

УДК 624.132

РОЗПОДІЛЕННЯ ЕНЕРГІЇ В РОБОЧІЙ ЗОНІ ПРИ РІЗАННІ ҐРУНТІВ

Олександр Костенюк, Анатолій Фомін, Олександр Тетерятник, Галина Боківня

Київський національний університет будівництва і архітектури,
Повітрофлотський просп., 31, Київ, Україна, e-mail: teteryatnik@ua.fm

ENERGY DISTRIBUTION IN THE WORKING AREA WHILE CUTTING SOILS

Aleksandr Kostenyuk, Anatoly Fomin, Aleksandr Teteryatnik, Galina Bokovnyu

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Povitroflotsky Prospect, 31, Kyiv, Ukraine, e-mail: teteryatnik@ua.fm

АНОТАЦІЯ. Описані енергетичні і силові залежності в різних ділянках зони різання ґрунту різальними елементами ґрунторуйнуючих машин, що враховують конкретні умови взаємодії різальних елементів і робочих середовищ для кожної ділянки.

Ключові слова: різання, просторовий характер взаємодії, енергетичні і силові параметри, деформування робочого середовища, зріз робочого середовища, тертя.

АННОТАЦИЯ. Описаны энергетические и силовые зависимости на разных участках зоны резания ґрунта режущими элементами ґрунторазрушающих машин, которые учитывают условия взаимодействия режущих элементов с рабочими средами на каждом участке.

Ключевые слова: резание, пространственный характер взаимодействия, энергетические и силовые параметры, деформирование рабочей среды, срез рабочей среды, трение.

SUMMARY. Purpose. The description of distribution energy in the interaction zone of cutting elements working environments, schem transmitted from the work of the working fluid. **Methodology/approach.** A theoretical framework is proposed receiving energy dependence and security settings on each section to form the cutting area of optimal processes of soil for excavation machines. **Findings:** The dependences can determine the conditions of stress working environments of all elements simultaneously cutting. **Research limitations/implications:** The resulting energy and power depending on load conditions can determine the workspace as a whole work I cutting elements of soil-destruction machines and create their optimal workflows. **Originality/value:** Knowing the conditions of stress working environments cutting elements and defining their optimum workflows in the future there is a calculation of power and energy parameters.

Key words: cutting, the spatial nature of the interaction, energy and power parameters, deformation of the working environment, section of the working environment, friction.

ВСТУП

При різанні ґрунтів процес взаємодії різальних елементів з робочим середовищем має просторовий характер [1], тому підвищення ефективності розробки робочих середовищ ґрунторуйнуючими машинами полягає в детальній диференціації зони різання на ділянки, де процеси навантаження і руйнування мають принципові відмінності. Такий підхід дозволить оптимізувати процес деформування і руйнування ґрунтів машинами для земляних робіт.

Невирішеною проблемою розробки ґрунтів є зменшення енергоємності різання за рахунок формування робочих процесів

ґрунторуйнуючих машин з урахуванням диференціації зони різання.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є опис розподілення енергії в зоні взаємодії різальних елементів з робочим середовищем, що передається від робочих органів на робоче середовище.

Задачею дослідження є отримання залежностей енергетичних і силових параметрів на кожній окремій ділянці зони різання для формування оптимальних процесів розробки ґрунтів машинами для земляних робіт.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Інтенсифікація руйнування робочих середовищ за рахунок високих швидкостей різання має низку переваг, що полягають у відносно простому робочому русі різальних елементів, достатньо простому приводі машин, реалізації динамічного навантаження на робоче середовище.

Взаємодія різальних елементів з ґрунтом за умов високошвидкісного різання відбувається зі змінними геометричними, кінематичними і силовими параметрами. При цьому ця взаємодія має просторовий характер, де характеристики взаємодії змінні кількісно і якісно в різних ділянках напружено-деформованого стану ґрунту в зоні різання. Тобто, відгук робочого середовища на навантаження диференційований у просторі і часі.

