

## ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ УДАРНОГО РУЙНУВАННЯ ҐРУНТІВ ПРИ ВПОРЯДКОВАНОМУ РУСІ РОБОЧОГО ОРГАНА

*Анатолій Фомін, Олександр Костенюк, Олександр Тетерятник, Галина Боковня*

*Київський національний університет будівництва і архітектури  
03680, Повітрофлотський пр. 31, Київ, Україна, e-mail: teteryatnik@ua.fm*

## DEFINITION OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE IMPACT DESTRUCTION OF SOIL CONSIDERING STRUCTURED MOVEMENT OF WORKING BODIES

*Anatoly Fomin, Aleksandr Kostenyuk, Aleksandr Teteryatnik, Galina Bokovnyua*

*Kyiv National University of Construction and Architecture  
03680 Vozdukhoflotsky Avenue, 31, Kyiv, Ukraine, e-mail: teteryatnik@ua.fm*

**АНОТАЦІЯ.** За ударного руйнування ґрунтів сформований структурований рух ударників, які окрім ударного руху, мають коливання в поперечній площині. Структурований рух дає можливість регулювати величину площі контакту ударника з ґрунтом в процесі удару, що в свою чергу дозволяє керувати потоками енергії у просторі і часі, яка передається на ґрунт в ударному процесі. Визначені залежності між геометричними параметрами ударника і його структурованого руху, що дають можливість перерозподіляти енергію удару в залежності від фізико-механічних характеристик ґрунтів з метою підвищення ефективності ударного руйнування робочих середовищ.

**Ключові слова:** ґрунт, удар, ударник, рух ударника, кутова амплітуда коливань, площа контакту ударника з ґрунтом, кут загострення ударника, заглиблення ударника.

**АННОТАЦИЯ.** При ударном разрушении грунтов сформировано структурированное движение ударников, которые кроме ударного движения, имеют колебания в поперечной плоскости. Структурированное движение дает возможность регулировать величину площади контакта ударника с грунтом в процессе удара, что в свою очередь позволяет управлять потоками энергии в пространстве и времени, которая передается на грунт в ударном процессе. Определены зависимости между геометрическими параметрами ударника и его структурированного движения, что позволяют перераспределять энергию удара в зависимости от физико-механических характеристик грунтов с целью повышения эффективности ударного разрушения рабочих сред.

**Ключевые слова:** грунт, удар, ударник, движение ударника, угловая амплитуда колебаний, площадь контакта ударника с грунтом, угол заострения ударника, заглупление ударника.

**ABSTRACT. Purpose:** in impact destruction of soils formed structured movement drummers, who in addition to striking movement are oscillations in the transverse plane. **Methodology/approach** the use of frozen soils and rock percussion method of destruction due to advantages such as lack of continuous cutting, increasing influence of brittle strain instead of reversible strain in the destruction. Optimization criterion can be considered to minimize power consumption demolition work environment. **Findings:** structured movement makes it possible to adjust the amount of contact area with the ground impactor during the impact, which in turn allows you to control the flow of energy in space and time, which is transmitted to the ground in shock process. **Research limitations/implications:** the dependence between the geometric parameters of the impactor and its structuring of motion that allow to redistribute the energy of impact, depending on the physical and mechanical properties of soils. **Originality/value:** control the flow of energy in space and time to improve dynamic destruction workspaces and reducing the total energy content of soil development.

**Key words:** soil, impact, impactor, impactor motion, angular oscillation amplitude, the area of contact with the soil impactor, impactor sharpening angle, hollow impactor.

## ВСТУП

Географічне розташування України в помірно-континентальному кліматі зумовлює досить значне зниження температури в зимовий час, що призводить до значного промерзання верхнього шару ґрунту. Крім того, велика кількість гірських масивів в західній частині країни, в свою чергу, зумовлює наявність великої кількості напів-

скельних і скельних ґрунтів. Все це призводить до стійкого попиту на землерийні машини і обладнання, що здатні виконувати розробку міцних ґрунтів.

Розробка міцних ґрунтів пов'язана зі значними витратами енергії. В сучасних умовах існує велика потреба в такій оптимізації процесу руйнування міцних середовищ, при якій витрати енергії на одиницю розробленого ґрунту будуть мінімальними.

