

УДК 621.872

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІДВАЛА БУЛЬДОЗЕРА ТЕЛЕСКОПІЧНОГО ТИПУ

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

¹ Кафедра будівельних та дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (093) 267-03-86, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302.

² Кафедра будівельних та дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", 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 адаптації робочих органів землерійно-транспортних машин 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 ширини відвала бульдозера в залежності від ґрунтових умов та тягово-зчіпних характеристик базової машини. **Висновок:** На основі тягового балансу розроблено алгоритм оптимізації ширини 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: адаптація робочих органів, ґрунтові умови, базова машина, ширина відвала, оптимізаційний розрахунок, алгоритм, тягово-зчіпні характеристики

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОТВАЛА БУЛЬДОЗЕРА ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО ТИПА

ХМАРА Л. А.¹, *д.т.н., проф.*КРОЛЬ Р. Н.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 (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, 49600, Днепропетровск, Украина тел. +38 (0562) 46-98-73, e-mail: krol.roman2012@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0002-7180-663X

Аннотация. Постановка проблемы. Возможность адаптации рабочих органов землеройно-транспортных машин к различным ґрунтовым условиям и технологическим процессам позволит рационально использовать тягово-сцепные характеристики машины, повысить её производительность и универсальность. **Целью статьи является** разработка алгоритма оптимизационного расчета ширины отвала бульдозера в зависимости от ґрунтовых условий и тягово-сцепных характеристик базовой машины. **Вывод:** На основе тягового баланса разработан алгоритм оптимизации ширины 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: адаптация рабочих органов, ґрунтовые условия, базовая машина, ширина отвала, оптимизационный расчет, алгоритм, тягово-сцепные характеристики

THEORETICAL BASES CALCULATION GEOMETRICAL PARAMETERS DUMP BULLDOZER TELESCOPIC TYPE

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

¹ Department of Building and Traveling of machines, State Higher Educational Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", st. Chernyshevsky, 24-A, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (093) 267-03-86, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302.

² Department of Building and Travelling of machines, State Higher Educational Establishment "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@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0002-7180-663X

Summary. Raising of problem. Possibility of adaptation of working organs of earth-moving-transport machines to the different ground terms and technological processes will allow rationally to use hauling-coupling descriptions of machine, promote her productivity and universality. **Purpose** is development of algorithm of optimization calculation of width of dump of bulldozer depending on the ground terms and hauling-coupling descriptions of base machine. **Conclusion.** On the basis of hauling balance the algorithm of optimization of width of dump of bulldozer of telescopic type is worked out after the generalized criterion of optimization of PNG depending on engine of base machine, physical and mechanical properties of the developed environment power.

Key words: adaptation of working organs, ground terms, base machine, width of dump, optimization calculation, algorithm, hauling-coupling descriptions

Актуальність проблеми. Можливість адаптації робочих органів землерийно-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 [1], А. М. Зеленіна [2, 3], В. І. Баловнєва, І. П. Керова [3], М. Я. Хархути, М. І. Капустіна, В. П. Семенова, І. М. Евентова [4], А. М. Холодова [5, 6], Т. В. Алексієвої, К. А. Артемьєва, А. А. Бромберга [7], Л. А. Хмари [8, 9], але ними не розглянуті питання впливу зміни ширини 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 ширини відвала бульдозера телескопічного типу за узагальненим критерієм оптимізації P_{NG} в залежності від ґрунтових умов та тягово-зчіпних характеристик бульдозера.

Основний матеріал. Підвищення продуктивності досягається за рахунок установки на базовий трактор (рис. 1) з бульдозерного робочого обладнання, що складається із штовхаючих брусів 1, що приварені до основного відвала 2. У внутрішній порожнині основного відвала 2, по обидві його бічні сторони, встановлені, із можливістю осьового переміщення, допоміжні відвали 3. Осьове переміщення допоміжних відвалів 3 здійснюється за допомогою двохштокового гідроциліндра 4, котрий закріплено на основному відвалі 2 в кронштейнах 5. На внутрішній стороні основного відвала 2, за допомогою болтових з'єднань, закріплені напрямні 6 виконані із бронзи по котрим переміщуються допоміжні відвали 3. В свою чергу, тильна сторона допоміжних відвалів 3 має короби 7, 8 та 9 із напрямляючими 10, 11 та 12. Короби 7, 8 та 9 контактують із відповідними коробами 13, 14 та 15 основного відвала 2.

