

УДК. 631.31.022.052.5

**А.Бойко, докт. техн. наук; О.Балабуха**

*Національний аграрний університет*

*Кіровоградський державний технічний університет*

## АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ ЗУСИЛЬ НА РІЗАЛЬНІЙ ЧАСТИНІ ГРУНТООБРОБНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ

*Розглянуто розподіл напруг на різальній частині ґрунтообробного робочого органу.  
Встановлені закономірності впливу основних геометричних та кінематичних параметрів лез  
на величину зусиль руйнування ґрунту.*

### Умовні позначення

- $\sigma_o$  – граничне статистичне напруження руйнування ґрунту (приведений коефіцієнт вязкого опору середовища);
- $\xi$  – кут між полярною віссю і радіусом кривизни профілю леза;
- $V$  – швидкість переміщення робочого органу в ґрунті;
- $N$  – нормальна складова сили різання;
- $T$  – тангенціальна складова сили різання;
- $F$  – складова сили різання, яка направлена вздовж твірної леза;
- $\alpha$  – кут між вектором швидкості і нормаллю до поверхні леза (кут нахилу леза);
- $\varphi$  – кут тертя між ґрунтом і ґрунтообробним інструментом.

Зношення лез робочих органів ґрунтообробних машин є складним процесом контактної взаємодії з оброблюваним ґрунтом. Поряд з руйнуванням ґрунту при виконанні корисної роботи робочий орган зношується, внаслідок чого змінюються його параметри.

Клинова форма леза визначає закономірності розподілу напруг на його поверхнях. Численними дослідженнями з вивчення епюр напружень тензометричними [1] або поляризаційними методами [2] встановлена приблизна форма ліній однакових тисків, що діють на лезо ґрунтообробного інструменту.

Схематично розподіл можна подати у вигляді деякої кривої, яку описує синусоїдальний закон (рис.1).

Оскільки ґрунт має в'язкі властивості, то зусилля руйнування залежать від швидкості процесу і для практичних цілей можна прийняти їх пропорціональну залежність від швидкості робочого органу [3]. Тоді загальну закономірність зміни напружень руйнування ґрунту з урахуванням швидкості переміщення леза можна подати таким рівнянням:

$$\sigma_{ov} = \sigma_o \sin \xi, \quad (1)$$

Рівняння (1) дозволяє визначити напруги руху в будь-якій точці профілю леза. Множенням величини цього напруження на довжину елементарної дільниці дуги  $dl$  отримуємо елементарну складову нормальної сили різання з урахуванням швидкості обробки ґрунту:

$$dN = \sigma_{ov} dl$$

Елементарна довжина дуги профілю криволінійної форми визначається в загальному вигляді рівнянням:

$$dl = \sqrt{\left(\frac{d\rho}{d\xi}\right)^2 + \rho^2} d\xi,$$

тоді величина зусилля на елемент профілю різального краю дорівнюватиме:

$$dP_{pk} = \sigma_{ov} \sqrt{\left(\frac{d\rho}{d\xi}\right)^2 + \rho^2} d\xi.$$

Процес зміни форми леза від вихідного стану можна подати у вигляді окремих, послідовно зв'язаних між собою переходів. Перший з них є припрацюванням, що характеризується зміною технологічного рельєфу леза після механічної обробки при загострюванні, на робочий, набутий лезом на довгий період експлуатації.

Враховуючи, що відразу після закінчення процесу припрацювання лезо стає округлим, близьким у розрізі до лінії рівної кривизни, а зміни радіуса  $d\rho$  на малому відрізку дуги незначні, з достатньою для практичних цілей аналізу впливу основних параметрів леза на розподіл зусиль, для елементарної довжини різального краю можна записати:

$$dP_{pk} = \sigma_o \rho V \sin \xi d\xi.$$

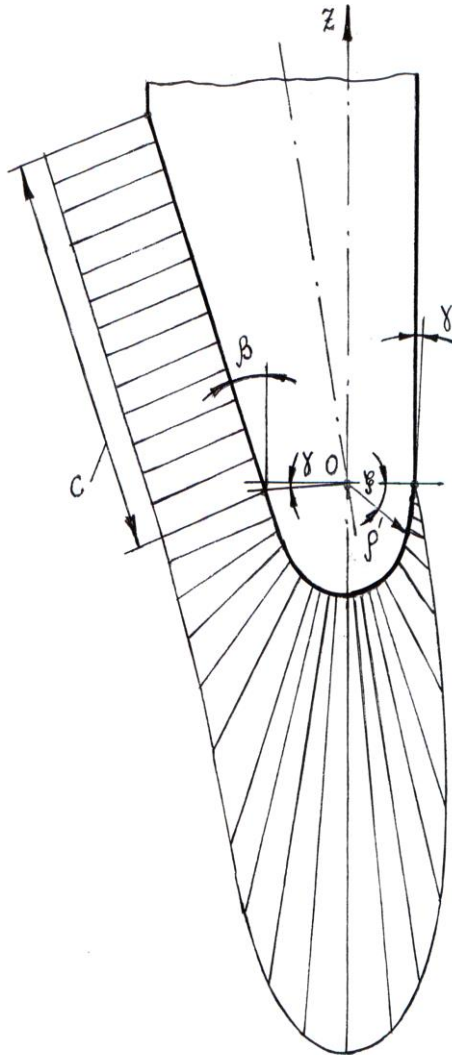


Рис.1. Схема навантаження різальної частини ґрунтообробного знаряддя.

Якщо розкласти отримане елементарне зусилля в площину нормального перерізу і перпендикулярно до нього з урахуванням того, що кут між напрямками руху пласта ґрунту та поверхнею леза становить  $90^\circ - \alpha$  [4], отримаємо залежності

$$\begin{cases} dN_{pk} = \sigma_o V \rho \cos \varphi \sin \xi d\xi \\ dT_{pk} = \sigma_o V \rho \cos \alpha \sin \varphi \sin \xi d\xi \\ dF_{pk} = \sigma_o V \rho \sin \alpha \sin \varphi \sin \xi d\xi. \end{cases}$$

Відповідно на фасці леза, де зусилля постійні (рис.1), система рівнянь запишеться так:

$$\begin{cases} dN\varphi = \sigma_o V \cos \varphi \sin(\beta + \gamma) dc \\ dN\varphi = \sigma_o V \cos \alpha \sin \varphi \sin(\beta + \gamma) dc \\ dF\varphi = \sigma_o V \sin \alpha \sin \varphi \sin(\beta + \gamma) dc. \end{cases}$$

Сумарна елементарна складова сили різання, що діє на різальний край і фаску, дорівнює:

$$dN = dN_{pk} \sin \xi + dN\varphi \sin(\beta + \gamma) + dT_{pk} \cos \xi + dT\varphi \cos(\beta + \gamma).$$

Підставивши значення елементарних складових сил після перетворень, отримаємо:

$$dN = \sigma_o V \rho \cos \varphi \sin^2 \xi d\xi + \sigma_o V \cos \varphi \sin^2(\beta + \gamma) dc + \\ + \frac{1}{2} \sigma_o V \rho \sin \varphi \cos \alpha \sin 2\xi d\xi + \frac{1}{2} \sigma_o V \sin \varphi \cos \alpha \sin 2(\beta + \gamma) dc$$

Звідси нормальна складова сили різання ґрунтового пласту дорівнює:

$$N = \sigma_o V \rho \cos \varphi \int_0^{\pi-(\beta+\gamma)} \sin^2 \xi d\xi + \sigma_o V \cos \varphi \sin^2(\beta + \gamma) \int_0^c dc + \\ + \frac{1}{2} \sigma_o V \rho \sin \varphi \sin \alpha \cos \alpha \int_0^{\pi-(\beta+\gamma)} \sin 2\xi d\xi + \frac{1}{2} \sigma_o V \sin \varphi \cos \alpha \sin 2(\beta + \gamma) \int_0^c dc$$

Після інтегрування можна записати

$$N = \sigma_o V \rho \cos \varphi \left( \frac{1}{2} \xi \Big|_0^{\pi-(\beta+\gamma)} - \frac{1}{4} \sin 2\xi \Big|_0^{\pi-(\beta+\gamma)} \right) + \sigma_o V \cos \varphi \sin^2(\beta + \gamma) c \Big|_0^c - \\ - \frac{1}{4} \sigma_o V \rho \sin \varphi \cos \alpha \cos 2\xi \Big|_0^{\pi-(\beta+\gamma)} + \frac{1}{2} \sigma_o V \sin \varphi \cos \alpha \sin 2(\beta + \gamma) c \Big|_0^c.$$

Підставивши границі інтегрування, отримаємо:

$$N = \sigma_o V \rho \cos \varphi \left[ \frac{1}{2} (\pi - \beta - \gamma) + \frac{1}{4} \sin 2(\beta + \gamma) \right] + \sigma_o V \rho \cos \varphi \sin^2(\beta + \gamma) c - \\ - \frac{1}{4} \sigma_o V \rho \sin \varphi \cos \alpha \cos 2(\beta + \gamma) + \frac{1}{2} \sigma_o V \sin \varphi \cos \alpha \sin 2(\beta + \gamma) c.$$