Критерієм оптимізації можна вважати мінімізацію енергоємності руйнування робочого середовища.

Враховуючи, що для землерийних машин найбільш розповсюдженими є механічний та комбінований методи руйнування робочих середовищ, будемо розглядати лише їх. Вибуховий метод, який має найменшу енергоємність, використовується в основному для руйнування великих об'ємів порід (найчастіше при розробці кар'єрів відкритим методом) і майже не застосовується в робочих процесах машин для земляних робіт.

Наступним низькоенергоємним методом руйнування міцних робочих середовищ є удар. Ударні робочі органи, хоч і мають деякі недоліки (циклічність роботи, значна маса ударника та робочого обладнання) саме в мерзлих та скельних ґрунтах можуть значно збільшити продуктивність роботи за рахунок своїх переваг (відсутність суцільного різання, підвищення впливу крихких деформацій, зменшене зношування робочого органа тощо).

## МЕТА РОБОТИ

Мета роботи – встановлення закономірностей ударного руйнування ґрунтів за структурованого руху ударних робочих органів, що дає можливість керувати потоками енергії в просторі і часі, яка передається на ґрунт за ударного руйнування робочих середовищ для підвищення його ефективності на основі способу динамічного руйнування ґрунтів, розробленого на кафедрі будівельних машин ім. Ю.О. Ветрова та НДІ будівельно-дорожньої і інженерної техніки КНУБА.

Задачею даного дослідження є визначення залежностей між геометричними параметрами ударника і його структурованим рухом, що є визначальними для отримання оптимальних характеристик процесу руйнування робочих середовищ.

## ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Переваги ударного руйнування ґрунтів полягають в імпульсній дії на робоче сере-

довище, в високих питомих енергетичних параметрах цієї дії, можливості керування потоками енергії, реалізації динамічної дії на робоче середовище, формуванні коливаюльно-хвильового напружено-деформованого стану робочого середовища, значному зниженні величин критичних деформацій ґрунту, за яких він руйнується, крихкому руйнуванню робочих середовищ, а також у значному зменшенні обсягів тертя різальних елементів об ґрунт, яке займає значне місце в руйнуванні робочих середовищ різанням. При накладенні додаткових вібраційних навантажень на ґрунти збільшується вплив хвильових факторів, а також знижується міцність робочих середовищ при їх руйнуванні.

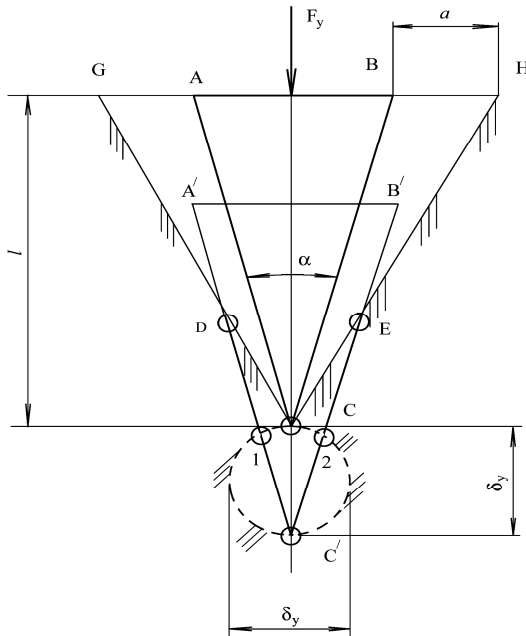
При складному русі ударного робочого органа [1, 2] формується робоча зона за рахунок поперечних коливань ударника (по коловій траєкторії), за яких бокові грані клиноподібного робочого органа зминають ґрунт в бокових стінках зони руйнування по обидва боки відносно прямолінійної траєкторії руху робочого органа при ударі. Внаслідок того, що при русі робочого органа по коловій траєкторії відсутній ударний рух, зминання ґрунту відбувається за рахунок руху бокових стінок робочого органа практично перпендикулярно до бокових стінок зони руйнування. При цьому відбувається прямокутне зминання ґрунту при відсутності тертя. Коли робочий орган виконає повне коливання і його хвостовик знову прийде в положення, обмежене точками АВ, наноситься удар з зусиллям  $F_y$  по прямолінійній траєкторії. Завдяки тому, що робочий орган в початковий момент не контактує своїми боковими гранями з ґрунтом, відсутні витрати енергії на косий ударний контакт з масивом і тертя бокових граней об ґрунт. Таким чином, вся енергія удару реалізується на різальній кромці робочого органа без втрат (рис. 1).