Така конструкція дозволяє переміщувати допоміжні відвали 2 без значного опору осьового

переміщення, а наявність внутрішніх коробів забезпечує достатню жорсткість основного та допоміжних відвалів при максимальному вильоту останніх.

Дане робоче обладнання бульдозера може адаптуватися до різних ґрунтових умов за рахунок зміни довжини вильоту допоміжних відвалів за допомогою двохштокового гідроциліндра, що дозволить ефективніше використати тягово-зчіпні характеристики базової машини.

Максимальний виліт допоміжних відвалів при копанні ґрунтів різних категорій необхідного визначити на основі тягового балансу бульдозера.

Оптимізаційний розрахунок необхідної ширини відвала бульдозера виконуємо на основі тягового розрахунку, що дозволяє визначити максимальну глибину різання в заданих ґрунтових умовах, оцінити можливості тягача при транспортуванні ґрунту з підрізанням стружки мінімальної товщини, щоб поповнити втрати ґрунту в бокові валики, визначити максимальний підйом, що може долати бульдозер з максимальною призмюю волочиння при забезпеченні мінімуму узагальненого показника енергоємності та металоємності P_{NG} .

Розрахунок виконуємо з дотриманням умови [5, 6]:

$$\sum W \leq T_n \leq T_{cy}, \quad (1)$$

де $\sum W$ – сумарний опір переміщенню бульдозера в процесі копання ґрунту, Н; T_n – тягове зусилля трактора за двигуном базової машини на обраній передачі, Н; T_{cy} – тягове зусилля трактора по зчіпній вазі, Н.

Тягове зусилля T_n за двигуном базової машини визначається [5]:

$$T_n = \frac{3,6 \cdot N \cdot \eta_{mp}}{g}, \quad (2)$$

де N – потужність двигуна базової машини, кВт; η_{mp} – ККД трансмісії; механічної – 0,83...0,86; гідромеханічної – 0,73...0,76; g – швидкість руху базової машини (при різанні ґрунту), км/год.

Тягове зусилля базової машини по зчіпній вазі:

$$T_{cy} = R_{cy} \cdot \varphi_{cy}, \quad (3)$$

де R_{cu} – нормальна реакція ґрунту на рушії бульдозера в робочому стані: $R_{cu} = (1,17...1,22) \cdot G_b$; G_b – загальна вага бульдозера, Н; φ_{cu} – коефіцієнт зчеплення рушіїв із ґрунтом, що відповідає припустимому буксуванню рушіїв; для гусеничних $\varphi_{cu} = 0,9$; для колісних $\varphi_{cu} = 0,6$ [5].

Сумарний опір переміщенню бульдозера в процесі копання ґрунту визначається за залежністю:

$$\sum W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4, \quad (4)$$

де W_1 – опір різанню ґрунту; W_2 – опір переміщенню призми волочіння ґрунту; W_3 – опір підйому ґрунту по відвалу бульдозера; W_4 – опір переміщенню бульдозера.

