

Землерийні, дорожні та меліоративні машини

ДИНАМІКА РІЗУЧОЇ КРОМКИ НАКОНЕЧНИКА ОБЛАДНАНОГО КОНСОЛЮ

Леонід Пелевін, Микола Пристайло

Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітофлотський пр-кт 31, Київ, Україна, +38(044) 241-55-52

DYNAMICS CUTTING EDGE TIP EQUIPPED CANTILEVER

Leonid Pelevin, Mykola Pristaylo

Kyiv national University of Construction and Architecture, Povitoflotsky Prospect 31, Kyiv, Ukraine

АНОТАЦІЯ. В статті доведено, що різання ґрунту наконечником з консоллю необхідно розглядати на основі теорії розповсюдження хвиль деформації. Визначено умови процесу для необхідної деформації консолі. Розраховано силу, яка потрібна для такої деформації, потенційну енергію зігнутої консолі, її швидкість розгинання, енергію удару об ґрунт та робочу довжину консолі.

Ключові слова: різання, ґрунт, наконечник, консоль.

АННОТАЦИЯ. В статье доказано, что резание ґрунта наконечником с консолью необходимо рассматривать на основе теории распространения волн деформации. Определены условия процесса для необходимой деформации консоли. Рассчитана сила, которая нужна для такой деформации, потенциальную энергию согнутой консоли, ее скорость разгибания, энергию удара о ґрунт и рабочую длину консоли.

Ключевые слова: резание, почва, наконечник, консоль.

SUMMARY. Purpose. The analytical test on a mathematical model of the cutting process conditions required soil deformation and movement of the cutting edge console and the speed of its motion for dynamic destruction of soil on the basis of the theory of wave deformation. **Methodology/approach.** The using differential equation curved beam axis defined by moving the cantilever cutting edge of the knife and effort necessary for such movement. **Findings.** Knowing the power of destruction of soil identified potential energy console which enabled to determine speed in console. **Research limitations/implications.** Can be stated that console provides cutting edge blade loading of high speed, therefore it is proposed to consider the effect on the basis of the theory of wave deformation. **Originality/value.** The results need to be further exploited in the design of such systems.

Key words: cutting, soil, tip, cantilever.

Вступ

Як відомо, відхилення консольно-встановленої ріжучої кромки (надалі КРК) перед моментом сколу ґрунту дорівнює

$$\Delta R = \frac{\Delta R}{(1 - m)} \quad (1)$$

де ΔR - загальні переміщення в реологічній моделі, m - коефіцієнт деформацій [1]. З результатів розрахунку (рис. 1) видно, що у випадку, коли $b_K=0,08\text{м}$, $b_K=0,05\text{м}$, $b_K=0,0025\text{м}$, переміщення знаходиться в межах від 0,0005 до 0,004м.

Метою роботи є аналітична перевірка на математичній моделі забезпечення умовами процесу різання ґрунту, необхідну деформацію консолі і переміщення КРК та швидкість їх руху для динамічного руйнування ґрунту на основі принципів теорії розповсюдження хвилі деформації [3].

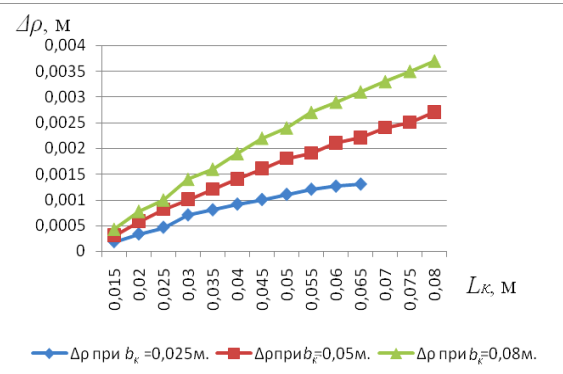


Рис. 1. Переміщення КРК при різанні ґрунту подібними ножами різної ширини

Fig. 1. Moving CRC in cutting the soil in dibnyu knives of varying widths

Виклад основного матеріалу

Визначимо згинаючу силу P_3 , яка потрібна для переміщення КРК. Попередньо зобразимо консоль довжиною L_K у вигляді балки AB закріпленої в точці B . Визначимо переміщення КРК $\Delta\rho$ за допомогою диференціального рівняння зігнутої осі балки (рис. 2) [2].

