe posobie dlya vuzov [Machines for earthmovings. Train aid for institutions higher learning] / A. N. Zelenin, V. I. Balovnev, I. P. Kerov. – М.: Mashinostroenie, 1975. – 424 s.
8. Mashiny dlya zemlyanyih robot: Pidruchnik [Machines for earthmovings: Textbook] / 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.
9. Mashiny dlya zemlyanyih robot: Navchalnyi posibnik [Machines for earthmovings: train aid] / Khmara L. A., Kravets S. V., Нічке V. V., Назаров L. V., Skoblyuk M. P., Нікітiн V. G. Під загальною редакцією проф. Хмари Л. А. та проф. Кравця С. В. - Рівне -Дніпропетровськ - Харків, 2010. - 557 с.
10. Mashinyi dlya zemlyanyih rabot [Machines for earthmovings] / Yu.A. Vetrov, A.A. Karhov, A.S. Kondra i dr. – Киев: Vysshaya shkola, 1976. – 368 s.
11. Mashinyi dlya zemlyanyih rabot [Machines for earthmovings] / Yu.A. Vetrov, A.A. Karhov, A.S. Kondra i dr. – Киев: Vysshaya shkola, 1976. – 368 s.
12. Navesnoe traktornoe oborudovanie dlya razrabotki vyisokoprochnyih gruntov [Cover tractor equipment for development of durable soils] / B.Z. Zaharchuk, G.A. Shloydo, A.A. Yarkin i dr. – М.: Mashinostroenie, 1979. – 191 s.
13. Proektirovanie mashin dlya zemlyanyih rabot. [Planning of machines for earthmovings]/ Pod red. A. M. Holodova. – Harkov «Vischa shkola». 1986. – 272 s.
14. Holodov A. M. Zemleroyno – transportnyie mashinyi [earthmovers-transport machines] / A. M. Holodov, V. V. Нічке, L. V. Nazarov. – Harkov «Vischa shkola». 1982. – 192 s.
15. Shammatt N.K. Osnovyi BASIC i ob'ektno-proektirovannogo programmirovaniya [Bases of BASIC and objective-designed programming]. – Киев, Dialektika. 1996. – 448 s.
16. Schildt G.N. Yazyiki programmirovaniya [Programming languages]. – Sankt-Peterburg, 1996. – 416 s.