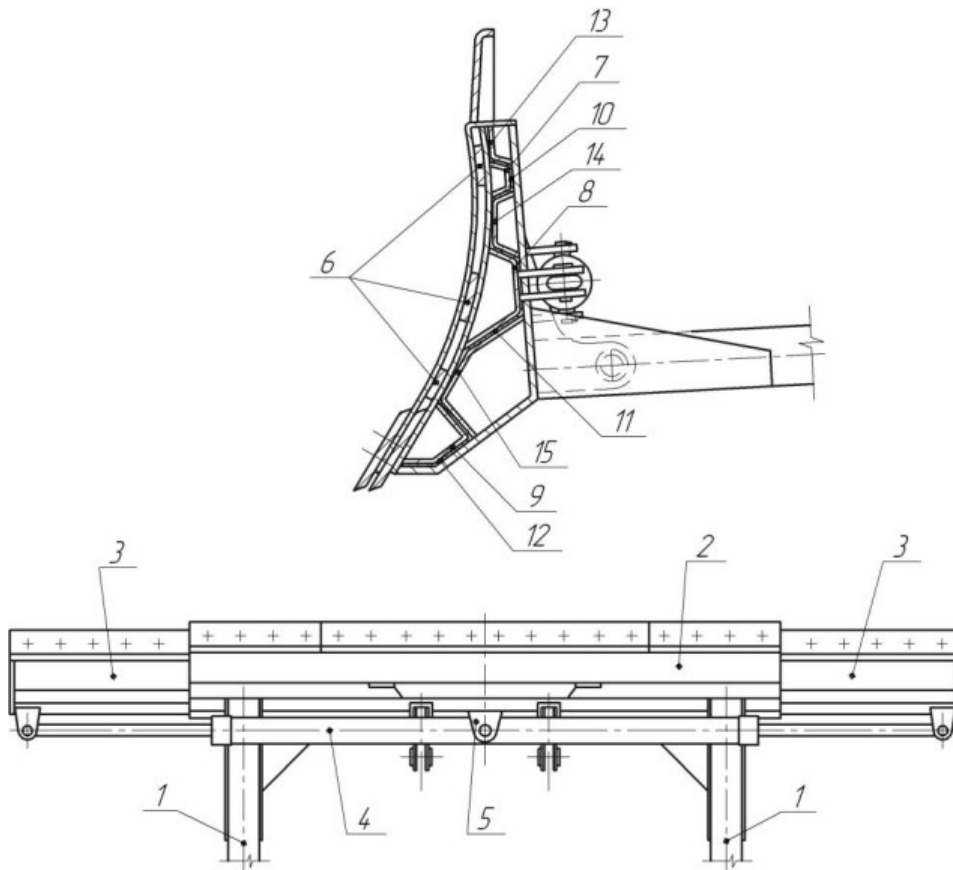


Рис. 1. Конструкція робочого обладнання бульдозера телескопічного типу

Опір різання ґрунту обчислюємо по формулі [5]:

$$W_1 = K \cdot (B_{eid} + \Delta B_{eid}) \cdot h_k, \quad (5)$$

де B_{eid} – ширина відвала бульдозера, м; ΔB_{eid} – приріст ширини відвалу бульдозера, м; K – питомий опір різання ґрунту незношеним ножом; I – 0,07 МПа; II – 0,10...0,12 МПа; III – 0,13...0,17 МПа; IV – 0,25 МПа [5]; h_k – глибина копання ґрунту, м.

Опір переміщенню призми волочіння ґрунту:

$$W_2 = G_{np} \cdot f / K_p, \quad (6)$$

де G_{np} – вага призми волочіння, Н; $f = tg\rho$ – коефіцієнт тертя ґрунту об ґрунт; 0,6...0,65 – для I-ї; 0,65...0,75 – для II-ї; 0,75...0,85 для III-ї; 0,85...0,95 – для IV-ї категорій [5]; K_p – коефіцієнт розпушення

ґрунту; 1,1 – для I-ї категорії ґрунту; 1,25 – для II-ї категорії ґрунту; 1,3 – для III-ї категорії ґрунту.

Вага призми волочіння з урахуванням ширини відвала:

$$G_{np} = \gamma \cdot g \cdot V_{np}, \quad (7)$$

де γ – об'ємна вага ґрунту, kg/m^3 ; V_{np} – об'єм призми волочіння, m^3 .

Для різних ґрунтів приймаємо наступні значення їхньої об'ємної ваги [5]: для I – і категорії – 1500 kg/m^3 ; для II – і категорії – 1750 kg/m^3 ; для III – і категорії – 1950 kg/m^3 ; для IV – і категорії – 2000 kg/m^3 .

Об'єм призми волочіння з урахуванням ширини відвала дорівнює:

$$V_{np} = \left[H_{eid}^2 \cdot (B_{eid} + \Delta B_{eid}) \right] / 2 \cdot tg\rho, \quad (8)$$

де $B_{від}$, $H_{від}$ – відповідно ширина і висота відвала бульдозера, м; $tg\rho$ – коефіцієнт тертя ґрунту об ґрунт; ΔB – приріст ширини відвала бульдозера, м.

Опір підйому ґрунту по відвалу:

$$W_3 = G_{np} \cdot f' \cdot \cos^2 \alpha, \quad (9)$$

де $f' = tg\delta$ – коефіцієнт тертя ґрунту по сталі; 0,35...0,4 – для I – і; 0,45...0,5 – для II – і; 0,5...0,6 – для III – і; 0,6...0,7 – для IV – і категорій; α – кут різання ґрунту, град.

