

## ДИНАМІЧНЕ РУЙНУВАННЯ ҐРУНТІВ З ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИМ РОЗПОДІЛЕННЯМ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ

*АНОТАЦІЯ.* Розглянуто закономірності формування робочого процесу динамічного руйнування ґрунтів з врахуванням розподілення потоків енергії у просторі і часі. Визначено залежності для розрахунку геометричних параметрів робочого органа зі складним рухом ударника.

*Ключові слова:* розподілення потоків енергії, робочий орган зі складним рухом ударника, руйнування зв'язних ґрунтів.

*АННОТАЦИЯ.* Рассмотрены закономерности формирования рабочего процесса динамического разрушения грунтов с учетом распределения потоков энергии в пространстве и времени. Определены зависимости для расчета геометрических параметров рабочего органа со сложным движением ударника.

*Ключевые слова:* распределение потоков энергии, рабочий орган со сложным движением ударника, разрушение связных грунтов.

*SUMMARY.* Regularities of formation of the working managing dynamic fracture of soil, taking into account the distribution of flows energii in space and time. The dependence for calculating the geometrical parameters of the working body with a complex movement impactor.

*Key words:* distribution of energy flows, the working body with a complex motion impactor, the destruction of cohesive soils

### Вступ

Активізація процесів руйнування ґрунтів є основним напрямком підвищення ефективності роботи ґрунторуйнівних технічних систем. Підвищення ефективності відбувається за рахунок зростання продуктивності при проведенні ґрунторуйнівних робіт, а також в створенні умов динамічного навантаження робочих середовищ, що призводить до значного зменшення енергоємності руйнування ґрунтів.

З врахуванням цього були розроблені конструкції динамічних робочих органів: дискового, кільцевого, роторного та конусної фрези. Разом з тим в конструкціях цих робочих органів та під час застосування їх в технологічних процесах використовуються принципи роботи, які збільшують позитивні ефекти динамічного руйнування ґрунтів. Наприклад в роторному робочому органі [1] використовується принцип поєднання в одному робочому органі функцій руйнування ґрунту і його транспортування.

В кільцевому робочому органі [2] використовується принцип вирізання елемента масиву без його повного руйнування.

Дисковий робочий орган [3] має можливість повороту у вертикальній площині на деякий кут до поверхні ґрунту. Це формує забій таким чином, що він знаходиться над робочою поверхнею ґрунторуйнівного диска, завдяки чому відбувається ослаблення ґрунтового масиву внаслідок дії сил тяжіння; при цьому ґрунт над робочим органом постійно знаходиться під дією хвиль напружень, що створюються внаслідок високої швидкості обертання диска, тому в масиві формуються втомлюючі деформації, які додатково знижують міцність ґрунту.

Конструкція конусної фрези [4] дозволяє поєднувати позитивні ефекти вищенаведених робочих органів в одному, що, відповідно, дозволяє зменшити енергоємність різання та збільшити питому продуктивність.

Дане дослідження пов'язане з важливими науковими і практичними завданнями таким чином, що подальше підвищення ефективності застосування високошвидкісних ґрунторозробних робочих органів є актуальним, дозволяючи знизити енергетичні та інші ресурсні затрати.

### Мета і постановка задачі

Як відомо підвищення ефективності робочих органів досягається, в основному, за рахунок збільшення динаміки процесу, тобто за допомогою підвищення швидкості взаємодії різального елемента з масивом ґрунту [5].

Крім того інтенсифікація високошвидкісних робочих органів може відбуватися шляхом застосування в роботі ґрунторуйнівного обладнання різних способів навантаження робочого середовища, а саме: удари, вібрації та поєднання цих способів з високими швидкостями взаємодії ґрунторуйнівного елемента з масивом ґрунту. Найбільш ефективним способом інтенсифікації процесу руйнування ґрунту є поєднання вібрації і удару.

Невирішеною проблемою в динамічному руйнуванні ґрунтів є дослідження впливу розподілення потоків енергії на ефективність розробки середовищ.