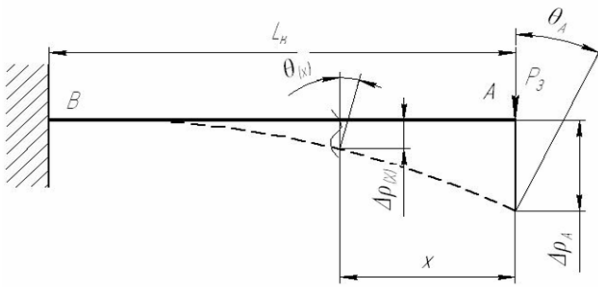


Рис. 2. Схема для визначення переміщення $\Delta\rho$ для консолі постійного поперечного перерізу, де θ кут повороту перерізу

Fig. 2. Circuit for determining displacement $\Delta\rho$ for console constant cross cross-section, where θ angle section

Згинальний момент у перерізі x обчислимо як наслідок дії зовнішніх сил праворуч від перерізу

$$M(x) = -P_3x. \quad (2)$$

Підставивши вираз (2) у спрощене диференціальне рівняння пружної лінії, отримаємо

$$\frac{d^2\Delta\rho}{dx^2} = \frac{P_3x}{E_K J_K}, \quad (3)$$

де $E_K = 2 \cdot 10^{11} \frac{H}{m^2}$ - модуль деформації сталі,

J_K - момент інерції довільного перерізу, що визначається формулою

$$J_K = \frac{b_K c_K^3}{12}, \quad (4)$$

де c_K - товщина консолі.

Інтегруємо рівняння (3) двічі:

$$\theta(x) = -\frac{P_3 x^2}{2E_K J_K} + C, \quad (5)$$

$$\Delta\rho(x) = -\frac{P_3 x^3}{6E_K J_K} + Cx + D. \quad (6)$$

Для визначення сталих C та D граничні умови:

1) при $x=L_K$ $\Delta\rho=0$;

2) при $x=L_K$ $\theta=0$.

З другої умови $\theta(L_K) = -\frac{P_3 L_K^2}{2E_K J_K} + C = 0, (7)$

звідки $C = \frac{P_3 L_K^2}{2E_K J_K}. \quad (8)$

Тоді $\Delta\rho(x) = -\frac{P_3 x^3}{6E_K J_K} + \frac{P_3 L_K^2}{2E_K J_K} x + D, \quad (9)$

з першої умови

$$\Delta\rho(L_K) = -\frac{P_3 L_K^3}{6E_K J_K} + \frac{P_3 L_K^2}{2E_K J_K} L_K + D = 0, \quad (10)$$

звідки $D = -\frac{P_3 L_K^3}{3E_K J_K}. \quad (11)$

Отримаємо остаточне рівняння прогину,

$$\begin{aligned} \Delta\rho(x) &= -\frac{P_3 x^3}{6E_K J_K} (x^3 - 3L_K^2 x + 2L_K^3) = \\ &= -\frac{P_3 x^3}{6E_K J_K} \left[2 - 3\frac{x}{L_K} + \left(\frac{x}{L_K}\right)^3 \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

Як видно з формули (12), пружна лінія консолі є параболою третього порядку. Можна переконатись, що $\Delta\rho_{\max}$ має місце на вільному кінці балки в точці A при $x=0$ [2].

Отже, $\Delta\rho = -\frac{P_3 \cdot L_K^3}{3E_K \cdot J_K}$

звідки $E_K \cdot J_K \cdot \Delta\rho = -\frac{P_3 \cdot L_K^3}{3}. \quad (13)$

Представимо добуток $E_K J_K$, застосовуючи вираз (4) у вигляді

$$E_K \cdot J_K = \frac{2 \cdot 10^{11} \cdot c_K^3 \cdot b_K}{12} = \frac{10^{11} \cdot c_K^3 \cdot b_K}{6}, \quad (14)$$

пам'ятаючи, що $E_K = 2 \cdot 10^{11} \frac{H}{m^2}$.

З виразу (13) визначимо $\Delta\rho$ через P_3

$$\Delta\rho = \frac{-\frac{P_3 \cdot L_K^3}{3E_K \cdot J_K}}{\frac{10^{11} \cdot c_K^3 \cdot b_K}{6}} = -\frac{2P_3 L_K^3}{10^{11} \cdot c_K^3 b_K}. \quad (15)$$

Звідси знайдено силу P_3 , яка потрібна для такого переміщення, тобто

$$|P_3| = \frac{\Delta\rho \cdot 10^{11} \cdot c_K^3 \cdot b_K}{2 \cdot L_K^3}. \quad (16)$$

Провівши розрахунки різання ґрунту подібними ножами шириною $b_K=0,08$ м, $b_K=0,05$ м, $b_K=0,025$ м, змінюючи довжину

консолі L_K від 0,0015 до 0,08м, використовуючи вираз (16), отримано залежності, які представлені на рис. 3.