Опір переміщенню бульдозера:

$$W_4 = G_{\bar{b}} \cdot (f_1 \cdot \cos \alpha_n \pm \sin \alpha_n), \quad (10)$$

де $G_{\bar{b}}$ – загальна вага бульдозера, Н; f_1 – коефіцієнт опору переміщенню бульдозера по ґрунту, приймаємо рівним $f_1 = 0,1...0,12$ [6]; α_n – кут позовжнього нахилу шляху, град.

Продуктивність бульдозера при різанні та переміщенні ґрунту визначається по формулі:

$$\Pi = \frac{3600 \cdot V_{np} \cdot K_g \cdot K_y \cdot K_n}{T_{\zeta} \cdot K_p}, \quad (11)$$

де V_{np} – об'єм призми волочиння, м³; K_g – коефіцієнт використання бульдозера за часом, $K_g = 0,8...0,85$; K_y – коефіцієнт, що враховує вплив нахилу місцевості на продуктивність бульдозера (табл. 1); K_p – коефіцієнт розпушення ґрунту, $K_p = 1,1...1,3$ залежно від категорії ґрунту; K_n – коефіцієнт, що враховує втрати ґрунту в бокові валики при його переміщенні [6], $K_n = 1 - \sqrt{0,005 \cdot l_{mp}}$; l_{mp} – ширина переміщення (транспортування) ґрунту, м; T_{ζ} – тривалість робочого циклу бульдозера, с.

Таблиця 1.

Значення коефіцієнта, що враховує вплив нахилу місцевості на продуктивність бульдозера

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

Тривалість робочого циклу визначаємо за формулою:

$$T = 3,6 \cdot \left(\frac{l_p}{g_p} + \frac{l_{mp}}{g_{mp}} + \frac{l_p + l_{mp}}{g_{xx}} \right) + 2 \cdot (t_{нов} + t_{nn} + t_o), \quad (12)$$

де l_p, l_{mp} – відповідно ширина шляху різання та транспортування ґрунту, м; g_p, g_{mp}, g_{xx} – відповідно швидкість руху бульдозера при різанні, $g_p = 3,26$ км/год, транспортуванні $g_{mp} = 6,21$ км/год, холостому ході $g_{xx} = 7,67$ км/год (для трактора ДТ – 75 [6]); $t_{нов}$ – час, що витрачається на поворот бульдозера, с; t_{nn} – час, що витрачається на перемикання передач, с; t_o – час, що витрачається на опускання відвала, $t_o = 1...2$ с.

Ширина шляху копання ґрунту:

$$l_p = \frac{V_{np}}{F} = \frac{V_{np}}{h_k \cdot (B + \Delta B)}, \quad (13)$$

де F – площа ґрунту, що зрізується, м²; h_k – глибина копання, м; B – ширина відвала бульдозера, м; ΔB – приріст ширини відвала бульдозера, м.

Узагальнений критерій оцінки технічного рівня варіанта конструкції машини на передпроектних етапах проектування Π_{NG} може бути визначений по формулі:

$$\Pi_{NG} = \frac{N \cdot G}{\Pi^2}, \quad (14)$$

де N – встановлена потужність двигуна базової машини, кВт; G – загальна маса бульдозера, кг; Π – продуктивність бульдозера, м³/год.

По формулах (1–14), використовуючи можливості ЕОМ, розроблена програма «Оптимізаційного розрахунку ширини відвала робочого обладнання бульдозера на основі тягового балансу та визначення продуктивності за узагальненим критерієм оптимізації Π_{NG} » мовою BASIC.

Блок – схема програми представлена на рисунку 2.

По даній програмі був проведений оптимізаційний розрахунок ширини відвала бульдозера марки ДЗ-42 (базовий машина промисловий трактор ДТ-75) при розробці ґрунтів I – і, II – і та III – і категорії міцності.

За даними комп'ютерної роздруковки побудовані графіки залежності зусилля копання (W) від ширини відвала ($B_{від}$) і категорії розроблюваного ґрунту (рис. 3); залежності

продуктивності (Π) бульдозера від ширини відвала ($B_{від}$) та категорії розроблюваного ґрунту (рис. 4); залежності узагальненого критерію оцінки (Π_{NG}) технічного рівня бульдозера від зміни ширини

відвала ($B_{від}$) та категорії розроблюваного ґрунту (рис. 5).