Ціль роботи – встановлення закономірностей формування робочого процесу динамічного руйнування ґрунтів з врахуванням розподілення потоків енергії у просторі і часі.

Задачею даного дослідження є визначення силових і енергетичних параметрів динамічного руйнування зв'язних ґрунтів клиноподібними робочими органами з просторово-часовим розподіленням енергетичних потоків.

### Виклад основного матеріалу

У традиційних динамічних ґрунторуйнівних машин напрямок руху робочого органа може бути вертикальним, горизонтальним, прямолінійним, криволінійним, круговим (рис. 1) [6]. За такого руху механічна енергія від робочого органа передається на ґрунт під час руху руйнуючих елементів в напрямку до забою. Тобто напрямком потоку енергії співпадає з напрямком швидкості взаємодії руйнуючих елементів з ґрунтом. Формування у такий спосіб робочих процесів ґрунторуйнівних систем не враховує вплив доцільного розподілення енергетичних потоків при передачі енергії на ґрунт, яке дозволяє отримати мінімальну енергоємність розробки робочих середовищ.

Руйнування зв'язних ґрунтів динамічними (ударними) способами має ту особливість, що в ударі беруть участь не тільки ударна кромка руйнівного елемента, а і його бокові стінки. Таким чином значно зростає енергоємність руйнування ґрунтів за рахунок того, що на бокових гранях ударника непродуктивно витрачається енергія. Раціональному перерозподіленню потоків енергії відповідає спосіб динамічного руйнування ґрунтів зі складним рухом ударника.

Ударне зусилля  $P_{уд}$  (рис. 2), яке спрямоване по прямолінійній траєкторії 1, передається на клиноподібний робочий орган 2, який рухається відносно опори 3 і руйнує ґрунт, заглибившись на деяку глибину. В момент закінчення удару поворотний механізм обертає робочий орган 2 з опорою 3 по коловій траєкторії 4 від точки А спочатку в один бік, а потім в інший. При цьому бокові грані клиноподібного робочого органа зминають ґрунт в бокових стінках зони руйнування по обидва боки відносно прямолінійної траєкторії. Внаслідок того, що при русі робочого органа по коловій траєкторії відсутній ударний рух робочого органа 2 по прямолінійній траєкторії, зминання ґрунту відбувається за рахунок руху бокових стінок робочого органа практично перпендикулярно до бокових площин зони руйнування. Водночас відбувається прямокутне зминання ґрунту при відсутності тертя. Коли робочий орган зробить повне коливання і його хвостовик знову прийде в точку А, наноситься удар з зусиллям  $P_{уд}$  по прямолінійній траєкторії і завдяки тому, що робочий орган в значній мірі не контактує своїми боковими стінками з ґрунтом, значно зменшуються витрати енергії на косий ударний контакт з ґрунтом і тертя бокових граней об ґрунт.

Таким чином значно збільшується енергія удару, що реалізується на різальній кромці робочого органа без непродуктивних втрат. Центр колової траєкторії знаходиться на прямолінійній траєкторії, по якій відбувається удар. Положення його залежить від фізико-механічних характеристик ґрунту і режимів руйнування. В окремому

