

УДК 624. 879

Л.Є. Пелевін, к. т. н., професор КНУБА,  
М.О. Пристайло, асистент КНУБА

### ДИНАМІКА НОЖА (ДЕФОРМАТОРА) З ЛІДИРУЮЧОЮ РІЖУЧОЮ КРОМКОЮ ПРИ СТАТИЧНОМУ РІЗАННІ

Основним напрямком підвищення ефективності розробки мерзлих ґрунтів за різних умов є активізація статичних робочих органів шляхом додавання до них вібраційного, віброударного або ударного навантаження [1].

Збільшення продуктивності землерийних машин активної дії в порівнянні з машинами традиційного виконання, виконується шляхом передачі частин енергії двигуна безпосередньо на робочий орган, минаючи рушій. В цьому випадку, при порівняно однаковій продуктивності машин традиційного виконання, та машини активної дії, енергоємність процесу значно зменшується на користь останніх. Це відповідає сформованій тенденції підвищення енергонасиченості базових тракторів землерийних машин, що може бути реалізовано шляхом створення землерийних машин із робочими органами активної дії, а також шляхом підвищення їх робочих швидкостей [2].

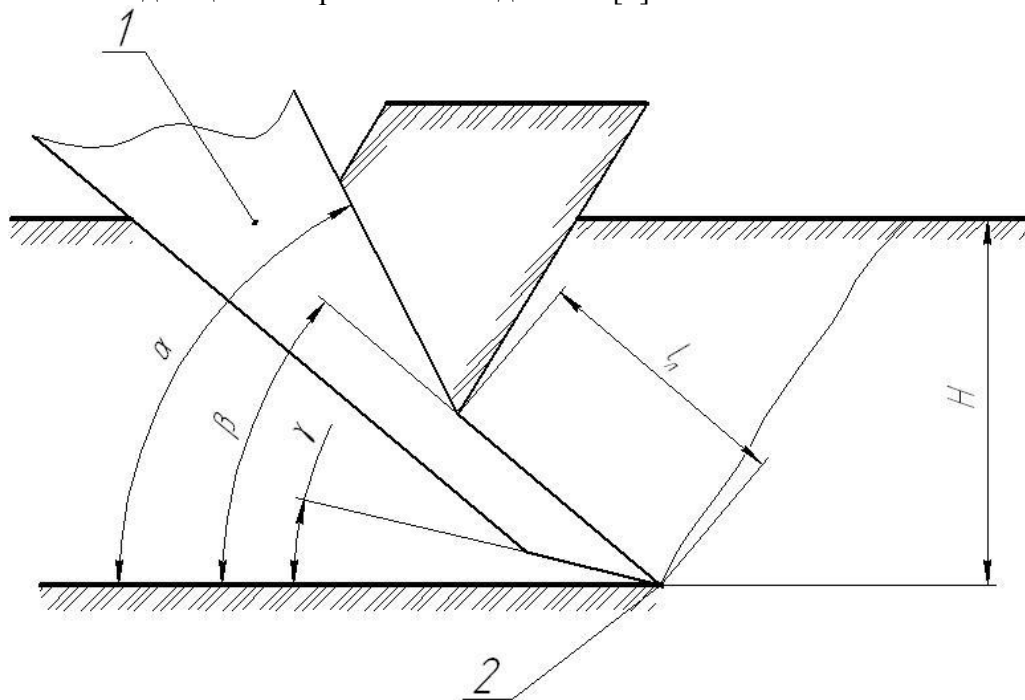


Рисунок 1. Ніж з лідируючою ріжучою кромкою.

Аналіз патентних матеріалів показав, що хоча розвиток активних робочих органів динамічної дії і набув значного поширення, більшість з них ще досить недосконалі. До загальних недоліків відносяться їх великі габарити, а звідси більша матеріалоемність. Також недоліком таких технічних рішень є великі витрати енергії на надання імпульсу всьому робочому органу і складність виготовлення, що призводить до економічних витрат на його виготовлення.

Виходячи з цього можна зазначити, що проблема дослідження і розробки високошвидкісних робочих органів є актуальною.

**Мета і постановка задачі.** Метою роботи являється підвищення ефективності ножів робочих органів землерийних машин, що базується на застосуванні імпульсу зміщення частинок ґрунту для попереднього розпушення, за рахунок динаміки пружних сил на консольно закріпленій ріжучій кромці.