Під час удару різальна кромка ударника знаходиться в початковому положенні (точка С). Робоча зона обмежується в поперечному перерізі лініями GC і HC. Така форма забою сформована за рахунок поперечних коливань ударника з амплітудою  $a$  (для малих значень амплітуд). В процесі

одиночного удару заглиблення ударника в робоче середовище становить величину  $\delta_y$ , яка розраховується за формулою

$$\delta_y = \frac{2E_y k_\alpha V}{S u k_\delta}, \quad (1)$$

де  $E_y$  – енергія, що передається на ґрунт за один удар робочого органа;  $k_\alpha$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив загострення ударника на ударний процес;  $V$  – швидкість руху ударника в початковий момент руху;  $S$  – площа контакту ударника з ґрунтом;  $u$  – швидкість розповсюдження подовжніх хвиль деформацій в ґрунті;  $k_\delta$  – питома сила опору ґрунту динамічному руйнуванню.



**Рис 1.** Схема взаємодії ударника з ґрунтом за структурованого руху динамічного робочого органа

**Fig. 1.** Diagram of interaction with soil impactor for structured dynamic movement of working body

Параметри  $u$  і  $k_\delta$  визначаються за (2) і (3)

$$u = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}}, \quad (2)$$

де  $E$  – динамічний модуль пружності;  $\rho$  – густина ґрунту;  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона;

$$k_\delta = \rho V^2 + \sigma \epsilon, \quad (3)$$

де  $\sigma$  – межа динамічної міцності ґрунту;  $\epsilon$  – гранична динамічна відносна деформація.

В початковий момент удару площа контакту ударника з ґрунтом буде мінімальною і визначатиметься радіусом закруглення різальної кромки (теоретично його можна прийняти такими, що дорівнює нулю).

Для пластичних ґрунтів в кінці удару площа контакту буде дорівнювати

$$S = 2bl_{DC'} = 2bl_{EC'}, \quad (4)$$

де  $l_{DC'}$  і  $l_{EC'}$  – довжини відрізків ліній, по яким контактує ударник своїми боковими ребрами (гранями) з ґрунтом. Із рис. 1 випливає

$$l_{DC'} = l_{EC'} = \frac{\delta_y l \left( \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \frac{\alpha}{l} \right)}{a \cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (5)$$

де  $l$  – висота ударника.

Загальна площа контакту боковими гранями ударника визначиться за формулою

$$S = 2b(l_{DC'} + l_{EC'}) = \frac{2b\delta_y l \left( \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \frac{\alpha}{l} \right)}{a \cos \frac{\alpha}{2}}. \quad (6)$$

Із формули (6) виходить, що площа контакту  $S$  залежить від п'яти параметрів: трьох, що характеризують конструкцію робочого органа  $b, l$  і  $\alpha$ , параметра  $a$ , що характеризує структурований рух робочого органа і  $\delta_y$ , що характеризує власне процес взаємодії робочого органа з робочим середовищем. В свою чергу, параметр  $\delta_y$  залежить від конструктивного параметра  $\alpha$ , енергетичного параметра  $E_y$ , кінематичного параметра  $V$  і геометричного параметра  $S$  ударного процесу і властивостей ґрунту – інтегрального параметра питомого опору  $k_\delta$  динамічному руйнуванню і швидкості розповсюдження  $u$  подовжніх хвиль деформацій. Як видно з формул (1), (2) і (3) властивостями ґрунту, що визначають процес ударного руйнування, є параметри  $E, \rho, \sigma$  і  $\epsilon$ . Параметри, які характеризують властивості робочих середовищ в ударних процесах, є динамічними, тобто

такими, що залежать від швидкості  $V$  прикладання навантажень.