В момент після великого відколку ґрунту при блокованому прямокутному різанні різальний елемент контактує з незруйнованим робочим середовищем по площині ABCD (рис. 1). При цьому при подальшому русі в початковий момент по площині ABCD в ґрунті відбуваються процеси стиснення, розтягнення, зсуву та внутрішнього тертя, а також зовнішнього тертя ґрунту по передній грані ножа. По бокових лініях AB і CD (на передніх і бокових ребрах) і ниж-

ній лінії AD (різальній кромці) відбувається зрізування робочого середовища. На характер напружено-деформованого стану, окрім властивостей ґрунту, впливають як геометричні і кінематичні параметри, так і силові і енергетичні, зокрема, глибина різання h , кут різання δ , швидкість різальних елементів $V_{різ}$ і величини питомих енергетичних дій робочого органа на ґрунт. В початковий момент t_0 напруження на лінії BC будуть дорівнювати нулю, а на лінії AD максимальні, незважаючи на те, що переміщення різального елемента в горизонтальному напрямку однакове для частинок робочого середовища, що знаходяться на лінії BC і лінії AD, тому і зміщення частинок на цих лініях загалом однакове за модулем і напрямком, але умови стану частинок, які знаходяться на лінії BC і лінії AD, будуть різні.

Треба відмітити, що взаємодія тіл або частинок одних з одними, що приводить до зміни стану їх руху, відбувається через ті або інші поля, що дискретно розподілені у просторі. На теперішній час в залежності від частинок, що складають тіла, ці поля розподіляють на чотири типи фундаментальних взаємодій. Цими взаємодіями (в порядку зростання інтенсивності взаємодії) є гравітаційна взаємодія, слабка взаємодія,

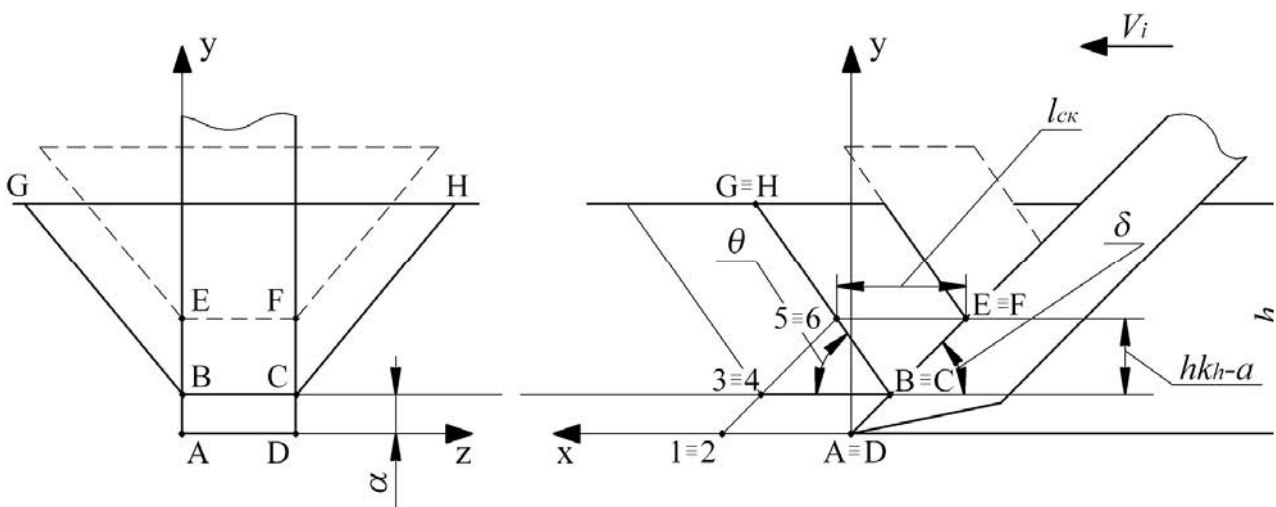


Рис. 1. Диференційована схема для визначення силових і енергетичних параметрів при різанні ґрунтів

Fig. 1. Differentiated scheme for determining the power and energy parameters during cutting soil

електромагнітна взаємодія, сильна взаємодія. Інтенсивність взаємодій визначаються константами зв'язку. Взаємодія тільки через фізичні поля відбувається як на мікро-, так і на макрорівнях.

За руйнування ґрунтів взаємодія між частинками ґрунту відбувається за рахунок електромагнітної і гравітаційної фундаментальної взаємодій, які мають такі константи: e – елементарний електричний заряд (константа електромагнітної взаємодії) і G – гравітаційна стала. Сила взаємодії між частинками ґрунту залежить від напруженості фізичного поля

$$F = EW, \quad (1)$$

де E – напруженість фізичного поля; W – величина полеутворюючого параметра.

