

УДК 621.872:69.0025

## ОПТИМІЗАЦІЙНИЙ РОЗРАХУНОК ШИРИНИ ВІДВАЛА БУЛЬДОЗЕРА ТЕЛЕСКОПІЧНОГО ТИПУ ЗА УЗАГАЛЬНЕНИМ КРИТЕРІЄМ ОПТИМІЗАЦІЇ $P_{NG}$

КРОЛЬ Р. М., к.т.н., доц.,

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: 0000-0002-7180-6632.

**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.

## ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ РАСЧЕТ ШИРИНЫ ОТВАЛА БУЛЬДОЗЕРА ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО ТИПА ЗА ОБОБЩЕННЫМ КРИТЕРИЕМ ОПТИМИЗАЦИИ $P_{NG}$

КРОЛЬ Р. Н., к.т.н., доц.,

Кафедра строительных и дорожных машин (СДМ), Государственное высшее учебное заведение (ГВУЗ) «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» (ПГАСА), ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина тел. +38 (0562) 46-98-73, e-mail: krol.roman2012@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0002-7180-6632

**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.

## OPTIMIZATION CALCULATION OF WIDTH DUMP BULLDOZER TELESCOPIC TYPE AFTER THE GENERALIZED CRITERION OF OPTIMIZATION $P_{NG}$

KROL' R. N. \*, Ph. D.,

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@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0002-7180-6632

**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  $P_{NG}$  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. Баловнева, І. П. Керова [3], Н. Я. Хархути, М. І. Капустіна, В. П. Семенова, І. М. Евентова [4], А. М. Холодова [5, 6], Т. В. Олексієвої, К. А. Артемьева, 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.** 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 призмою волочіння при забезпеченні мінімуму узагальненого показника енергоємності та металоємності  $P_{NG}$ .

Розрахунок виконуємо з дотриманням умови [5, 6]:

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

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;

$T_{cч}$  – 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;  $\eta_{mp}$  – 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:

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

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

Опір різання ґрунту обчислюємо по формулі [5]:

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

де  $B_{від}$  – ширина відвала бульдозера, м;  $\Delta B_{від}$  – 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 волочиння, 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 волочиння з урахуванням  
 ширини відвала:

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

де  $\gamma$  – об'ємна вага ґрунту, кг/м<sup>3</sup>;  
 $V_{np}$  – об'єм призми волочиння, м<sup>3</sup>.

Для різних ґрунтів приймаємо наступні  
 значення їхньої об'ємної ваги [5]: для I – і  
 категорії – 1500 кг/м<sup>3</sup>; для II – і категорії –  
 1750 кг/м<sup>3</sup>; для III – і категорії – 1950 кг/м<sup>3</sup>;  
 для IV – і категорії – 2000 кг/м<sup>3</sup>.

Об'єм призми волочиння з урахуванням  
 ширини відвала дорівнює:

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

де  $B_{\text{від}}$ ,  $H_{\text{від}}$  – відповідно ширина і висота  
 відвала бульдозера, м;  $tg\rho$  - коефіцієнт  
 тертя ґрунту об ґрунт;  $\Delta B$  - приріст ширини  
 відвалу 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;  $\alpha$  – кут різання ґрунту, град.

Опір переміщенню бульдозера:

$$W_4 = G_o \cdot (f_1 \cdot \cos \alpha_n \pm \sin \alpha_n), \quad (10)$$

де  $G_o$  – загальна вага бульдозера, Н;  
 $f_1$  – коефіцієнт опору переміщенню  
 бульдозера по ґрунту, приймаємо рівним  $f_1$   
 = 0,1...0,12 [6];  $\alpha_n$  – кут поздовжнього  
 нахилу шляху, град.

Продуктивність бульдозера при різанні та  
 переміщенні ґрунту визначається по  
 формулі:

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

де  $V_{np}$  – об'єм призми волочиння, м<sup>3</sup>;  $K_g$   
 – 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;  
 $T_u$  – 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 <sup>0</sup>	1,00-0,67	0-5 <sup>0</sup>	1,00-1,33
5-10 <sup>0</sup>	0,67-0,50	5-10 <sup>0</sup>	1,33-1,94
10-15 <sup>0</sup>	0,5-0,40	10-15 <sup>0</sup>	1,94-2,25
		15-20 <sup>0</sup>	2,25-2,68

Тривалість робочого циклу визначаємо  
 за формулою:

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

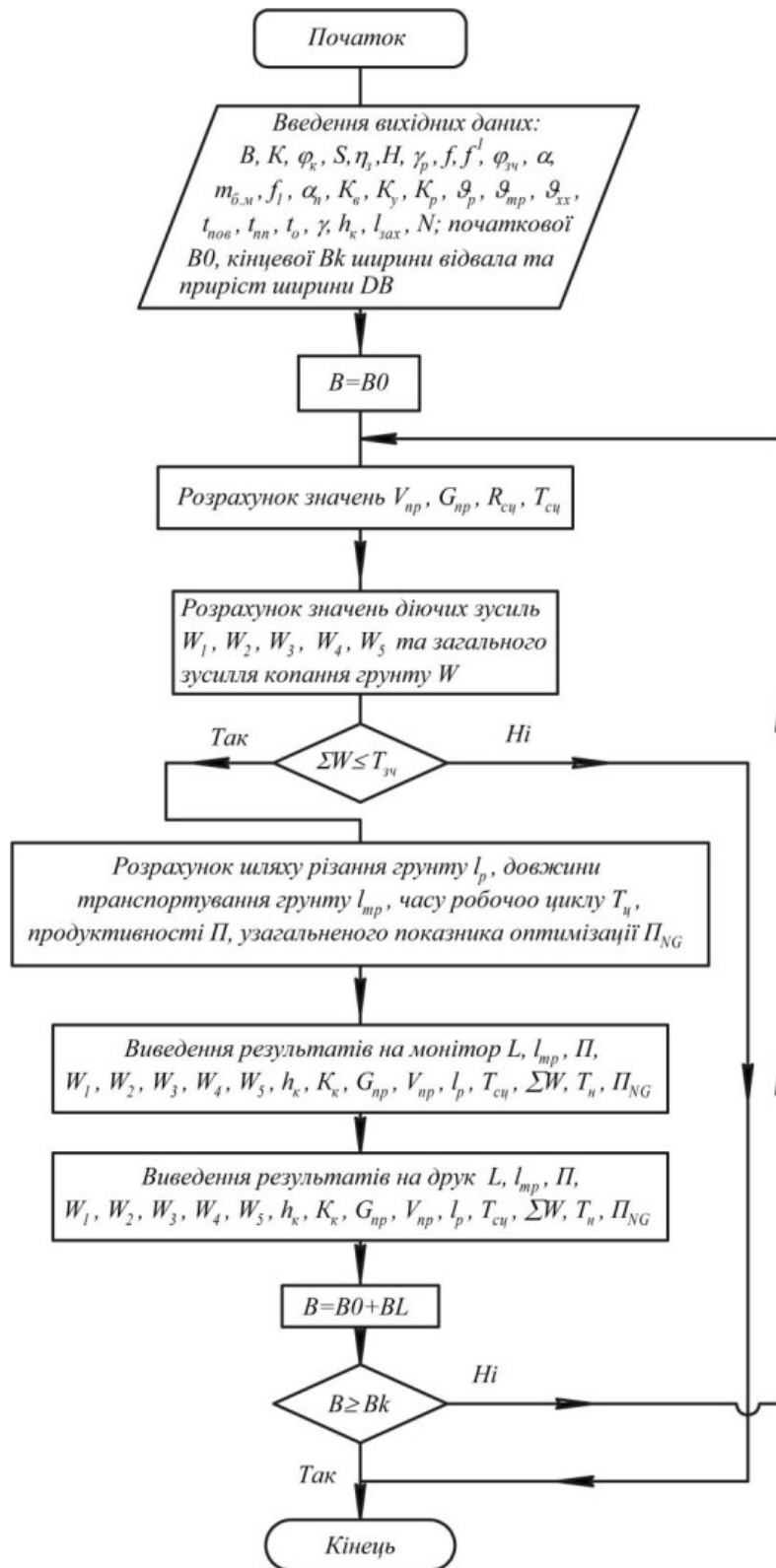


Рис. 1. Блок – схема програми оптимізаційного розрахунку ширини відвала бульдозера.

де  $l_p, l_{mp}$  – відповідно ширина шляху різання та транспортування ґрунту, м;  $\vartheta_p, \vartheta_{mp}, \vartheta_{xx}$  – відповідно швидкість руху бульдозера при різанні,  $\vartheta_p = 3,26$  км/год,

транспортуванні  $\vartheta_{mp} = 6,21$  км/год, холостому ході  $\vartheta_{xx} = 7,67$  км/год (для трактора ДТ – 75 [6]);  $t_{пов}$  – 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,  $m^2$ ;  $h_k$  – глибина копання, м;  $B$  – ширина відвала бульдозера, м;  $\Delta B$  – приріст ширини відвала бульдозера, м.

Узагальнений критерій оцінки технічного рівня варіанта конструкції машини на передпроектних етапах проектування  $\Pi_{NG}$  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;  $\Pi$  – продуктивність бульдозера,  $m^3/год$ .

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  $\Pi_{NG}$ » мовою BASIC.