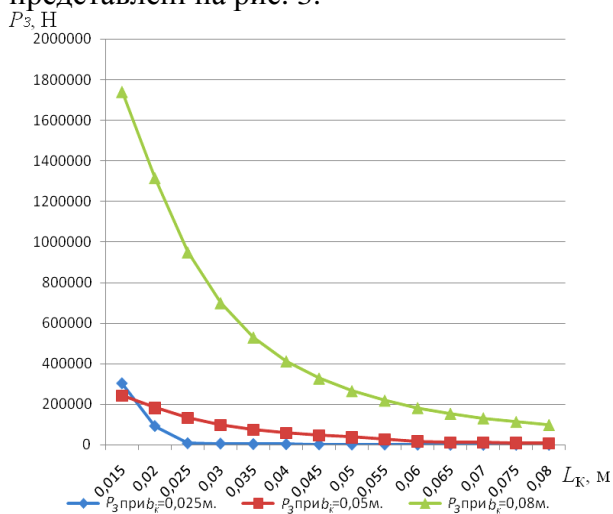


Рис. 3. Залежність згинаючої сили P_3 від довжини консолі L_K при різанні ґрунту подібними ножами різної ширини

Fig. 3. The dependence of the bending strength of the P_3 console length L_K in cutting soil similar knives of varying widths

Знаючи силу P_3 , визначимо потенціальну енергію консолі U_n , користуючись схемою (рис. 2),

$$U_n = \int_{L_K} \frac{M^2(x)dx}{2 \cdot E_K \cdot J_K} + k \int_{L_K} \frac{Q^2(x)dx}{2 \cdot G \cdot F_{П.П}}, \quad (17)$$

$$\text{де} \quad Q(x) = P_3, \quad (18)$$

$k=1,2$ - коефіцієнт площі поперечного прямокутного перерізу.

Враховуючи вираз (2) отримаємо

$$U_n = \int_0^{L_K} \frac{(P_3 x)^2 dx}{2 \cdot E_K \cdot J_K} + k \int_0^{L_K} \frac{P_3^2 dx}{2 \cdot G \cdot F_{П.П}} = \frac{P_3^2 \cdot L_K^3}{6 \cdot E_K \cdot J_K} + \frac{0.6 \cdot P_3^2 \cdot L_K}{G \cdot F_{П.П}}, \quad (19)$$

де, площа поперечного перерізу консолі, [2].

$$F_{П.П} = b_K c_K \quad (20)$$

$$G = 0.4 E_K. \quad (21)$$

Підставивши значення (20) та (21) у вираз (19), отримаємо

$$U_n = \frac{P_3^2 \cdot L_K^3 \cdot 12}{6 \cdot E_K \cdot b_K \cdot c_K^3} + \frac{0.6 \cdot P_3^2 \cdot L_K}{0.4 \cdot E_K \cdot b_K \cdot c_K} = \frac{2 \cdot P_3^2 \cdot L_K^3}{E_K \cdot b_K \cdot c_K^3} \times \left(1 + \frac{3 \cdot c_K^2}{4 \cdot L_K^2} \right). \quad (22)$$

Складова останнього члена, в дужках, виражає дію поперечної сили і не перевищує 2...3 %. В зв'язку з цим при обчисленні потенціальної енергії його не враховуємо.

$$\text{Отже,} \quad U_n = \frac{2 \cdot P_3^2 \cdot L_K^3}{E_K \cdot b_K \cdot c_K^3}. \quad (23)$$

Підставимо вираз (16) в (23), отримаємо

$$U_n = \frac{2 \cdot P_3^2 \cdot L_K^3}{E_K \cdot b_K \cdot c_K^3} = \frac{1}{2} P_3 \Delta \rho. \quad (24)$$

В момент сколу ґрунту сила P_3 прямує до нуля, внаслідок чого консоль намагається зайняти початкове положення, а потенціальна енергія U_n , переходить в кінетичну енергію U_K руху консолі з КРК, тобто

$$U_n = U_K = \frac{M_K V_{КРК}^2}{2}, \quad (25)$$

де $V_{КРК}$ – швидкість КРК.