Для гравітаційного поля $E = G_T \approx g$. Тут G_T – напруженість поля тяжіння, що дорівнює силі, яка діє на одиницю полеутворюючого параметра – масу; g – прискорення вільного падіння.

Електромагнітне поле характеризується вектором напруженості електричного поля E і магнітною індукцією B , які визначають сили, що діють з боку поля на нерухомі і рухомі заряджені частинки. Напруженість електромагнітних полів відповідає принципу суперпозиції, відповідно до якого повна напруженість поля в точці дорівнює геометричній сумі полів, що створюються окремими зарядженими частинками. Крім того, сила взаємодії між частинками зворотно пропорційна квадрату відстані між ними.

Таким чином, інтенсивність взаємодії між частинками робочого середовища на лінії AD буде значно більшою, ніж на лінії BC. З тієї ж причини найбільша інтенсивність взаємодії між частинками робочого середовища буде в точках A і D.

Загальною характеристикою взаємодії є потенціальна енергія. Ця енергія зв'язку системи частинок або тіл дорівнює роботі, яку необхідно витратити, щоб розділити цю систему на складові, які її складають, і віддалити ці складові між собою на такі відстані, що взаємодією між ними можна було б нехтувати. У випадку макросистем, які представлені в робочих процесах ґрунто-руйнуючої техніки ґрунтами, енергія

зв'язку дорівнює роботі, що витрачена на руйнування робочих середовищ. Загалом робота на руйнування ґрунту дорівнює енергії зв'язку між частинами зруйнованого ґрунту і енергії, що витрачена на залишкові деформації в зруйнованому ґрунті і цілику.

При пересуванні різального елемента відстань, що дорівнює одиничному великому відколку, визначається з формули

$$l_{ck} = (hk_h - a)(\text{ctg}\delta + \text{ctg}\theta), \quad (2)$$

де h – глибина різання різальним елементом; k_h – коефіцієнт контакту зуба з ґрунтом в залежності від кута різання δ ; $a = h(1 - k_{\text{оок}})$ – довжина бокових прорізів; $k_{\text{оок}}$ – коефіцієнт глибини частини прорізу,

що розширюється; $\theta = \frac{\pi}{4} - \frac{\rho_T}{2}$ – кут між траєкторією різання і переважним напрямком руху кусків стружки ґрунту; ρ_T – кут внутрішнього тертя.

Зрізування ґрунту відбувається по двох бокових поверхнях: 135BA і 246CD. Ці поверхні подібні одна до одної. Вони складаються з двох паралелограмів П1(точки 13BA) і П2(точки 24CD) та двох трикутників Т1(точки 35B) і Т2(точки 46C).

Площі паралелограмів будуть дорівнювати

$$S_{\text{П1}} = S_{\text{П2}} = al_{ck}, \quad (3)$$

а трикутників

$$S_{\text{Т1}} = S_{\text{Т2}} = 0,5l_{ck}(hk_h - a). \quad (4)$$

Площа контакту різального елемента в зоні зрізування ґрунту в частині прорізу, що обмежується паралелограмами, незмінна, а в частині прорізу, що обмежується трикутниками, змінюється від нуля до $S_{\text{КТ1}} = \Delta b35$ і $S_{\text{КТ2}} = \Delta l46$.

Тут Δb – ширина зруйнованого ґрунту при зрізуванні боковими ребрами різальними елементами. Тоді площа контакту різального елемента з ґрунтом в зоні паралелограмів буде $S_{\text{КП1}} = \Delta b13 = \Delta bAB$ і $S_{\text{КП2}} = \Delta b24 = \Delta bCD$.

Площа контакту різального елемента з ґрунтом при зрізуванні по лінії AD буде дорівнювати $S_{\text{К AD}} = \Delta bAD$.

Запишемо рівняння роботи для всіх ділянок поперечного перерізу прорізу, що витрачається на сколювання одиничного великого відколку.