Величина площі контакту ударника з ґрунтом є головним геометричним параметром процесу ударного (динамічного) руйнування робочих середовищ, що визначає величину сили опору динамічному руйнуванню. Позначивши величину заглиблення ударника в ґрунт як  $h$ , запишемо залежність від неї величини площі контакту з ґрунтом бокових граней ударника

$$S = h \frac{2bl \left( \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \frac{\alpha}{l} \right)}{a \cos \frac{\alpha}{2}}. \quad (7)$$

Величина площі контакту ударника з ґрунтом в значній мірі залежить від амплітуди його поперечних коливань в структурованому русі робочого органа. Позначивши кут  $\angle GCH$  (рис. 1) як  $\beta$ , запишемо залежність для визначення цього кута

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \frac{\alpha}{l}, \quad (8)$$

звідки

$$\beta = 2 \operatorname{arctg} \left( \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \frac{\alpha}{l} \right). \quad (9)$$

З формули (9) випливає, що кут  $\beta$ , який визначає об'єм вільного забою в зоні удару, залежить від кута загострення ударника  $\alpha$ , амплітуди його поперечних коливань  $a$  і довжини ударника  $l$ .

В загальному вигляді за колових поперечних коливань ударника при куті  $\gamma$  (кутовій амплітуді коливань  $\gamma$ ) (рис. 2) кут  $\beta$  визначиться з формули

$$\beta = \alpha + 2\gamma.$$

Тоді загальна площа контакту в загальному вигляді визначиться як

$$S = \frac{2b\delta_y}{\left( 1 - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \left( \frac{\alpha}{2} + \gamma \right) \right) \cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (10)$$

а залежність площі контакту від  $h$

$$S = h \frac{2b}{\left( 1 - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \left( \frac{\alpha}{2} + \gamma \right) \right) \cos \frac{\alpha}{2}}. \quad (11)$$

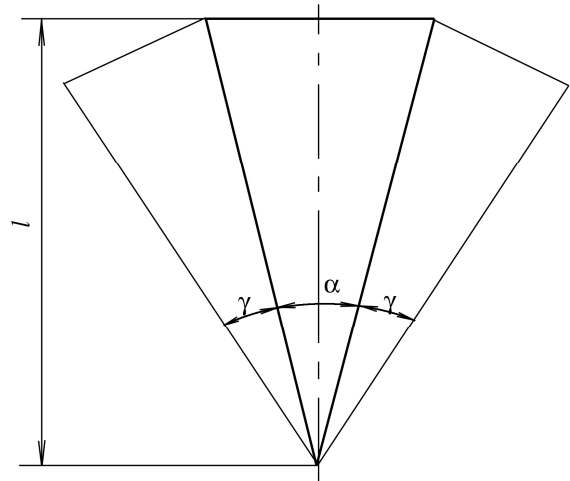


Рис. 2. Схема для визначення кута  $\beta$

Fig. 2. Diagram for determining the angle  $\beta$

Для всіх значень заглиблення ударника в ґрунт можна записати функцію  $S = f(h)$  наступним чином:

$$\text{- при } h < l \left( 1 - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \left( \frac{\alpha}{2} + \gamma \right) \right)$$

$$S = h \frac{2b}{\left( 1 - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \left( \frac{\alpha}{2} + \gamma \right) \right) \cos \frac{\alpha}{2}}; \quad (12)$$

$$\text{- при } h \geq l \left( 1 - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \left( \frac{\alpha}{2} + \gamma \right) \right)$$

$$S = \frac{2bl}{\cos \frac{\alpha}{2}}. \quad (13)$$

Для аналізу геометричних параметрів ударного процесу руйнування робочих середовищ розглянемо графіки залежностей  $S = f(h, \alpha, \gamma)$ . Графіки залежностей будемо для питомої величини  $S_{\text{п}}$ , тобто, як площі контакту з ґрунтом одиничної ширини ударника.