Знаючи масу консолі

$$M_K = L_B \cdot b_K \cdot c_K \cdot \rho_{ст}, \quad (26)$$

де $\rho_{ст}$ густина матеріалу консолі (сталі), з виразу (25) визначено швидкість КРК,

$$V_{КРК} = \sqrt{\frac{2U_n}{M_K}}. \quad (27)$$

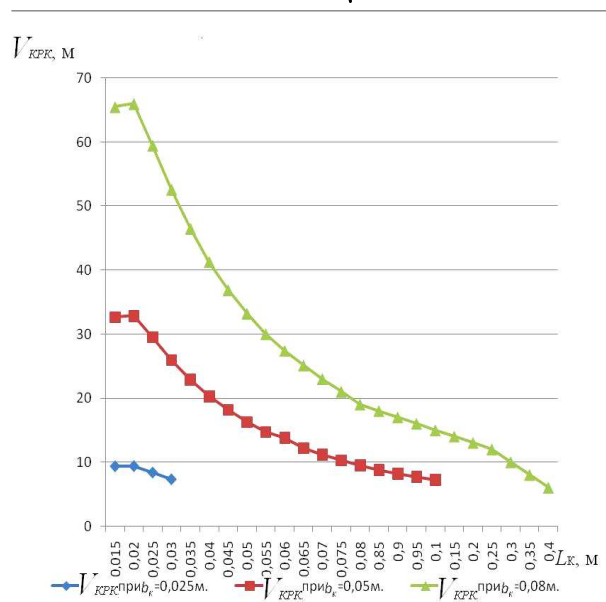


Рис. 4. Залежність швидкості КРК $V_{КРК}$ від довжини консолі L_K при різанні ґрунту подібними ножами різної ширини

Fig. 4. The velocity KPK $V_{КРК}$ the length console L_K at cutting the soil the like them knives of varying widths

Проведемо розрахунки різання ґрунту подібними ножами шириною $b_K=0,025$ м, $b_K=0,05$ м та $b_K=0,08$ м, змінюючи довжину консолі L_K від 0,0015 до 0,1 м, використовуючи вирази (24), (25), (26) та (27), отримаємо залежності швидкості КРК $V_{КРК}$ від довжини консолі L_K (рис. 4).

Таким чином, швидкість в області консолі та КРК набуває значення більшого за 9 м/с (оскільки динамічний процес руйну-

H – глибина різання [4].

Результати представимо в загальних осях координат, але окремо для ножів різної ширини (рис. 5). Графік функції P_3 та графік функції $P_{заг}$ мають точку перетину (рис. 5).

Абсциса цієї точки визначає довжину консолі L_K , за якої відбуватиметься її згинання, що забезпечить швидкість КРК більшою за 9 м/с, в момент сколу ґрунту.