Робота зрізування різувальною кромкою (лінія AD):

$$A_{AD} = \int_0^{l_{ck}} F_{\tau AD}(x) dx, \quad (5)$$

де $F_{\tau AD}(x)$ – функція залежності дотичної сили різання, що діє на різальну кромку (лінія AD), від переміщення різального елемента в ґрунті

$$A_{AD} = \varphi \Delta b \int \int_{G1} \sigma_1(x, z) dx dz, \quad (6)$$

де φ – коефіцієнт, що враховує кут різання; $\sigma_1(x, z)$ – залежність зміни напруження, нормального до швидкості переміщення різального елемента в ґрунті, по ширині різального елемента (по осі z) для даного положення різального елемента в забої (координата x); $G1$ – область, де задана безперервна функція залежності нормальних напружень σ від змінних x і z для різальної кромки (лінія AD).

Окрім процесу зрізування ґрунту різальною кромкою по лінії AD відбувається процес зовнішнього тертя кромки різального елемента по ґрунту на дні прорізу.

Зовнішнє тертя характеризується двома якісно відмінними процесами, а саме, втратами енергії з одного боку на подолання молекулярних зв'язків і, з іншого, на формозміну поверхневого стану матеріалу тіл, що взаємодіють.

Треба відмітити, що внаслідок значної нерівності поверхонь, що контактують, контакт між цими поверхнями відбувається тільки в окремих «точках» дотику, що зосереджені на вершинах виступів поверхонь.

Загальний коефіцієнт зовнішнього тертя визначається за формулою [2]

$$f = f_{mol} + f_{mex} = \frac{\tau_0}{\rho_{\Gamma}} + \beta + k\alpha_{\Gamma} \sqrt{\frac{h}{R}}, \quad (7)$$

де f_{mol} – коефіцієнт тертя, що характеризує виникнення сили тертя при молекулярній взаємодії поверхонь, що контактують; f_{mex} – те ж саме при формозміні цих пове-

рхонь; τ_0 – зсувна міцність одиничної «точки» дотику (фрикційний зв'язок) за відсутності стискаючого навантаження; β – коефіцієнт зміцнення фрикційного зв'язку; ρ_{Γ} – фактичний тиск на точці дотику; k – коефіцієнт, що залежить від розташування нерівностей за висотою; R – радіус одиничної нерівності, що моделюється сферичним сегментом; h – глибина заглиблення одиничної нерівності; α_{Γ} – коефіцієнт гістерезисних втрат.

Звідси сила тертя для різальної кромки визначиться за формулою

$$F_{\tau AD} = f F_{\tau AD} \operatorname{ctg}(\delta + \mu), \quad (8)$$

де δ – кут різання; μ – кут зовнішнього тертя, що визначається за формулою

$$\mu = \operatorname{arctg}(f). \quad (9)$$

Робота зрізування частиною АВ переднього бокового ребра:

$$A_{AB} = \int_0^{l_{ck}} F_{\tau AB}(x) dx, \quad (10)$$

де $F_{\tau AB}(x)$ – функція залежності дотичної сили різання, що діє на частину АВ переднього бокового ребра, від переміщення різального елемента в ґрунті,

$$A_{AB} = \varphi \Delta b \int \int_{G2} \sigma_2(x, y) dx dy, \quad (11)$$

де $\sigma_2(x, y)$ – залежність зміни напруження, нормального до напрямку швидкості переміщення різального елемента в ґрунті, для частини АВ переднього бокового ребра по осі y ; $G2$ – область, де задана безперервна функція залежності нормальних напружень σ від змінних x і y для частини АВ переднього бокового ребра (лінія АВ).

Сила тертя для частини АВ переднього бокового ребра:

$$F_{\tau AB} = \xi F_{\tau AB}, \quad (12)$$

де ξ – коефіцієнт бічного тиску.

Коефіцієнт бічного тиску характеризує відношення приросту бічного тиску до приросту стискаючого тиску, визначається за формулою

$$\xi = \frac{\nu}{1 - \nu}, \quad (13)$$

де ν – коефіцієнт бічного розширення ґрунту (коефіцієнт Пуассона).