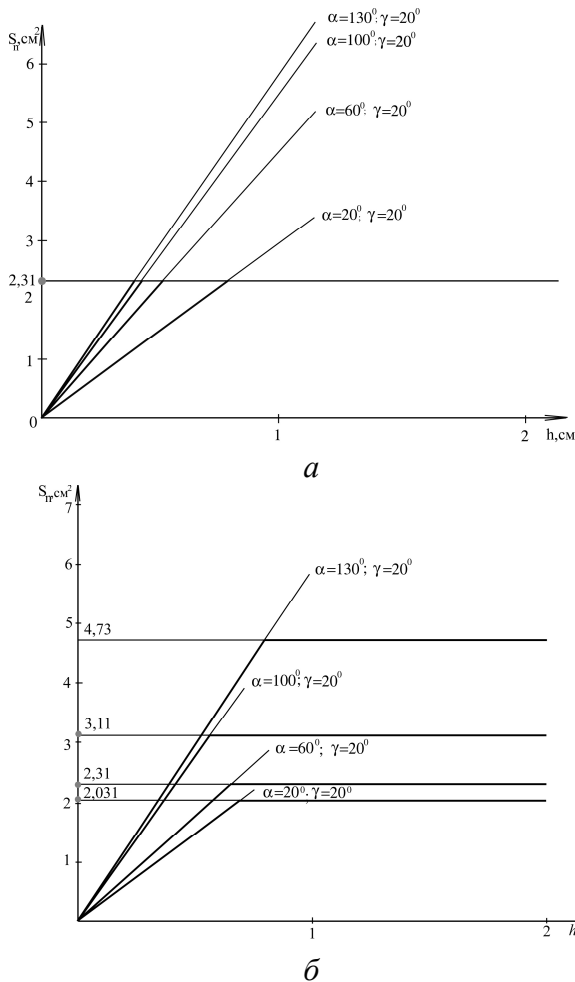
Особливість структурованого руху полягає в тому, що в момент, коли заглиблення  $h$  ударника в ґрунт досягає величини, що дорівнює довжині ударника  $l$ , площа контакту (питома площа контакту) стає максимальною і у всіх випадках розраховується за формулою

$$S_{\text{пmax}} = \frac{2l}{\cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (14)$$

а однобічна питома площа

$$S'_{\text{пmax}} = \frac{l}{\cos \frac{\alpha}{2}}. \quad (15)$$

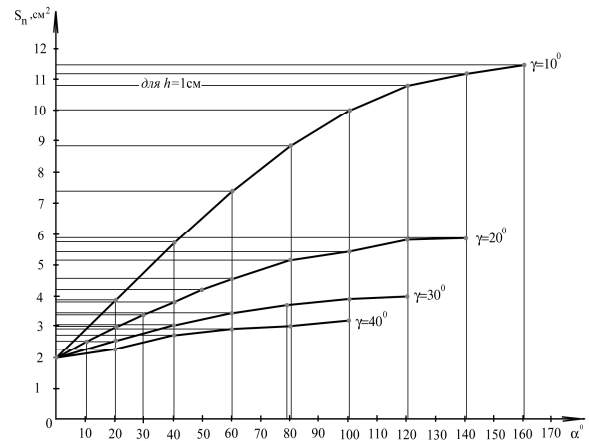
Із останніх формул витікає, що за сталого кута  $\alpha$  (рис. 3, а) змінюється тільки коефіцієнт пропорційності (кутовий коефіцієнт), а максимальна питома площа  $S_{\text{п}}$  залишається незмінною; за сталого кута  $\gamma$  і змінного  $\alpha$  (рис. 3, б) змінюється як кутовий коефіцієнт, так і максимальна питома площа контакту  $S_{\text{п}}$  ударника з ґрунтом.



**Рис. 3.** Залежності питомої площі контакту  $S_{\text{п}}$  ударника з ґрунтом від глибини заглиблення  $h$  ударника в умовах змінних кутів  $\alpha$  і  $\gamma$ : а– за сталого кута  $\alpha$  і змінного  $\gamma$ ; б– за сталого кута  $\gamma$  і змінного  $\alpha$

**Fig. 3.** Dependence of the contact area  $S_{\text{п}}$  impactor with the soil on the depth of immersion  $h$  impactor in variable angles  $\alpha$  and  $\gamma$ : а– for constant angle  $\alpha$  and variable  $\gamma$ ; б– for constant angle  $\gamma$  and variable  $\alpha$

Графік функції залежності  $f = S_{\text{п}}(\alpha)$  (рис. 4) має характер уповільнено зростаючої функції з максимальною величиною в точці, коли значення аргументу приймає значення  $\alpha = 180 - 2\gamma$ , причому чим більше величина кута  $\gamma$ , тим меншою буде максимальна питома площа контакту.