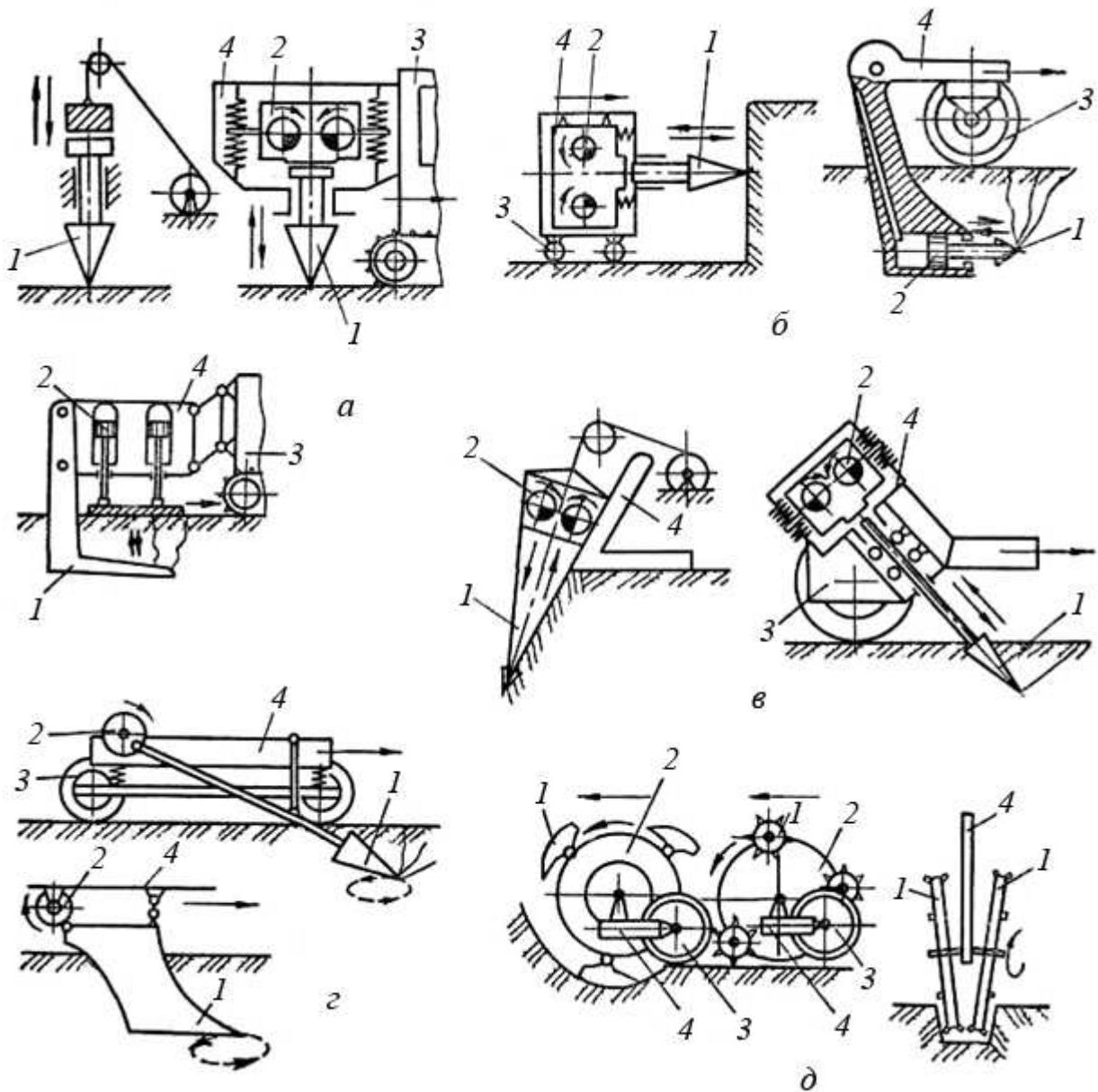


Рис. 1. Схеми напрямів руху динамічних робочих органів: *а* – вертикальні; *б* – горизонтальні; *в* – прямолінійні; *г* – криволінійні; *д* – кругові; 1 – робочий орган; 2 – привід робочого органа; 3 – базова машина; 4 – рама робочого органа

випадку центр колової траєкторії співпадає з точкою контакту різальної кромки робочого органа 2 з ґрунтом. В цей час зменшується тертя різальної кромки робочого органа об ґрунт. Для постійного контакту різальної кромки з ґрунтом використовується пружина, яка встановлена між рамою 5 і робочим органом 2.