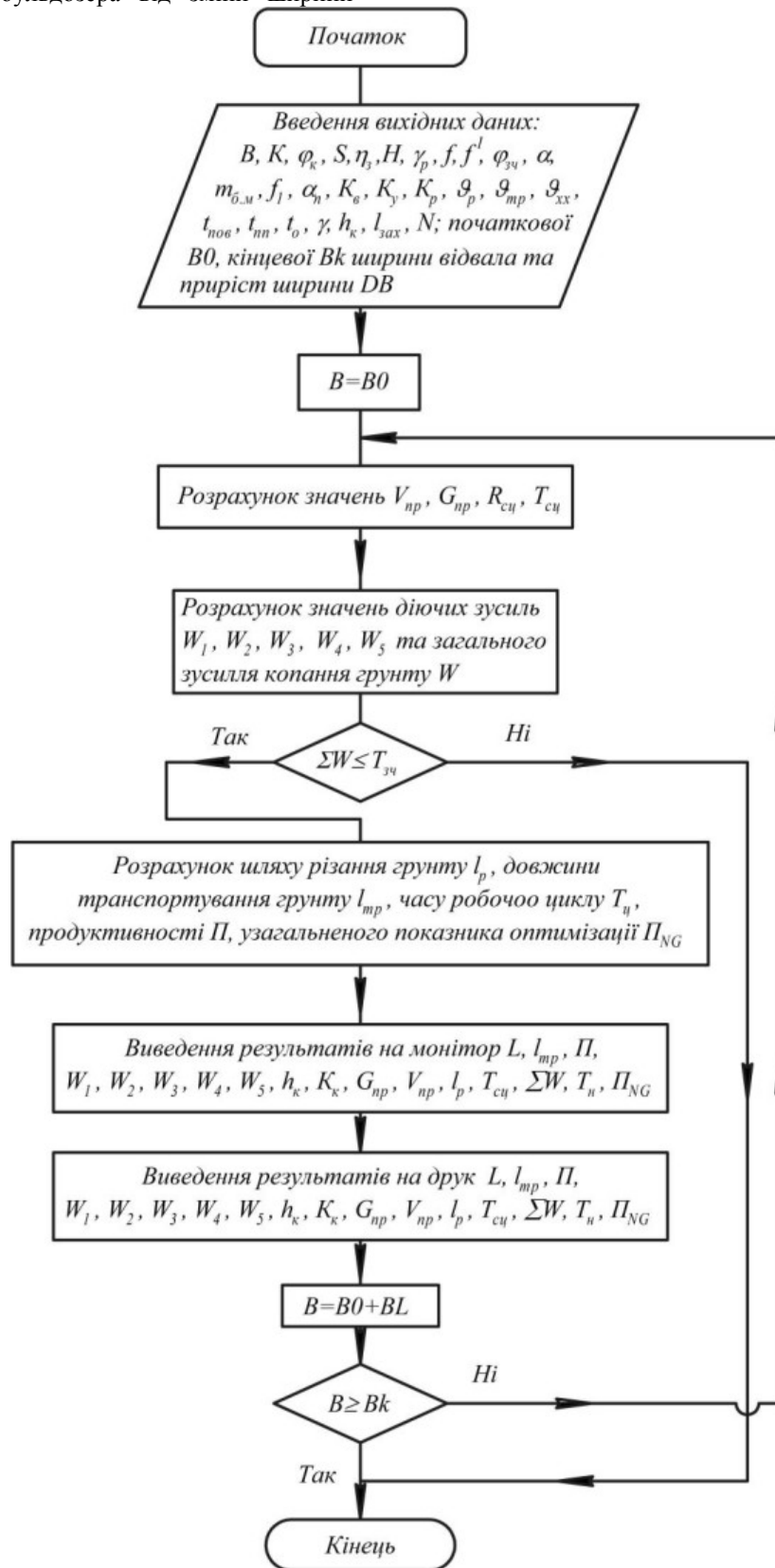


Рис. 2. Блок – схема програми оптимізаційного розрахунку ширини відвала бульдозера