**Рис. 4.** Залежність питомої площі контакту  $S_{\text{п}}$  ударника з ґрунтом від кута  $\alpha$  для різних значень кутової амплітуди  $\gamma$  поперечних коливань ударника

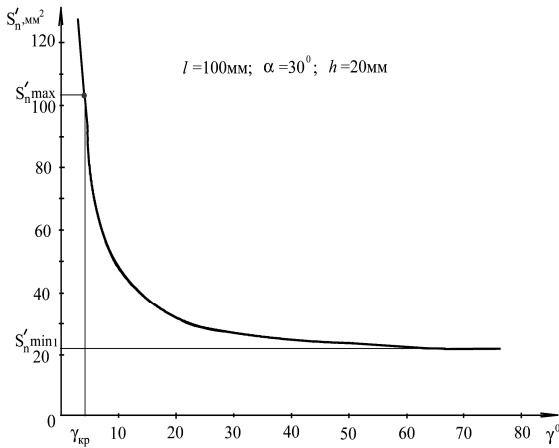
**Fig. 4.** Dependence of the specific contact area  $S_{\text{п}}$  impactor with the soil on the angle  $\alpha$  for different values of the angular amplitude  $\gamma$  of transverse vibrations of impactor

Складний характер має функція залежності  $f = S'_{\text{п}}(\gamma)$  (рис. 5). Функція має уповільнено спадний характер зі зростанням аргументу  $\gamma$ . В точці, де аргумент  $\gamma$  (кутова амплітуда) має значення  $\gamma = 90 - \frac{\alpha}{2}$ , площа контакту визначається за формулою

$$S'_{\text{п}} = S'_{\text{пmin}} = \frac{h}{\cos \frac{\alpha}{2}}. \quad (16)$$

В області значень функції, де аргумент  $\gamma$  наближається до нуля, функція прямує до безкінечності. Це відбувається тому, що кут  $\beta$  за величиною наближається до кута  $\alpha$  і має місце випадок

$$\lim_{\gamma \rightarrow 0} \left( 1 - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \left( \frac{\alpha}{2} + \gamma \right) \right) = 0. \quad (17)$$



**Рис. 5.** Залежність однієї бічної питомої площі контакту  $S'_n$  ударника з ґрунтом від кутової амплітуди  $\gamma$  поперечних коливань ударника

**Fig. 5.** Dependence of one-sided specific contact area  $S'_n$  impactor with the soil of the angular amplitude  $\gamma$  of transverse vibrations of impactor

В реальних умовах за обмежених розмірів ударника площа контакту  $S_{\Pi}$  дорівнює

$$S'_{\Pi} = S'_{\Pi \max} = \frac{l}{\cos \frac{\alpha}{2}}. \quad (18)$$

В цьому випадку вона набуває сталої величини. Структурований рух вироджується в простий.

Для кожного поєднання різних варіантів параметрів  $\alpha$  і  $\gamma$  існує така критична глибина  $h_{кр}$ , яка визначається кутом  $\gamma_{кр}$  за сталого  $\alpha$ , що визначається залежностями (12 і 13). Кут  $\gamma_{кр}$  для критичної глибини визначається із залежності

$$\gamma_{кр} = \operatorname{arccctg} \frac{l-h}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} - \frac{\alpha}{2}. \quad (19)$$