Елементарна складова сили різання, що діє вздовж твірної леза, визначається сумою:

$$dF = dF_{pk} + dF\varphi \quad (3)$$

Підставивши значення доданків, отримаємо рівняння:

$$dF = \sigma_o V \rho \sin \varphi \sin \alpha \sin \xi d\xi + \sigma_o V \sin \varphi \sin \alpha \sin(\beta + \gamma) dc,$$

яке можна подати у вигляді:

$$dF = \sigma_o V \sin \varphi \sin \alpha [ \rho \sin \xi d\xi + \sin(\beta + \gamma) dc ].$$

Або:

$$F = \sigma_o V \sin \varphi \sin \alpha \left[ \rho \int_0^{\pi-(\beta+\gamma)} \sin \xi d\xi + \sin(\beta + \gamma) \int_0^c dc \right].$$

Розв'язок рівняння дає:

$$F = \sigma_o V \sin \varphi \sin \alpha [ \sin(\beta + \gamma) \Big|_0^c - \rho \cos \xi \Big|_0^{\pi-(\beta+\gamma)} ].$$

В кінцевому вигляді складова сили різання, що діє вздовж твірної, дорівнює:

$$F = \sigma_o V \sin \varphi \sin \alpha [ \sin(\beta + \gamma) c + \rho \cos(\beta + \gamma) - \rho ].$$

Загальне зусилля опору різанню ґрунту визначається як геометрична сума нормальної складової  $N$  і складової сили різання  $F$ , направленої вздовж твірної леза:

$$P = \sqrt{N^2 + F^2}. \quad (4)$$

При проектуванні робочих органів важливе значення має аналіз впливу основних геометричних параметрів леза і кінематики його роботи на розподіл зусиль різання. Взаємозв'язок між ними описують рівняння (2-4).

Дослідження впливу кута нахилу леза  $\alpha$  на величину складових зусиль показує, що збільшення кута нахилу спричинює їх перерозподіл (рис.2).

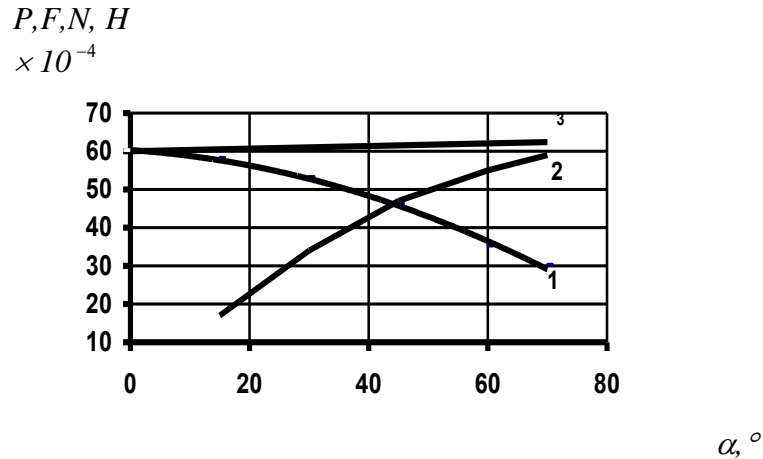


Рис. 2. Зміна зусиль на лезі залежно від кута нахилу:  $\alpha$   
1 - нормальна складова сили різання  $N$ ;  
2 - складова  $F$ , направлена вздовж твірної леза;  
3 - загальна сила різання  $P$ .

При цьому нормальна складова сили різання  $N$  нелінійно зменшується, а складова, направлена вздовж направляючої леза  $F$  навпаки – зростає. Причому малим кутам  $\alpha$  відповідає інтенсивніше зростання складової  $F$ , яка із збільшення кута поступово зменшується.

Результуюча сила різання  $P$ , побудована згідно рівняння (4), має практично постійне значення на всьому інтервалі змін кута нахилу леза. Це свідчить про те, що різання ґрунту як в'язкого середовища потребує приблизно однакових енергетичних затрат. Незалежно від реалізації рублячого  $\alpha=0$ , нахилоного ( $l < \varphi$ ) чи ковзаючого ( $l > \varphi$ ) способу різання.

Аналіз впливу кута заточування леза  $\beta$  на розподіл зусиль на лезі показує, що із збільшенням кута  $\beta$  нормальна складова сили різання змінюється по зростаючій залежності (рис.3).

