

УДК 622.647.4

## ОСОБЛИВОСТІ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ТОРЦЕВИХ ТА ПЕРИФЕРІЙНИХ ВИСОКОШВИДКІСНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

**О.А. Тетерятник, асистент,  
Київський національний університет будівництва і архітектури**

*Анотація.* Розглянуто залежності для визначення силових параметрів периферійних робочих органів і торцевих робочих органів першого і другого типів. Проведено аналіз впливу технології проведення робіт високошвидкісними периферійними та торцевими робочими органами на визначення силових, геометричних та кінематичних параметрів процесу різання цими робочими органами.

*Ключові слова:* периферійний робочий орган, торцевий робочий орган першого і другого типів, технологія роботи, середня глибина різання, сила різання.

## ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ТОРЦЕВЫХ И ПЕРИФЕРИЙНЫХ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

**А.А. Тетерятник, асистент,  
Киевский национальный университет строительства и архитектуры**

*Аннотация.* Рассмотрены зависимости для определения силовых параметров периферийных рабочих органов и торцевых рабочих органов первого и второго типов. Проведен анализ влияния технологии проведения работ высокоскоростными периферийными и торцевыми рабочими органами на определение силовых, геометрических и кинематических параметров процесса резания этими рабочими органами.

*Ключевые слова:* периферийный рабочий орган, торцевой рабочий орган первого и второго типов, технология работы, средняя глубина резания, сила резания.

## PERFORMANCE FEATURES OF END AND CIRCUMFERENTIAL HIGH-SPEED WORK TOOLS

**A. Teteryatnik, teaching assistant,  
Kyiv National University of Construction and Architecture**

*Abstract.* Dependences to determine power parameters for circumferential and end work tools of Types I and II have been considered. The impact of high-speed circumferential and end work tools on determining the cutting power, geometric and kinematic parameters for these tools have been analyzed.

*Key words:* circumferential work tool, Types I and II end work tools, work techniques, average cutting depth, cutting force.

**Вступ**

Високошвидкісні робочі органи дуже широко застосовуються в сучасному будівництві

при руйнуванні міцних матеріалів та ґрунтів тощо. При розрахунках силових та енергетичних параметрів динамічних робочих органів враховуються зміна характеру взаємодії різального елемента із середовищем, виникнення і розповсюдження у глибину ґрунту напружень від дії на межу масиву різального елемента, що призводить до виникнення у ґрунтовому масиві напружено-деформованого стану, який має коливально-хвильовий характер.

При цьому на характер напружено-деформованого стану впливають стан робочого середовища та швидкість різання (руйнування) ґрунтового масиву.

Невирішеною проблемою в динамічному руйнуванні ґрунтів є врахування кінематичних особливостей та технології проведення робіт високошвидкісними периферійними та торцевими робочими органами. Конструктивні параметри цих робочих органів повинні враховувати не тільки динамічні параметри процесу руйнування, а й явища накопичення втомлювальних деформацій в робочому середовищі.

### Аналіз публікацій

В роботах [1–3] започатковано розв'язання проблеми взаємозв'язку між геометричними, кінематичними та силовими параметрами робочих органів ґрунторозробних машин за умов швидкісного (динамічного) робочого процесу руйнування робочих середовищ.

Напружено-деформований стан середовища в зоні різання носить коливально-хвильовий характер, подібний до того, який формується при ударно-вібраційному руйнуванні ґрунтів, що є найбільш ефективним динамічним процесом руйнування робочих середовищ. Такий напружено-деформований стан створює умови для накопичення в матеріалі втомлювальних деформацій, тому межа міцності робочого середовища значно знижується.

Для ефективного низькоенергоємного руйнування матеріалів конструктивні параметри робочих органів мають визначатися із системного аналізу їх робочих процесів та відповідати умовам втомлювального руйнування матеріалу.

Крім того, при руйнуванні ґрунт піддається розпушуванню й ущільненню. Цей факт враховується коефіцієнтом сипкості, який визначає умови екскавації ґрунту із забою.

### Мета і постановка задачі

Мета роботи – встановлення закономірностей формування робочого процесу динамічного руйнування ґрунтів із урахуванням кінематичних особливостей роботи периферійних і торцевих робочих органів.