Блок – схема програми представлена на рисунку 1.

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 роздруківки побудовані графіки залежності зусилля копання ( $W$ ) від ширини відвала ( $B_{від}$ ) і категорії розроблюваного ґрунту (рис. 2); залежності продуктивності ( $\Pi$ ) бульдозера від ширини відвала ( $B_{від}$ ) та категорії розроблюваного ґрунту (рис. 3); залежності узагальненого критерію оцінки ( $\Pi_{NG}$ ) технічного рівня бульдозера від зміни ширини відвала ( $B_{від}$ ) та категорії розроблюваного ґрунту (рис. 4).

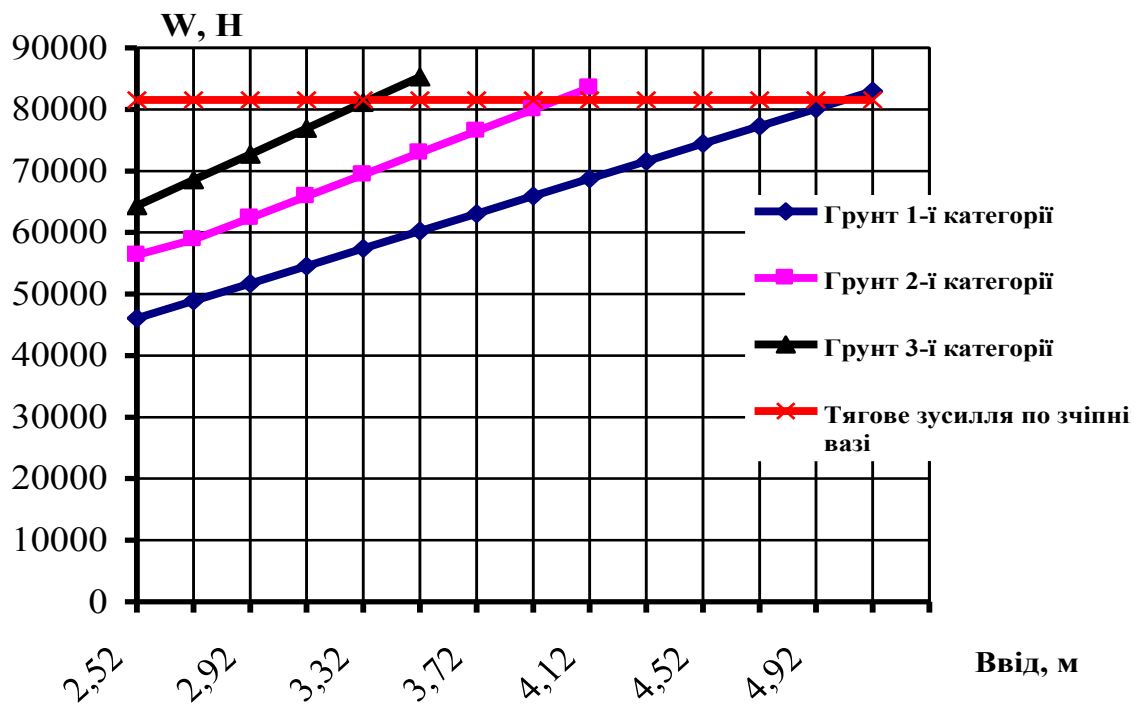


Рис. 2. Графік залежності зусилля копання ( $W$ ) від ширини відвала ( $B_{від}$ ) та категорії розроблюваного ґрунту.