Таке явище можна досягти за рахунок конструкції ножа (Рис.1), що включає в себе корпус 1, ріжучу кромку 2, яка віддалена консольно від корпуса на відстань  $l_n$ , і встановлена під кутом  $\beta$  до траєкторії різання [3]. При цьому зберігається не тільки габарити робочого органу а й можливість використання даної розробки в звичайних робочих органах серійного виготовлення, оскільки зберігається та ж сама глибина різання  $H$ , кут різання  $\alpha$ , та задній кут  $\gamma$ .

Складаємо реологічну модель взаємодії ножа з лідируючою ріжучою кромкою та ґрунтом (Рис.2).

В цій моделі і ґрунт і ніж є порожньо пластичними тілами і тому їх можна представити такими елементами:

- для ножа – модель Гука представляють в вигляді пружного елемента, яка характеризує властивості пружності; Ньютона – в вигляді поршня з достатньо тонкими отворами, що рухається в циліндрі, заповненому рідиною і представляє собою ідеально в'язке тіло; Сен-Венана – в вигляді повзуна з сухим кулоновим тертям, що характеризує ідеально пластичне, або жорстко пластичне середовище [4].
- для ґрунту - модель Гука та модель Ньютона, виключивши для ґрунту сухе тертя.

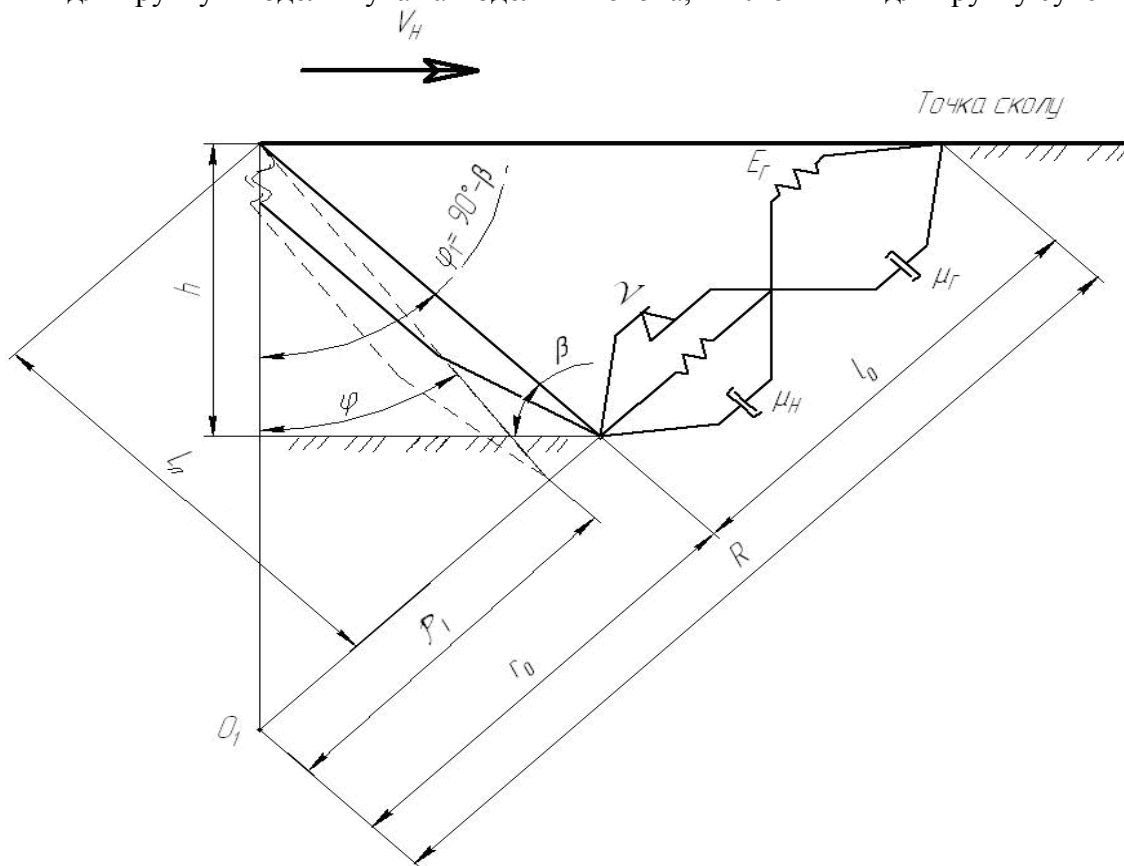


Рисунок 2. Реологічна модель різання ґрунту ножом з лідируючою ріжучою кромкою.