Сила опору ґрунту ударному руйнуванню

$$P = \frac{uk_d S}{2V k'_\alpha}, \quad (1)$$

де  $u$  – швидкість розповсюдження хвиль деформації (напружень) в робочому середовищі;  $k_d$  – питомий опір робочого середовища динамічному руйнуванню;  $S$  – сумарна площа контакту різальних елементів, що знаходяться в заборі, з робочим середовищем;  $V$  – швидкість взаємодії різальних елементів з робочим середовищем;  $k'_\alpha$  – коефіцієнт, який враховує кут загострення робочого органа.

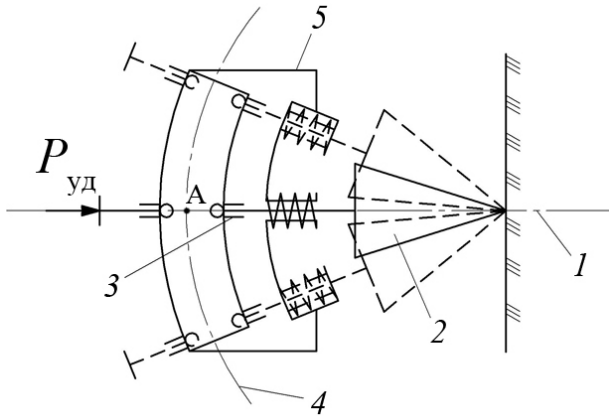


Рис. 2. Схема роботи ударного робочого органа

Складові залежності (1) визначаються за формулами:

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

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

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

де  $\varepsilon$  – гранична відносна динамічна деформація;  $\sigma$  – динамічна межа міцності матеріалу при руйнуванні (визначається для конкретних конструкцій робочих органів і умов робочого процесу);

Величина заглиблення робочого органа в ґрунт за один удар

$$\sigma = \frac{2E_{уд}k'_\alpha V}{Suk_d}, \quad (4)$$

де  $E_{уд}$  – енергія, що передається на ґрунт за один удар робочого органа.

За традиційного руху робочого органа площа його контакту з ґрунтом (рис. 3, б) визначиться з формули

$$S = 2 \cdot b \cdot C'B', \quad (5)$$

де  $b$  – ширина робочого органа;  $C'B'$  – довжина ребра робочого органа, яке безпосередньо контактує з ґрунтом.

При реалізації складного руху робочого органа (рис. 3, а) маємо:

– на початку удару

$$S = 2 \cdot b \cdot DE; \quad (6)$$

– в кінці удару

$$S_k = 2 \cdot b \cdot CE, \quad (7)$$

де  $DE$  і  $CE$  – довжини ребер робочого органа, які безпосередньо контактують з ґрунтом відповідно на початку і в кінці удару.

Кут загострення робочого органа за традиційного руху визначиться

$$\alpha' \approx \alpha + 2 \frac{a}{DA}, \quad (8)$$

де  $\alpha$  – кут загострення робочого органа за складного (структурованого) руху;  $D'A'$  – довжини ребер робочого органа;  $a$  – амплітуда коливального руху робочого органа.

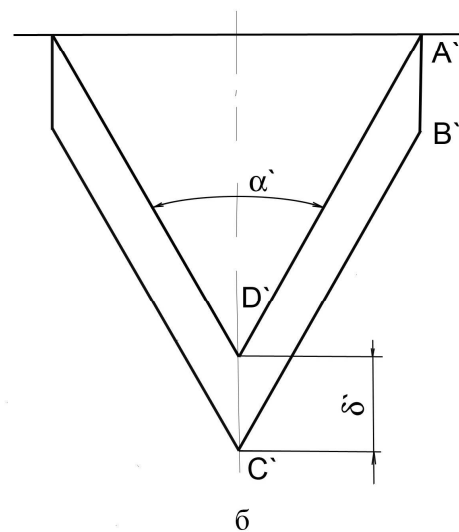
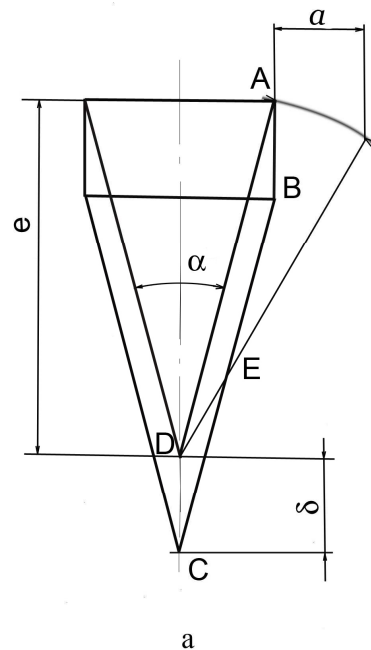