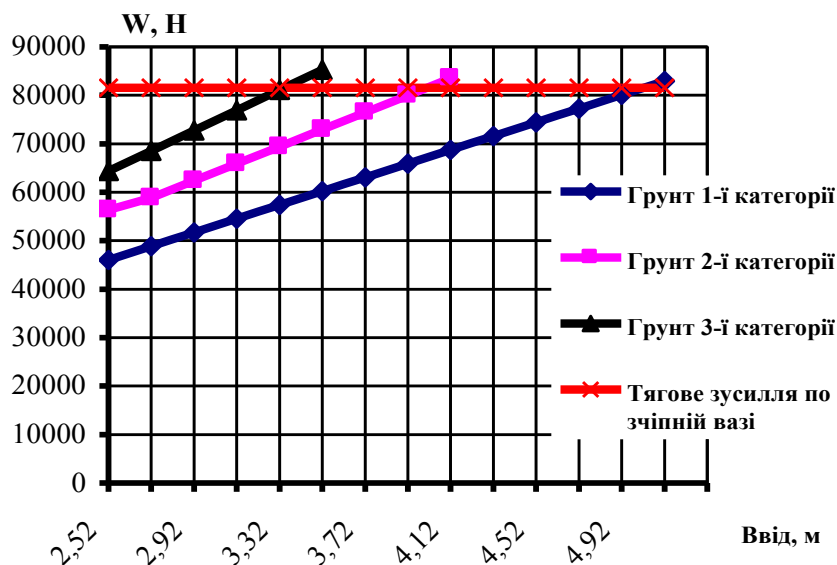


Рис. 3. Графік залежності зусилля копання (W) від ширини відвала ($B_{від}$) та категорії розроблюваного ґрунту

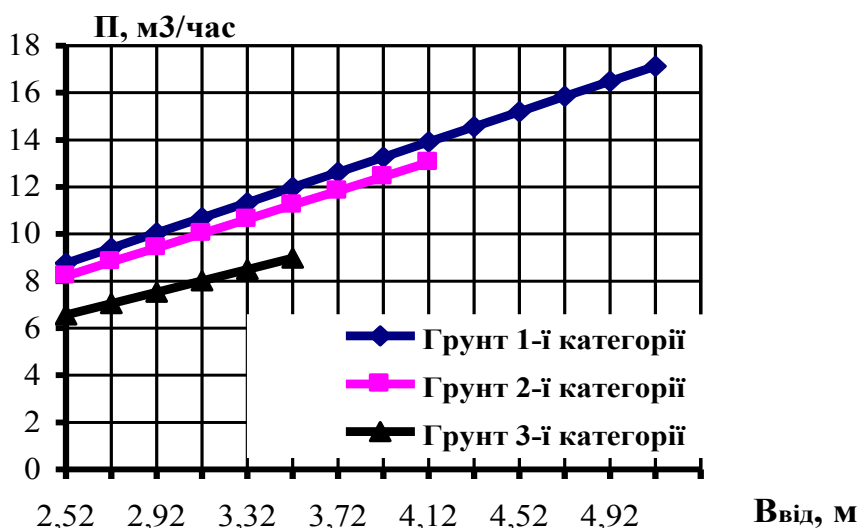


Рис. 4. Графік залежності продуктивності (Π) бульдозера від ширини відвала ($B_{від}$) та категорії розроблюваного ґрунту

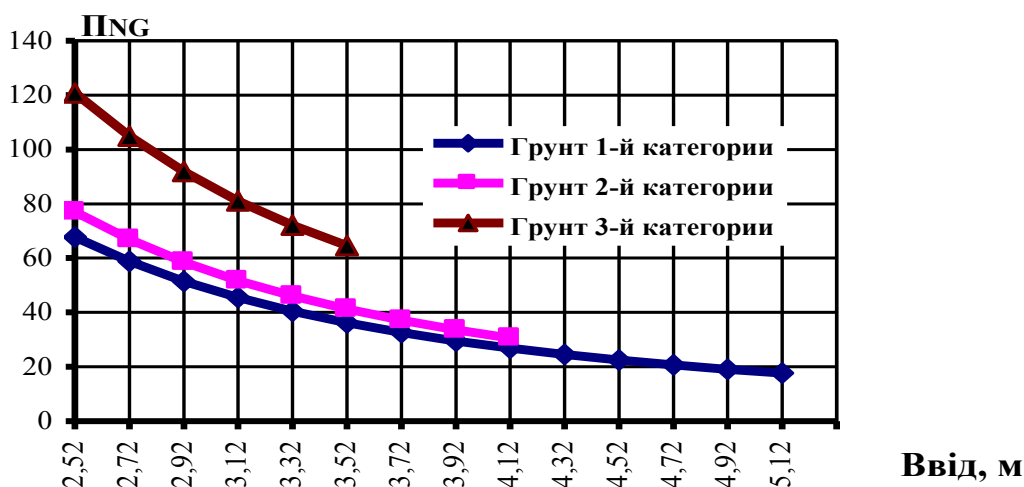


Рис. 5. Графік залежності узагальненого критерію оцінки ($\Pi_{НГ}$) технічного рівня бульдозера від зміни ширини відвала ($B_{від}$) та категорії розроблюваного ґрунту