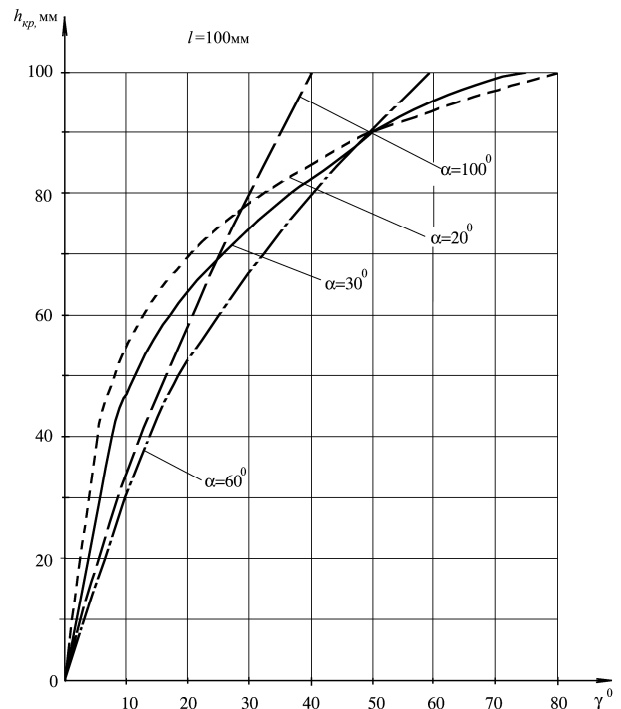
За даної критичної глибини при умові  $\gamma > \gamma_{кр}$  питома площа контакту визначається формулою (12); за умови  $\gamma \leq \gamma_{кр}$  питома площа контакту стає максимальною і сталою і визначається за формулою (13).

Наприклад, для умов ударних процесів, що представлені на рис. 5 ( $l=100\text{мм}$ ,

$\alpha=30^\circ$ ,  $h=20\text{мм}$ ),  $\gamma_{кр}=3,5180^\circ$ ; ( $l=100\text{мм}$ ;  $\alpha=40^\circ$ ,  $h=40\text{мм}$ ),  $\gamma_{кр}=11,2420^\circ$ .

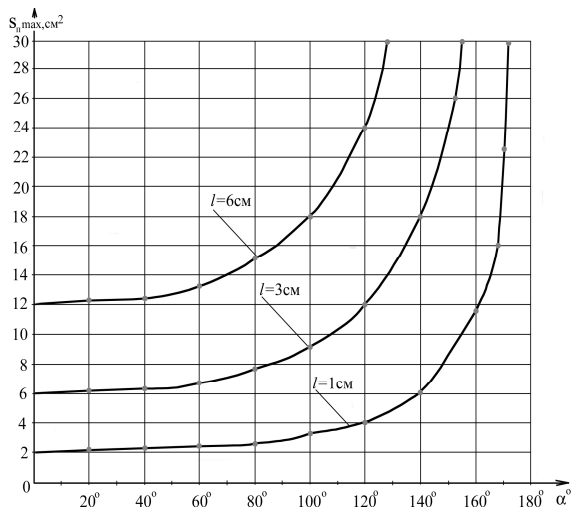
На рис. 6 представлено графіки залежності  $f=h_{кр}(\gamma)$  за умов  $\alpha=20^\circ$ ,  $\alpha=30^\circ$ ,  $\alpha=60^\circ$  і  $\alpha=100^\circ$ . За  $\gamma=0$ , маємо простий рух, за  $\gamma=90-\frac{\alpha}{2}$  – процес з мінімальною питомою площею контакту ударника з ґрунтом.

На рис. 7 представлений графік залежності максимальної питомої площі контакту  $S_{\Pi}$  від кута загострення  $\alpha$ . За  $\alpha=0^\circ$  питома площа становить  $2\text{см}^2$  при довжині ударника  $l=0,01\text{м}$ , тобто ударник в формі клина вироджується в пряму лінію з довжиною бокових граней  $0,01\text{м}$ . За  $\alpha=180^\circ$  маємо  $S_{\Pi}=\infty$  – клин вироджується в площину, що перпендикулярна до траєкторії удару.



**Рис. 6.** Залежність критичної глибини  $h_{кр}$  від кутової амплітуди  $\gamma$  при змінному куті  $\alpha$

**Fig. 6.** Dependence of the of the critical depth  $h_{кр}$  for different values of the angular amplitude  $\gamma$  in variable angles  $\alpha$



**Рис. 7.** Залежність максимальної питомої площі контакту  $S_{\text{п}}$  від кута загострення  $\alpha$

**Fig. 7.** Dependence of the specific contact area  $S_{\text{п}}$  on the sharpening angle  $\alpha$

За великих значень  $\alpha$  в реальних робочих ударних органах бокові поверхні обмежуються кінцевими величинами (рис. 8).