Рис. 3. – Схема ударного руху традиційного (б) і зі складним рухом (а) робочих органів

Аналізуючи процес ударного руйнування робочих середовищ традиційними робо-

чими органами і запропонованими робочими органами зі складним рухом (з перерозподіленням потоків енергії) однакової продуктивності можна відзначити, що під час удару площа контакту традиційного руйнующого елемента з робочим середовищем (рис. 3, б) значно більша за площу контакту розробленого робочого органа (рис. 3, а). До того ж кут загострення нового робочого органа менше за такий же параметр у традиційного. Всі ці параметри входять в чисельник формули для визначення сили удару, тому ударне зусилля у запропонованого робочого органа за однакової продуктивності значно менше, ніж у традиційного.

### Висновки:

Проаналізувавши отримані залежності слід зазначити, що в традиційних динамічних робочих органах відбувається втрата енергії хвиль деформацій (які виникають при одиночних сколах ґрунту) за рахунок їх нераціонального спрямування, що призводить до їх розповсюдження вглиб масиву та подальшого затухання.

Застосування способу динамічного руйнування ґрунтів зі складним рухом ударника дозволяє в процесі роботи зменшувати тертя різальної кромки робочого органа об ґрунт. До того ж зменшений кут загострення нового робочого органа відносно за такий же параметр у традиційного дозволяють знизити ударне зусилля робочого органа за однакової продуктивності з традиційним.

Задачею подальших досліджень є визначення питомих значень енергії динамічного руйнування (потужності і щільності) робочих середовищ в умовах просторово-часового розподілення енергетичних потоків.

### Література

1. А.С. №1362792 СССР, МКИ Е02F 5/08. Рабочий орган землеройной машины / Баладинский В.Л., Костенюк А.А., Пелевин Л.Е., Фомин А.В. – Оpubл. 30.12.1987. Бюл. № 48.
2. А.С. №1446246 СССР, МКИ Е02F 5/08. Рабочий орган землеройной машины / Пелевин Л.Е., Костенюк А.А., Рыбко А.В., Кудря С.Е., Фурто Г.С., Карпиловский Е.И. – Оpubл. 30.12.1989. Бюл. № 47.
3. А.С. №1798442 СССР, МКИ Е02F 5/08. Рабочий орган землеройной машины / Баладинский В.Л., Гаркавенко А.Н., Кравиуз С.В., Пелевин Л.Е., – Оpubл. 28.02.1993. Бюл. № 8.
4. Патент України № 44563А. Рабочий орган землеройной машины // Фомин А.В., Пелевин Л.Е., Костенюк О.О., Тетерятник О.А., Рашківський В.П. – Оpubл. 15.02.2002. Бюл. № 2.
5. Машины для специальных земляных работ. Учебное пособие / Ю.А. Ветров, В.Л. Баладинский, – К.: Вища школа, 1980, 192 с.
6. Патент України на винахід № 70851А. Спосіб динамічного руйнування ґрунтів // Фомин А.В., Костенюк О.О., Тетерятник О.А., Боковня Г.І. – Оpubл. 15.10.2004. Бюл. № 10.

Рецензент: О.М. Гаркавенко, к.т.н., доцент (КНУБА, Київ)

Отримано: 24.05.2011 р.