Із графіків слідує, що до досягнення максимального зусилля копання ґрунту (поки воно буде рівне тяговому зусиллю базового трактора по зчпній вазі) на ґрунтах 1 – і категорії ширина відвала, на яку він збільшується відносно початкової (стандартної) ширини відвала становить 5,12 м; на ґрунтах 2 – і категорії – 4,12 м; на ґрунтах 3 – і категорії – 3,52 м (на ґрунтах 4 – і категорії бульдозер не може працювати без попереднього розпушення ґрунту, тому розрахунки для 4-ї категорії ґрунту не виконувались).

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Домбровский Н. Г. Строительные машины / Н. Г. Домбровский, Картвелишвили Ю. Л., Гальперин М. И. – М.: Машиностроение, 1976. – 391 с.
2. Зеленин А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами / А. Н. Зеленин. – М.: Машиностроение, 1968. – 376 с.
3. 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.
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. Проектирование машин для земляных работ. Под ред. А. М. Холодова. – Харьков «Вища школа». 1986. – 272 с.
6. Холодов А. М. Землеройно – транспортные машины / А. М. Холодов, В. В. Ничке, Л. В. Назаров. – Харьков «Вища школа». 1982. – 192 с.
7. 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.
8. Машины для земляных работ: 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. – Х.: ХНАДУ, 2014. – 548 с.
9. Машины для земляных работ: Навчальний посібник / Хмара Л. А., Кравець С. В., Нічке В. В., Назаров Л. В., Скоблюк М. П., Нікітін В. Г. Під загальною редакцією проф. Хмари Л. А. та проф. Кравця С. В. Рівне – Дніпропетровськ – Харків. – 2010. – 557 с.

REFERENCES

1. Dombrovskiy N. G. Stroitelnyie mashinyi [Building machines] / N. G. Dombrovskiy, Kartvelishvili Y. L., Galperin M. I. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 391 p.
2. Zelenin A. N. Osnovyi razrusheniya gruntov mehanicheskimi sposobami [Bases of destruction of soils mechanical methods] / A. N. Zelenin. – M.: Mashinostroenie, 1968. – 376 p.
3. Zelenin A. N. Mashinyi dlya zemlyanyih rabot. Uchebnoe posobie dlya vuzov [Machines for earthmovings. Train aid for institutions of higher learning] / A. N. Zelenin, V. I. Balovnev, I. P. Kerov. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 424 p.
4. Dorozhnyie mashinyi. Teoriya, konstruktsiya i raschet. Uchebnik dlya vuzov [Travelling machines. 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 p.
5. Proektirovanie mashin dlya zemlyanyih rabot [Planning of machines for earthmovings]. Pod red. A. M. Holodova. – Harkov «Vischa shkola». 1986. – 272 p.
6. M. Holodov. Zemleroyno – transportnyie mashinyi [Earth – transport machines] / A. M. Holodov, V. V. Niche, L. V. Nazarov – Harkov «Vischa shkola». 1982. – 192 p.
7. Alekseeva T. V. Dorozhnyie mashinyi. Mashinyi dlya zemlyanyih rabot [Travelling machines. Machines for earthmovings] / [Alekseeva T. V., Artemev K. A., Bromberg A. A. i dr.] – M.: Mashinostroenie. 1972. – 504 p.
8. Mashini dlya zemlyanih 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. - H.: HNADU, 2014. - 548 p.
9. Mashini dlya zemlyanih robot: Navchalnyi posibnik [Machines for earthmovings: train aid] / Khmara L. A., Kravets S. V., Niche V. V., Nazarov L. V., Skoblyuk M. P., Nikitin V. G. Pid zagalnoyu redaktsieyu prof. Khmara L. A. ta prof. Kravtsya S. V. Rivne -Dnipropetrovsk - Kharkiv. 2010. - 557 p.