Задачею дослідження є визначення силових і енергетичних параметрів процесу динамічного руйнування ґрунтів та кінематичних і геометричних параметрів периферійних і торцевих робочих органів динамічної дії.

### Розгляд робочого процесу

Під час робочого процесу різальні елементи робочого органа рухаються відносно робочого середовища зі швидкістю  $V$ , що зумовлює перебування робочого середовища у складному напружено-деформованому стані. Вважаючи, що швидкість руху різального елемента є сталою силою, дотична середня сила, що діє на різальний елемент без урахування умов вібрації ґрунту, визначається за формулою

$$P_c = \frac{Uk_d S}{2Vk_a}, \quad (1)$$

де  $U$  – швидкість розповсюдження хвиль деформацій в робочому середовищі;  $k_d$  – питомий опір робочого середовища динамічному руйнуванню;  $S$  – площа контакту різального елемента з робочим середовищем;  $V$  – швидкість взаємодії різальних елементів з робочим середовищем (швидкість різання);  $k_a$  – коефіцієнт, що враховує кут різання.

Швидкість розповсюдження хвиль деформацій в робочому середовищі знаходимо з виразу

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

де  $E$  – динамічний модуль пружності робочого середовища;  $\rho$  – щільність робочого середовища;  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона.

Питомий опір робочого середовища динамічному руйнуванню визначається таким чином

$$k_d = \rho V^2 + \sigma \varepsilon, \quad (3)$$

де  $\sigma$  – динамічна межа міцності робочого середовища динамічному руйнуванню;  $\varepsilon$  – гранична динамічна відносна деформація.

При цьому геометричні параметри робочого процесу (такі як глибина різання та площа контакту різальних елементів з робочим середовищем) визначаються по-різному, залежно від технології роботи робочого органа. Виходячи з цього можна виділити два основних види робочих органів: периферійний (рис. 1) і торцевий (рис. 2, 3). Торцеві робочі органи, у свою чергу, поділяються на торцевий робочий орган першого типу (рис. 2) і торцевий робочий орган другого типу (рис. 3).

До периферійних робочих органів відносяться робочі органи, у яких твірна робочої поверхні робочого середовища є паралельною осі обертання робочого органа (наприклад, дискові фрези, дискові пили). У торцевих робочих органів твірна робочої поверхні робочого середовища є перпендикулярною до осі обертання робочого органа. При цьому у торцевого робочого органа першого типу швидкість подачі є перпендикулярною до осі обертання робочого органа (наприклад, конусна фреза), а у торцевого робочого органа другого типу вона є паралельною цій осі (наприклад, колонкові бури). Треба відзначити, що формування геометричних і кінематичних параметрів розробки робочого середовища у периферійних робочих органів і торцевих робочих органів першого типу є ідентичним.

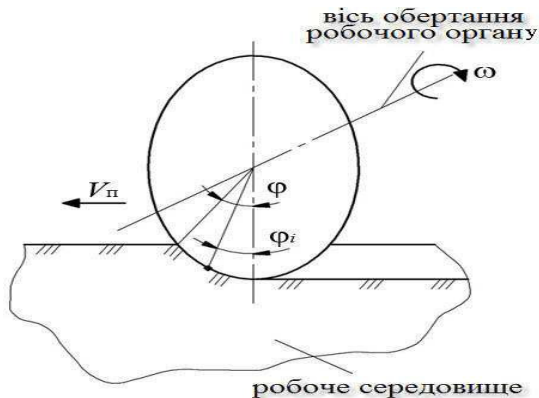


Рис. 1. Схема роботи периферійного робочого органа

Площа контакту різального елемента з робочим середовищем у загальному випадку розраховується за формулою

$$S = bh, \quad (4)$$

де  $b$  – ширина різального елемента;  $h$  – глибина різання.