Робота зрізування частиною ВЕ переднього бокового ребра

$$A_{BE} = \int_0^{l_{CK}} F_{TBE}(x) dx, \quad (14)$$

де $F_{TBE}(x)$ – функція залежності дотичної сили різання, що діє на частину ВЕ переднього бокового ребра, від переміщення різального елемента в ґрунті.

$$A_{BE} = \phi \Delta b \int_{G3} \sigma_3(x, y) dx dy, \quad (15)$$

де $\sigma_3(x, y)$ – залежність зміни напруження, нормального до напрямку швидкості переміщення різального елемента в ґрунті для частини ВЕ переднього бокового ребра від координат x і y . Площа контакту з ґрунтом при його руйнуванні різальною кромкою AD і частиною переднього бокового ребра АВ є сталою

$$S_{AD} = \Delta b l_{AD}, \quad S_{AB} = \Delta b l_{AB}, \quad (16)$$

де l_{AD} і l_{AB} – довжини відрізків AD і АВ відповідно. Частина бокового ребра вище відрізка АВ руйнує ґрунт з площею від 0 до $S_{BE} = \Delta b l_{BE}$.

Сила тертя для частини ВЕ переднього бокового ребра

$$F_{TBE} = \xi F_{TBE}. \quad (17)$$

Робота руйнування ґрунту передньою гранню різального елемента

$$A_{ABEFCD} = \int_0^{l_{CK}} F_{TABEFCD}(x) dx, \quad (18)$$

де $F_{TABEFCD}(x)$ – функція залежності дотичної сили деформування (руйнування) ґрунту передньою гранню різального елемента від переміщення цього елемента в ґрунті.

$$A_{ABEFCD} = \phi \iiint_V \sigma_4(x, y, z) dx dy dz, \quad (19)$$

де $\sigma_4(x, y, z)$ – залежність зміни напруження, нормального до напрямку швидкості переміщення різального елемента в ґрунті, для передньої грані від координат x , y і z ; V – об'єм, де задана безперервна функція залежності нормальних напружень σ від змінних x , y , z для передньої грані ABEFCD.

За час формування великого відколку і

до його сколювання площа контакту передньої грані з ґрунтом змінюється від мінімальної S_{ABCD} до максимальної S_{AEFD} .

Таким чином, деформуванню і руйнуванню різальними елементами ґрунту в умовах різання притаманне диференціювання фізичних процесів у просторі і часі з різними величинами енергії, необхідними для руйнування ґрунтів в різних зонах. Тому організація ефективного руйнування робочих середовищ полягає в направленні в різні ділянки робочої зони відповідних потоків енергії необхідної величини з визначеними питомими параметрами.

Дотичні середні сили, що виникають в різних ділянках зони контакту різального елемента з робочим середовищем без врахування сил тертя визначиться з формул:

– для різальної кромки

$$F_{\tau AD} = \frac{\phi \Delta b \iint \sigma_1(x, z) dx dz}{l_{CK}}; \quad (20)$$

– для бокових ребер

$$F_{\tau AD} = \frac{2}{l_{CK}} \times \left(\phi \Delta b \left(\iint_{G2} \sigma_2(x, z) dx dz + \iint_{G3} \sigma_3(x, y) dx dy \right) \right); \quad (21)$$

– для передньої грані

$$F_{\tau ABEFCD} = \frac{\phi \iiint \sigma_4(x, y, z) dx dy dz}{l_{CK}}. \quad (22)$$

З урахуванням сил тертя:

– для різальної кромки

$$F_{\tau AD} + F_{TAD} = \frac{\phi \Delta b (1 + f \operatorname{ctg}(\delta + \mu))}{l_{CK}} \times \left(\iint_{G1} \sigma_1(x, z) dx dz \right); \quad (23)$$

– для бокових ребер

$$F_{\tau ABE} + F_{T ABE} = \frac{2 \Delta b (1 + \xi \cdot f)}{l_{CK}} \times \left(\iint_{G2} \sigma_2(x, y) dx dy + \iint_{G3} \sigma_3(x, y) dx dy \right); \quad (24)$$

- для передньої грані

$$F_{\tau_{ABEFCD}} = \frac{\varphi \iiint \sigma_4(x, y, z) dx dy dz}{V l_{ck}}. \quad (25)$$

Інтегрування чисельними методами в наведених формулах виконується відповідно з характером залежностей нормальних напружень в зоні різання (рис. 2, 4, а також рис. 5 [3]).