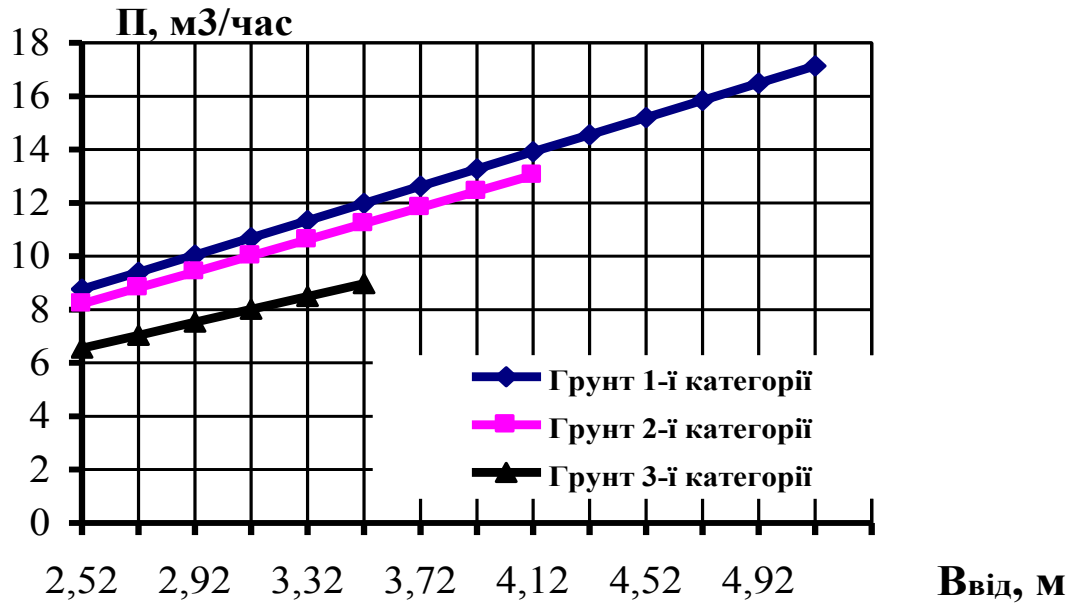


Рис. 3. Графік залежності продуктивності (Π) бульдозера від ширини відвала ( $B_{від}$ ) та категорії розроблюваного ґрунту.

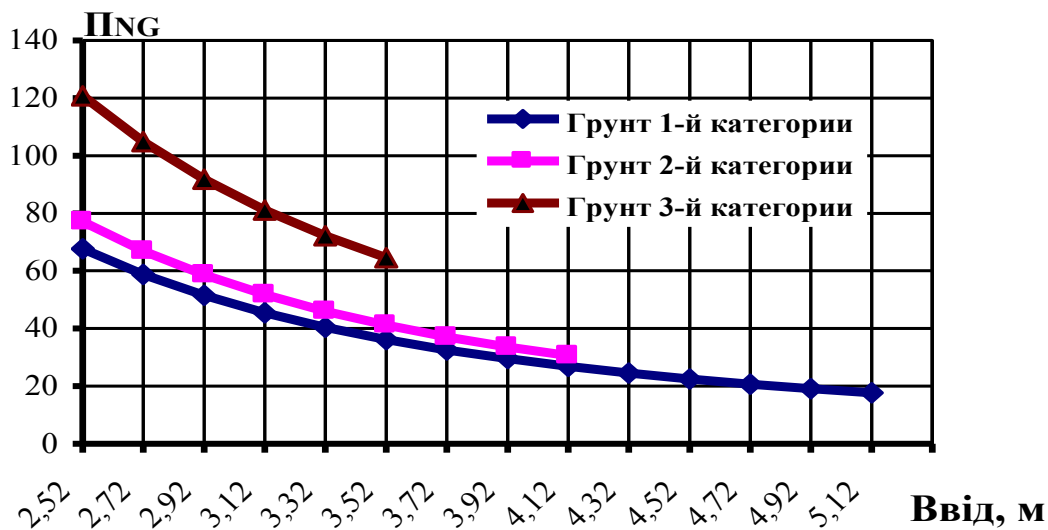


Рис. 4. Графік залежності узагальненого критерію оцінки ( $\Pi_{NG}$ ) технічного рівня бульдозера від зміни ширини відвала ( $B_{від}$ ) та категорії розроблюваного ґрунту.

Із графіків слідує, що до досягнення максимального зусилля копання ґрунту (поки воно буде рівне тяговому зусиллю базового трактора по зчпній вазі) на ґрунтах 1 – ї категорії ширина відвала, на яку він збільшується відносно початкової (стандартної) ширини відвала становить 5,12 м; на ґрунтах 2 – ї категорії – 4,12 м; на ґрунтах 3 – ї категорії – 3,52 м (на ґрунтах 4 – ї 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 відвала бульдозера телескопічного типу за узагальненим критерієм оптимізації  $\Pi_{NG}$  в залежності від потужності двигуна базової машини та фізико-механічних властивостей середовища, що розроблюється.

**ПЕРЕЛІК 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 mashiny* [Building machines] / N. G. Dombrovskiy, Kartvelishvili Y. L., Galperin M. I. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 391 p.
2. Zelenin A. N. *Osnovy razrusheniya gruntov mehanicheskimi sposobami* [Bases of destruction of soils mechanical methods] / A. N. Zelenin. – M.: Mashinostroenie, 1968. – 376 p.
3. Zelenin A. N. *Mashiny 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 mashiny. Teoriya, konstruktziya 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. A. M. Holodov. *Zemleroyno – transportnyie mashiny* [Earth – transport machines] / A. M. Holodov, V. V. Nichke, L. V. Nazarov – Harkov «Vischa shkola». 1982. – 192 p.
7. Alekseeva T. V. *Dorozhnyie mashiny. Mashiny 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: Navchalniy posibnik* [Machines for earthmovings: train aid] / Khmara L. A., Kravets S. V., NICHKE 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.