Моделями деформованості елементарних об'ємів ножа та ґрунту, відповідають наступні реологічні рівняння [5]

для ножа

$$\sigma = E_H \left( \xi_H + \frac{\mu_H}{E_H} \dot{\xi}_H + \nu \cdot \text{sign} \dot{\xi}_H \right) ; \quad (1)$$

для ґрунту

$$\sigma = E_{\bar{A}} \left( \xi_{\bar{A}} + \frac{\mu_{\bar{A}}}{\dot{A}_{\bar{A}}} \dot{\xi}_{\bar{A}} \right). \quad (2)$$

де  $E_H, E_{\bar{A}}$  - відповідно модуль деформації ножа і ґрунту;  $\mu_H, \mu_{\bar{A}}$  - відповідно коефіцієнти в'язкості ножа і ґрунту;  $\nu$  - коефіцієнт що показує, яку частку модуля деформації ножа складають контактні напруження, обумовлені постійним внутрішнім тертям у навісці ножа,  $\text{Sign}$  - функція Кронекера;  $\xi_H, \xi_{\bar{A}}, \dot{\xi}_H, \dot{\xi}_{\bar{A}}$ , відповідно відносні деформації і швидкості деформування ножа та ґрунту.

Виходячи із схеми, визначаємо зміни, що відбуваються з реологічними моделями під час різання ґрунту.

Якщо час  $t$  відрахувати від моменту, коли  $\varphi = \varphi_1$ , то  $\varphi = \varphi_1 - \omega_3 t = \varphi_1 - \frac{\nu_n \sin \beta}{l_{a\ddot{e}\ddot{e}}}$

тоді для будь якого  $t$  у межах контакту

$$\Delta \rho + \Delta l = \Delta R ; \quad (3)$$

$$\frac{\Delta \rho}{dt} + \frac{\Delta l}{dt} = \frac{\Delta R}{dt} ; \quad (4)$$

$$\xi_H \cdot E_H + \dot{\xi}_H \mu_H + \nu E_H \sin \xi_H = \xi_{\bar{A}} \dot{A}_{\bar{A}} + \dot{\xi}_{\bar{A}} \mu_{\bar{A}} , \quad (5)$$

де  $\Delta \rho$  - деформація ріжучої кромки;

$\Delta l$  - деформація ґрунту.

Аналіз моделі (рис.2) дозволяє скласти рівняння

$$R_0 \cos \varphi_1 = (h_1 + l_1) \cos(\varphi_1 - \omega_3 t) . \quad (6)$$

Рівняння взаємозв'язку відносних деформацій ( $\xi_H, \xi_{\bar{A}}$ ) та їх швидкостей ( $\dot{\xi}_H, \dot{\xi}_{\bar{A}}$ ) отримаємо після по членного ділення виразів (3), (4) на добуток  $cl_0 R_0$ , де  $c$  - товщина ріжучої кромки, а  $l_0 R_0$  - початкові значення розмірів  $l$  і  $R$

$$\xi_{\bar{A}} = \frac{\Delta R - \xi_H c}{l_0} ; \quad \dot{\xi}_{\bar{A}} = \frac{(dR/dt) - \dot{\xi}_H c}{l_0} . \quad (7)$$

Визначаємо  $\Delta R$  та  $dR/dt$  з рівняння (6)

$$\Delta R = R_0 \left[ 1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos(\varphi_1 - \omega_\zeta t)} \right] ; \quad (8)$$

$$\frac{dR}{dt} = \dot{R} = -\omega_\zeta R_0 \cos \varphi_1 \frac{\sin(\varphi_1 - \omega_\zeta t)}{\cos^2(\varphi_1 - \omega_\zeta t)} . \quad (9)$$

Швидкість деформації елементарного об'єму ґрунту можна визначити з системи (3-6) прийнявши, що

$$m = \frac{dl/dt}{d\rho/dt} = \frac{dl}{d\rho} \approx \frac{\Delta l}{\Delta \rho} . \quad (10)$$