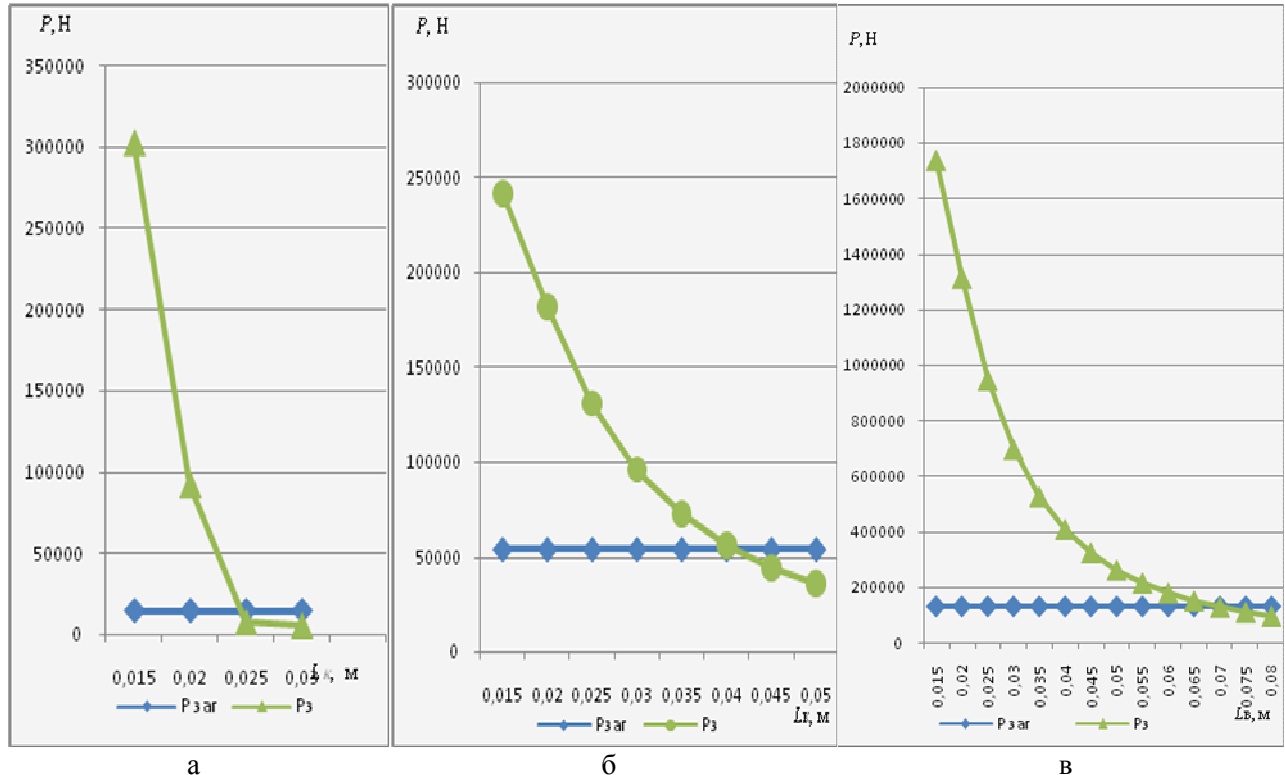


Рис. 5. Результати порівняння згинаючої сили P_3 з силою опору ґрунту різанню $P_{заг}$:

а) ширина ножа $b_K=0,025$ м; б) ширина ножа $b_K=0,05$ м; в) ширина ножа $b_K=0,08$ м

Fig. 5. Results of the comparison of bending strength RH impedance ground cutting $P_{заг}$:

a) the width of the knife $b_K=0,025$ m, b) the width of the knife $b_K=0,05$ m, c) the width of the knife $b_K=0,08$ m

вання ґрунту може відбуватися лише при швидкості, більшій за 9 м/с. [3]: для ножа шириною $b_K=0,025$ м, коли L_K не перевищує 0,025 м; для ножа шириною $b_K=0,05$ м, коли L_K не перевищує 0,085 м; для ножа шириною $b_K=0,08$ м, коли L_K не перевищує 0,35 м. Проведемо уточнення забезпечення умов процесу для необхідної деформації консолі (переміщення КРК). Порівняємо згинаючу силу P_3 з силою опору ґрунту різанню, яку обчислимо за методикою, запропонованою професором Ю.А. Ветровим

$$P_{заг} = \varphi_{\alpha} m_{св} F_{св} + 2m_{бок} H^2 + 2m_{бок.ср} H, \quad (28)$$

де $F_{св} = H \cdot b_K$ - площа лобової поверхні,

Висновок

Визначено робочі значення довжини консолі L_K :

- для ножа шириною $b_K=0,025$ м - $L_K=0,024$ м;
- для ножа шириною $b_K=0,05$ м - $L_K=0,04$ м;
- для ножа шириною $b_K=0,08$ м - $L_K=0,07$ м.

Цим самим забезпечується швидкість в області консолі та КРК більшою за 9 м/с. Можна стверджувати, що консоль та КРК забезпечують прикладання навантаження з великою швидкістю, тому пропонується їхню дію розглядати на основі принципів

теорії розповсюдження хвилі деформації [4].

Література

1. *Пелевін Л.С., Пристайло М. О.* Руйнування ґрунтів та гірських порід деформатором з консольною різучою кромкою // Гірничі будівельні, дорожні та меліоративні машини, 2008.- № 70
2. *Писаренко Г. С.* та ін. Опір матеріалів: Підручник / Г.С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е. С. Уманський; За ред.. Г. С. Писаренка. – 2-ге вид., допов. І переробл. – К.: Вища шк., 2004. – 655 с.: іл. ISBN 966-642-056-2
3. *Ветров Ю.А. Баладинский В.Л.* Машины для специальных земляных работ: Учеб. пособие для вузов. – Киев : Вища школа. Головное изд-во, 1980. -192 с. 30207. 204010000
4. *Ветров Ю.А.* “Резание грунтов землеройными машинами“, “Машиностроение” М., 971. – 360 с.

References

1. *Pelevin L.E., Pristaylo M. O.*, 2005. Rujnuvan-nja gruntiv ta girskih porid deformatorem z konsolnoju rizhuchoju kromkoju [The destruction of soils and rocks deformation console cutting edge]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and meliorative machines], no. 70, 71-76.
2. *Pisarenko G. S.*, 2004. Opir materialiv [Resistance of materials]. Kiev, Vishha shkola Publ., 655.
3. *Vetrov Y.A. Baladinskiy V.L.*, 1980. Mashiny for specialnykh zemlyanykh robot [Special machines for excavation]. Kiev, Vishha shkola Publ., 192.
4. *Vetrov Y.A.*, 1971. Rezanie gruntov zemleroynymi machines [Cutting with of soils earthmovers]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 360.

Надійшла до редакції
06.11.2012 р.

Затверджена до друку
27.11.2012 р.