Наприклад, за  $l = 56\text{мм}$ ,  $h = 30\text{мм}$ ,  $\alpha = 120^\circ$  і  $\gamma = 15^\circ$  питома однобічна площа контакту  $S'_{\text{п}}$  буде

$$S'_{\text{п}} = \frac{h}{\left(1 - \text{tg} \frac{\alpha}{2} \left(\text{ctg} \frac{\alpha}{2} + \gamma\right)\right) \cos \frac{\alpha}{2}},$$

і для умов прикладу

$$S'_{\text{п}} = \frac{30}{(1 - 1,732 \cdot 0,268) \cdot 0,5} = 112\text{мм},$$

або

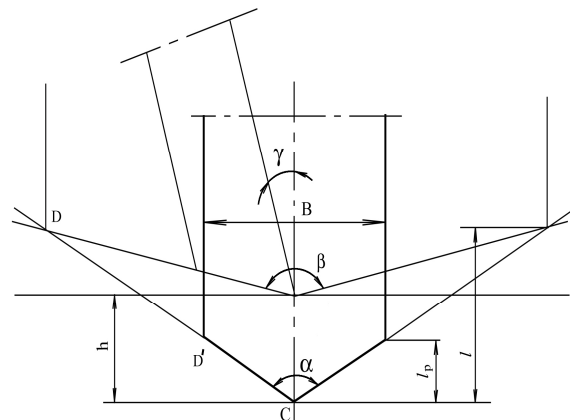
$$S'_{\text{п}} = \frac{l}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{56}{\cos 60^\circ} = 112\text{мм}^2,$$

Критична кутова амплітуда поперечних коливань ударника згідно з формулою (19)

$$\gamma_{\text{кр}} = \text{arcctg} \frac{56^\circ - 30^\circ}{56 \text{tg} 60^\circ} - 60^\circ = 15^\circ.$$

На рис. 8  $S'_{\text{п}}$  проектується в лінію DC. Для забезпечення необхідних габаритів ударника його поперечний розмір приймається визначеного розміру (B на рис. 8) і тоді його питома однобічна площа контакту буде визначатися лінією D'C, а довжина

робочої частини ударника буде визначатися параметром  $l_p$ .



**Рис. 8.** Схема для визначення необхідних габаритів ударника

**Fig. 8.** Diagram for determining of required impactor dimensions

## ВИСНОВКИ

Результати аналізу отриманих залежностей геометричних параметрів ударного руйнування ґрунтів дозволяють зробити висновок, що за структурованого руху ударника можна керувати потоками енергії в просторі і часі для підвищення ефективності динамічного руйнування робочих середовищ і зниження загальної енергоємності розробки ґрунтів. Керуючи співвідношенням між кутом загострення ударника  $\alpha$  і кутовою амплітудою  $\gamma$ , можна отримувати необхідну площу  $S_{\text{п}}$  контакту ударника з ґрунтом з потрібним градієнтом зростання в залежності від заглиблення ударника в ґрунт. Таким чином, для ґрунтів з різними динамічними фізико-механічними характеристиками узгодженням з ними параметрів структурованого руху і перерозподіленням енергії можна забезпечити оптимальні характеристики процесу руйнування робочих середовищ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фомін А.В., Костенюк О.О., Тетерятник О.А., Боковня Г.І. Спосіб динамічного руйнування ґрунтів. Патент України № 70851 А. Бюл. №10, 15.10.04.
2. Назаренко І.І., Смірнов В.М., Пелевін Л.Є. та ін. Основи теорії руху землерийних і ущільнювальних машин будіндустрії з керованими у часі оптимальними параметрами: Монографія/ за заг. ред. І.І. Назаренка. – К.: «МП Леся», 2013.–188с.

REFERENCES

1. Fomin A.V., Kostenyuk O.O., Teteryatnik O.A., Bokovnya G.I. Sposib dynamichnogo ruynuvanya gruntiv [The method of dynamic fracture soils]. Patent Ukrainy No. 70851A. Bul. No. 10, 15.10.04.
2. Nazarenko I.I., Smirnov V.M., Pelevin L.C. e.a. Osnovy teoriiy ruhu zemleriynih s uschilnuvalnih mashin budindustriyi z kerovanimy u chasi optimalnimy parametramy [Basic theory of motion earthmoving and construction industry sealing machines with controlled time optimal parameters]. Monografiya red. Nazarenko I.I. Kyiv, MP Lesya Publ., 2013, 188.