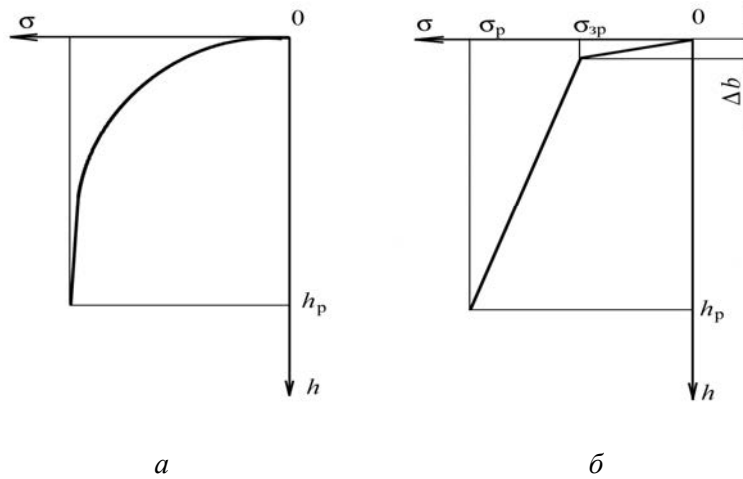


Рис. 2. Залежність тисків на передній грані різального елемента, нормальних до напрямку швидкості різання, від глибини різання для слабков'язних ґрунтів: *a* – характер залежності $\sigma = f(h)$; *б* – апроксимація залежності $P = f(h)$; тут h_p – глибина різання різальним елементом; σ_p – напруження, що визначається максимальною зернистістю дисперсних середовищ

Fig. 2. Dependence of pressure on the front edge of the cutting element normal to the direction of cutting speed, depth of cut for light-aggregate soil: *a* – character of dependence $\sigma = f(h)$; *в* – approximation of dependence $P = f(h)$; h_p – cutting depth cutting element; σ_p – tension, defined maximum grain size of dispersed area

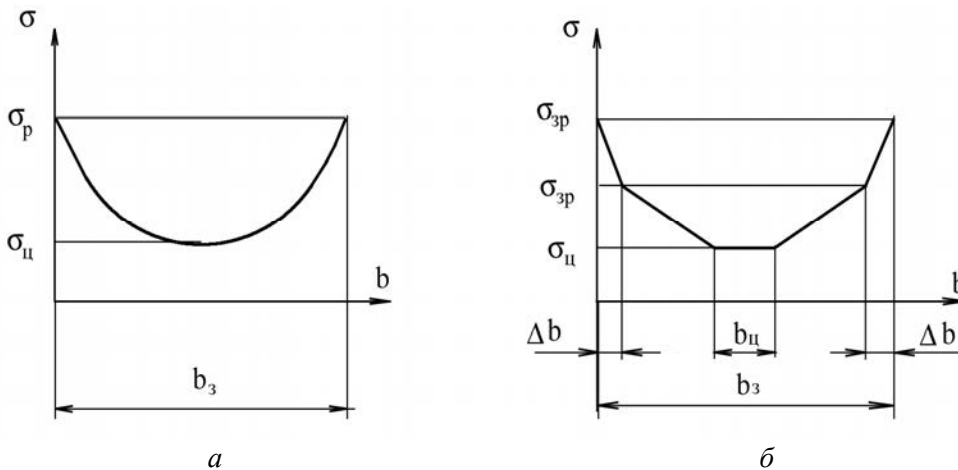


Рис. 3. Розподілення тисків на передній грані різального елемента по ширині зуба $b_3 \sigma(b)$:

a – характер залежності $\sigma(b)$; *б* – апроксимація залежності $\sigma(b)$; тут $\sigma_{зр1}, \sigma_{зр2}$ – розподілення σ в зоні зрізання; $\sigma_{ц}$ – величина мінімального напруження в центральній зоні

Fig. 3. Distribution of pressure on the front edge of the cutting element across the width of the tooth: *a* – character of dependence $\sigma = (b)$; *в* – approximation of dependence $\sigma = (b)$; $\sigma_{зр1}, \sigma_{зр2}$ – distribution σ in the area of cutting; $\sigma_{ц}$ – the value of the minimum intensity in the central