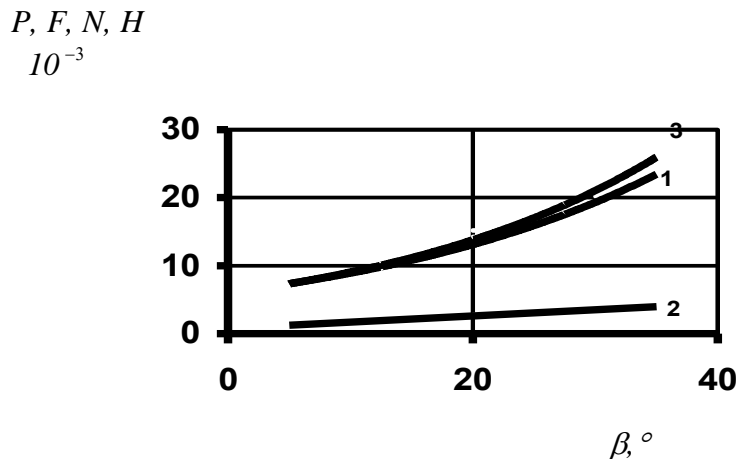


Рис. 3. Зміна зусиль на лезі залежно від кута заточування  $\beta$ :  
1- нормальна складова сили різання  $N$ ;  
2 - складова  $F$ , яка направлена уздовж утворюючої леза;  
3 - загальна сила різання  $P$ .

На порядок менше значення має складова сили  $F$ , направлена вздовж твірної. Причому її збільшення з ростом кута заточування незначне. Як наслідок цього, загальне зусилля леза в основному визначається нормальною складовою  $N$  (рис.3, криві 1,3).

Пропорційний ріст нормальної складової сили різання  $N$  спостерігається при збільшенні радіуса товщини різального краю (рис.4). При цьому складова  $F$ , направлена вздовж твірної леза, залишається практично без змін. Загальне зусилля різання як геометрична сума доданків (4) визначається, в основному, нормальною силою і подане на рис. 4 (крива 3).

В умовах різання в'язкого середовища яким є ґрунт, встановлено, що збільшення кута заточування леза  $\beta$  викликає підвищення в основному нормальної складової сили різання.

Збільшення товщини різального краю призводить до пропорційного зростання зусиль різання, а зміна кута нахилу леза практично не впливає на його величину.

$P, N, F, H$   
 $\times 10^{-4}$

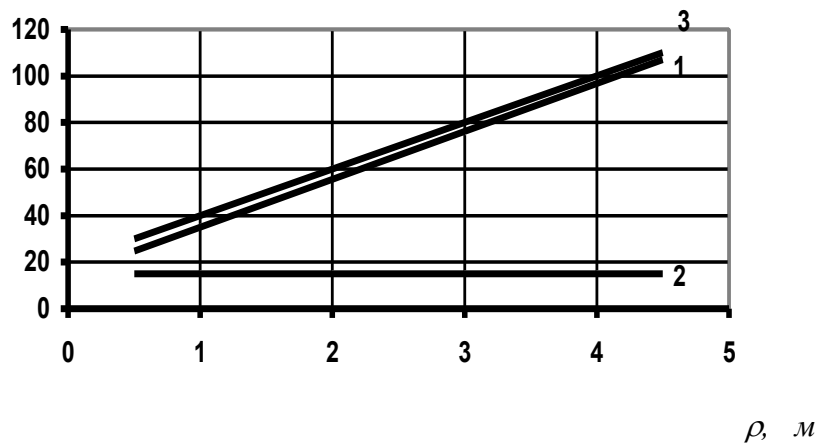


Рис. 4. Зміна зусиль різання на лезі залежно від радіуса товщини різального краю:

- 1 - нормальна складова сили різання  $N$ ;
- 2 - складова  $F$ , направлена вздовж твірної леза;
- 3 - загальна сила різання  $P$ .

### Висновки

1. Величина кута нахилу різального елемента суттєво змінює розподіл складових сили різання, але, в цілому, мало впливає на енергоємність процесу різання ґрунту.
2. Збільшення товщини різального краю призводить в основному до зростання нормальної складової сили різання, яка й обумовлює підвищення енергоємності процесу.

*An this paper considered distribution of the tension, (stresses) at cutting part of the soil's machinery. At has teen determined the busic in fluance of main geometrical and cinematical parameters of the cutting narts for the value forces on destroying soil.*

### Література

1. Маяускус И.С. Влияние давления почвы на износ рабочих деталей почвообрабатывающих машин // Вестник машиностроения.- 1958.- №10.
2. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов.
3. Шульц В.В. Форма естественного износа деталей машин и инструмента. -Ленинград: Машиностроение, 1990.
4. Гячев Л.В. Теория лемешно-отвальной поверхности // Труды АЦН МСХ.-1961.- Вып.13.

Одержано