Тому, з урахуванням того, що  $l_0 = \frac{h}{\cos \varphi_1}$  отримаємо з формули (10)

$$m = \frac{h}{c \cos \varphi_1} \left( \frac{E_H \Delta R + \mu_H \dot{R} + \nu E_H c}{E_{\bar{A}} \Delta R + \mu_{\bar{A}} \dot{R} - \nu E_H \frac{h}{\cos \varphi_1}} \right) . \quad (11)$$

При розрахунку швидкості деформації ґрунту у відповідності до теореми про середнє інтегральне значення, визначимо середнє значення  $\Delta R$  і  $\dot{R}$ .



$$\Delta R = R_0 \left[ 1 - \frac{\cos \varphi_1}{2\varphi_1} \ln \left( \frac{1 + \sin \varphi_1}{1 - \sin \varphi_1} \right) \right]; \quad (12)$$

$$\dot{R} = \frac{\omega_\zeta R_0}{\varphi_1} (1 - \cos \varphi), \quad (13)$$

При цьому  $\omega_\zeta = \frac{V_H \sin \beta}{l_{\text{двигунок}}}$ ,  $R_0 = 2l_{\text{двигунок}}$ , підставивши ці значення в вираз (13), отримаємо швидкість деформації консольно закріпленої ріжучої кромки

$$\dot{R} = \frac{V_H \sin \beta R_0}{l_{\text{двигунок}}} \varphi_1 (1 - \cos \varphi). \quad (14)$$

Оскільки прийнято, що  $\beta = 45^\circ$  то  $R_0 = 2 \cdot l_{\text{двигунок}}$ , а  $\cos \varphi \approx \cos \varphi_1$ , то вираз (14) прийме вигляд [6]

$$\dot{R} = V_H \sin \beta \varphi_1 (1 - \cos \varphi). \quad (15)$$

Спростивши його отримаємо

$$\dot{R} = 0.32 V_H. \quad (16)$$

Задавшись коефіцієнтами, що характеризують пружність та в'язкість середовища і робочого органу [7], з формули (11) отримати значення коефіцієнта  $m$  для одиничного ножа з параметрами:

$b$  – ширина ножа 0,04 м;

$c$  – товщина консольної пластини 0,005 м;

$l$  – довжина консольної пластини 0,04 м.

Після цього, за формулою (10) можна визначити елементарне переміщення ріжучої кромки. Звідки за відомими формулами опору матеріалів [6], визначаємо силу  $P$ , яку необхідно прикласти до ріжучої кромки. Для ґрунтів IV...V категорії сила  $P$  складає 900...1200Н.

Таким чином згин пластини дозволяє акумулювати потенціальну енергію, яка визначається досить нескладно [6]. В подальшому при сколюванні елементарної частини ґрунту, що знаходиться над ножем ця енергія переходить в кінетичну енергію руху пластини. В наслідок чого лідируюча ріжуча кромка поновлює своє вихідне положення з швидкістю 6...10 м/с, наносячи динамічне навантаження на масив ґрунту, утворюючи лідируючі зколи та тріщини.

**Висновок.** Принцип акумулювання енергії на елементах землерийних робочих органів дозволяє перетворити фізичний процес низько швидкісного (статичного) різання ґрунту у процес динамічного навантаження робочого середовища, що значно зменшує енергоємність робочого процесу.

### Література

1. Баладінський В.Л. // Розрахунок динамічних робочих органів – К.: КНУБА, 2004.60с.
2. Федоров Д.І. // Рабочие органы землеройных машин – М.: Машиностроение, 1990.-368ст.
3. Патент України №9931 Зуб для руйнування мерзлих ґрунтів // Пелевін Л.Є., Пристайло М. О., Пристайло Т. Ю. – Опубл. 15.03.2006
4. Баловнев В.И. // Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин – М.:Высшая школа, 1981.81ст.
5. Рейнер М. // Реология: переклад з англ. М.:Наука, 1965.-220 ст.
6. Писаренко // Соппротивление материалов. К.:Вища школа, 1986.-114 ст.
7. Кошкин Н.И // Справочник по элементарной физике – М.:Наука, 1986.51ст.