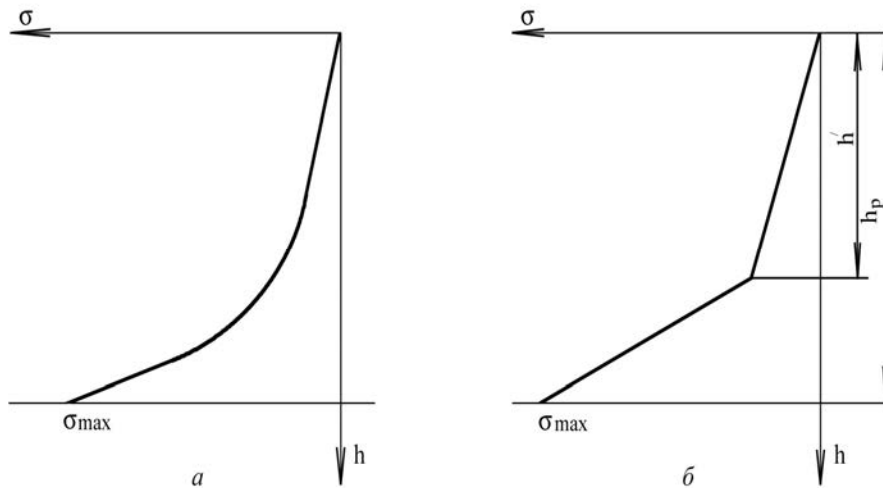


Рис. 4. Залежність нормальних напружень в ґрунті, контактуючого з передньою гранню різального елемента, при різанні зв'язних пластичних ґрунтів: *a* – характер залежності $\sigma = f(h)$; *b* – апроксимація залежності $\sigma = f(h)$; тут h_p – глибина різання; h' – умовна глибина; σ_{\max} – максимальні напруження в точках А і D

Fig. 4. Dependence normal stresses in the soil, in contact with the front edge of the cutting element connected in cutting plastic soils: *a* – character of dependence $\sigma = f(h)$; *b* – approximation of dependence $\sigma = f(h)$; h_p – cutting depth; h' – conventional depth; σ_{\max} – maximum tension at points A and D

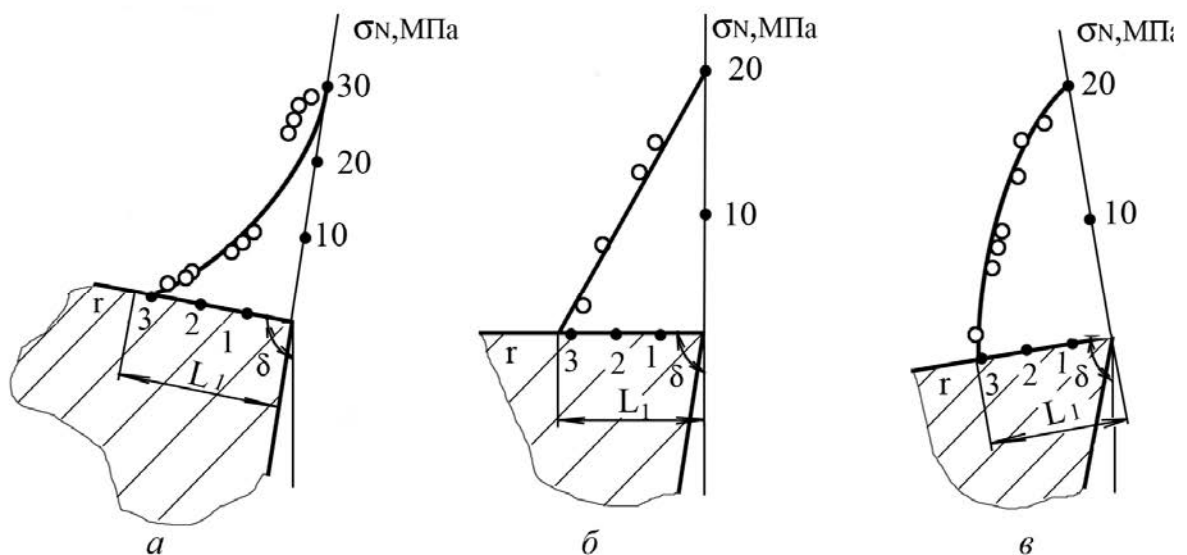


Рис. 5. Вплив кута різання на розподіл нормальних напружень на передній грані інструмента (різання свинцю) [3] *a* – $\delta = 100^\circ$; *b* – $\delta = 90^\circ$; *в* – $\delta = 80^\circ$