Рис. 2. Схема роботи торцевого робочого органа першого типу

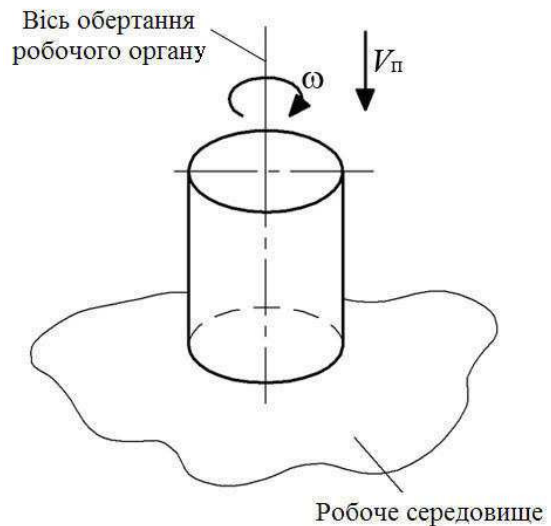


Рис. 3. Схема роботи торцевого робочого органа другого типу

Для кожного з трьох типів робочих органів, що розглядаються, параметр  $S$  буде відрізнятися завдяки наявності у виразі множника  $h$ , який враховує відмінності в роботі кожного із представлених типів робочих органів. При цьому слід зазначити, що для периферійних робочих органів і торцевих робочих

органів другого типу застосовується параметр  $b$  як ширина різальних елементів, в той час як для торцевих робочих органів першого типу параметр  $b$  визначає товщину матеріалу, що знімається за один прохід робочого органа по робочому середовищу.

Розрахунок глибини різання  $h$  саме враховує відмінності у технології роботи робочого органа  $i$ , відповідно, дозволяє більш точно розрахувати його силові параметри.

При русі різального елемента за прямолінійною траєкторією глибина різання  $h$  буде сталою величиною.

Для периферійних робочих органів  $i$  торцевих робочих органів першого типу глибина різання є змінною і для  $i$ -го різального елемента буде дорівнювати

$$h = \frac{\phi V_n \sin \phi_i}{\omega}, \quad (5)$$

де  $\phi$  – кут контакту робочого органа з робочим середовищем;  $V_n$  – швидкість подачі робочого органа на робоче середовище;  $\omega$  – кутова швидкість обертання робочого органа;  $\phi_i$  – кут контакту робочого органа з робочим середовищем, що вимірюється від входу робочого органа в забій і до  $i$ -го різального елемента.

Для торцевих робочих органів другого типу

$$h = \frac{2\pi V_n \cos(\arctg \frac{V_n}{\omega R_i})}{\omega z}, \quad (6)$$

де  $R_i$  – радіус, що вимірюється від осі обертання до середини різальної кромки  $i$ -го різального елемента;  $z$  – кількість різальних елементів у лінії різання (лінію різання складають елементи, що мають однаковий параметр  $R_i$ ).

Але, розглядаючи отримані вирази для визначення глибини різання  $h$ , можна побачити, що вони дозволяють знаходити цей параметр для конкретного положення різального елемента в забой (для периферійних та торцевих робочих органів першого типу). Для інженерних розрахунків необхідно ввести параметр середньої глибини різання  $h_{\text{сеп}}$ , який

можливо використовувати для знаходження силових параметрів робочих органів.

Враховуючи особливості технології проведення робіт периферійних та торцевих першого типу робочих органів [1, 3], середня глибина різання для них визначатиметься з виразу

$$h_{\text{сеп}} = \frac{V_n(1 - \cos \phi)}{\omega}. \quad (7)$$

Крім того, якщо подивитись на схему роботи торцевого робочого органа першого типу (рис. 2), то можна побачити, що кут контакту робочого органа з робочим середовищем  $\phi$  буде дорівнювати  $\pi$ , тобто середню глибину різання можна визначити за формулою

$$h_{\text{сеп}} = \frac{V_n(1 - \cos \pi)}{\omega} = \frac{2V_n}{\omega}. \quad (8)$$

Для торцевих робочих органів другого типу спочатку необхідно визначити середній радіус різання

$$R_{\text{сеп}} = \frac{R_{\text{max}} + R_{\text{min}}}{2}, \quad (9)$$

де  $R_{\text{max}}$  – радіус, що вимірюється від осі обертання до середини різальної кромки різального елемента, розташованого в найбільш віддаленій лінії різання;  $R_{\text{min}}$  – радіус, що вимірюється від осі обертання до середини різальної кромки різального елемента, розташованого в найменш віддаленій лінії різання.