Fig. 5. Effect of cutting angle on the distribution of normal stresses on the front face of the tool (cutting lead): *a* – $\delta = 100^\circ$; *b* – $\delta = 90^\circ$; *в* – $\delta = 80^\circ$

ВИСНОВКИ

Отримані енергетичні і силові залежності дозволяють визначити енергетичні і силові поля в різних ділянках зони різання і умови навантажень робочих середовищ в цілому різальними елементами робочих органів ґрунторуйнувальних машин і сформулювати їх оптимальні робочі процеси.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Машины для земляных работ. Учебник* / Ю.А. Ветров, А.А. Кархов, А.С. Кондра, В.П. Станевский. – К.: Вища школа, 1981, – 384 с.
2. *Физический энциклопедический словарь*. Гл. ред. А.М. Прохоров, М.: Советская энциклопедия, 1984. – 944 с.
3. *Основи теорії різання матеріалів. Підручник*. / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залого, Ф.Я. Якубов. Л.: Новий світ-2000, 2011. – 424 с.
4. *Мищук Д.* Дослідження динамічної моделі гідравлічного циліндра об'ємного гідроприводу / Д. Мищук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – №87, 2016. – С. 74-81.
5. *Сукач М.* Техногенно-екологічні проблеми використання землерийно-транспортної техніки / М. Сукач, Ю. Шкабура // Всеукраїнський збірник наукових праць "Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини". – Київ. – 2015. – №86. – С. 71-75.
6. *Фомін А.В.* Параметри робочого процесу ґрунторуйнуючих технічних систем з урахуванням розподілення потоків енергії / А.В. Фомін, О.О. Костенюк, О.А. Тетерятник, Г.І. Боковня // Всеукраїнський збірник наукових праць "Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини". – Київ. – 2010. – №76.
7. *Фомін А.В.* Синергетичний характер взаємодії адаптаційних технічних систем з робочим середовищем / А.В. Фомін, О.О. Костенюк, О.А. Тетерятник, Г.І. Боковня // Всеукраїнський збірник наукових праць "Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини". – Київ. – №.82. – 2013.

REFERENCES

1. *Mashiny dlja zemljanyh rabot, 1981. Uchebnik* / Ju.A. Vetrov, A.A. Karhov, A.S. Kondra, V.P. Stanevskij. – K.: Vishha shkola, – 384.
2. *Fizicheskij jencikloaedicheskij slovar', 1984.* Gl. red. A.M. Prohorov, M.: Sovets-kaja jenciklopedija, – 944.
3. *Osnovi teorii rizannja materialiv. 2011.,* Pidruchnik. / M.P. Mazur, Ju.M. Vnukov, V.L. Dobroskok, V.O. Zaloga, F.Ja. Jakubov. L.: Novij svit-2000. – 424.
4. *Mishchuk D., 2016.* [Hydraulic cylinder of the volumetric hydraulic drive research of the dynamic model]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines], No. 87, 74-81. – (in Ukrainian).
5. *Sukach M., Shkabura Yu., 2015.* [Technogenic-ecological problems of the use earth-moving and transport technique]. Girnichi, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini. [Mining, construction, road and meliorative machine], No. 86, 71-75. – (in Ukrainian).
6. *Fomin A.V., Kostenyuk O.O., Teteryatnik O.A., Bokovnya G.I., 2010.* Parametry robochogo protsesu grunto-ruynuyuchih tehnicnih system z urahuvanyam rozpodilenya potokiv energiyi [Options soil-destructive workflow of technical systems based distribution of energy flows]. Girnichi, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini. [Mining, construction, road and meliorative machine], No. 76. – (in Ukrainian).
7. *Fomin A.V., Kostenyuk O.O., Teteryatnik O.A., Bokovnya G.I., 2013.* Sinergetychniy harakter vzaemodiyi adaptatsiynyh system z robochim seredovyschem [Synergetic character of interaction of technical adaptation system of workspaces]. Girnichi, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini. [Mining, construction, road and meliorative machine], No. 82. – (in Ukrainian).