Тоді вираз для розрахунку середньої глибини різання для торцевих робочих органів другого типу буде записано так

$$h_{\text{сеп}} = \frac{2\pi V_n \cos(\arctg \frac{V_n}{\omega n_{\text{л.р}} R_{\text{сеп}}})}{\omega z}, \quad (10)$$

де  $n_{\text{л.р}}$  – кількість ліній різання на робочому органі.

Враховуючи залежності для визначення середньої глибини різання  $h_{\text{сеп}}$ , можна записати формули для розрахунку середньої площі контакту різальних елементів з робочим середовищем:

– для периферійних робочих органів маємо

$$S_{\text{сер}} = bh_{\text{сер}} = \frac{bV_{\text{п}}(1 - \cos\phi)}{\omega}; \quad (11)$$

– для торцевих робочих органів першого типу запишемо

$$S_{\text{сер}} = \frac{2bV_{\text{п}}}{\omega}; \quad (12)$$

– для торцевих робочих органів другого типу отримаємо

$$S_{\text{сер}} = \frac{2b\pi V_{\text{п}} \cos(\arctg \frac{V_{\text{п}}}{\omega n_{\text{л.р}} R_{\text{сер}}})}{\omega z}. \quad (13)$$

При формуванні елемента сколу сила, що діє на різальний елемент з боку середовища, зростає з мінімального значення до максимального в момент сколу. Середня дотична сила різання, врахувавши технологію роботи робочих органів, визначається за формулами:

– для периферійного робочого органа

$$P_{\text{сер}} = \frac{Uk_{\text{д}}bV_{\text{п}}(1 - \cos\phi)}{2\omega^2Vk_{\alpha}}; \quad (14)$$

– для торцевого робочого органа першого типу

$$P_{\text{сер}} = \frac{Uk_{\text{д}}bV_{\text{п}}}{\omega^2Vk_{\alpha}}; \quad (15)$$

– для торцевого робочого органа другого типу

$$P_{\text{сер}} = \frac{Uk_{\text{д}}b\pi V_{\text{п}} \cos(\arctg \frac{V_{\text{п}}}{\omega n_{\text{л.р}} R_{\text{сер}}})}{\omega^2Vk_{\alpha}}. \quad (16)$$

Отримані залежності для розрахунку середньої дотичної сили різання дозволяють перейти до визначення енергетичних параметрів (потужності різання та питомої продук-

тивності) периферійних і торцевих робочих органів.

### Висновки

Проаналізувавши отримані залежності, слід зазначити, що технологічні особливості роботи високошвидкісних робочих органів мають значний вплив на визначення сил різання ґрунтів, завдяки особливостям розрахунків глибини різання для периферійних та торцевих робочих органів. При проведенні інженерних розрахунків таких робочих органів слід використовувати середні значення глибини різання і площі контакту різального елемента з робочим середовищем.

Перспективною в подальших дослідженнях є оптимізація конструктивних параметрів розглянутих робочих органів для зниження енергоємності процесу руйнування ґрунтів.

### Література

1. Пелевін Л.Є. Робочі процеси землерийної техніки: навчальний посібник / Л.Є. Пелевін, А.В. Фомін, О.О. Костенюк, Г.І. Боковня. – К.: КНУБА, 2006. – 172 с.
2. Фомін А.В. Визначення параметрів ґрунторозробних робочих органів з урахуванням характеристик зруйнованого середовища і втомлювального руйнування / А.В. Фомін, О.О. Костенюк, О.А. Тетерятник та ін. // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини: Респ. межвід. науково-техн. зб. – К. – 2008. – Вип. 71. – С. 20–23.
3. Фомін А.В. Конструктивні характеристики високошвидкісних алмазних робочих органів конструкції КНУБА з урахуванням умов втомлюваного руйнування ґрунтів / А.В. Фомін, О.О. Костенюк, О.А. Тетерятник та ін. // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини: Респ. межвід. науково-техн. зб. – К. – 2009. – Вип. 74. – С. 69–73.

Рецензент: І.Г. Кириченко, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 1 червня 2012 р.