

УДК 631.313.02

ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛОВОЇ ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДИСКОВИХ ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ З ҐРУНТОМ

Борак К.В., к.т.н., Добранский С.С.
(Житомирський агротехнічний коледж)

Блезнюк О.В., к.т.н., доцент
(Харківський національний технічний університет сільського
господарства ім. П. Василенка)

Проаналізовано аналітичні залежності силової дії на внутрішню і зовнішню поверхні робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь. Отримано вираз для визначення сумарної силової дії на зовнішню поверхню робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь з урахуванням можливості ударної динамічної взаємодії з твердими частинками ґрунту.

Постановка проблеми. В структурі парку сільськогосподарських машин України дискові ґрунтообробні знаряддя займають близько 40% від загальної їх кількості [1]. Причому, якість їх роботи в значній мірі залежить від конструктивних параметрів дискових робочих органів та умов роботи. Як відомо, в процесі роботи номінальні розміри диска, в результаті спрацювання, зазнають змін, що значно впливає на якість виконання технологічного процесу [2]. Тому постає проблема у необхідності прогнозування інтенсивності зношування, що можливо лише при визначенні силової взаємодії робочих органів (РО) дискових ґрунтообробних знарядь (ДГЗ).

Аналіз попередніх досліджень. Аналітичні залежності силової дії на внутрішню і зовнішню поверхні диску визначені С.О. Сидоровим [3]. Дані залежності визначалися для сферичних гладких дисків та, за даними П.С. Нартова [4], перехідні коефіцієнти для визначення навантажень на вирізні сферичні диски суттєво не відрізняються для внутрішньої й зовнішньої поверхні РО і залежать від кута атаки. Тоді сумарне навантаження, що діє на внутрішню сторону диска, може бути визначене формулою [3]:

$$\begin{aligned}
 P_z = K_0 \times S_d \sin \alpha + P_F = (T_{\text{нб}} \times \dot{A}_1 \times \dot{A}_2 \times \dot{A}_3) \times \left(\arctg \frac{\sqrt{a \cdot (D-a)}}{(D/2-a)} \right) \times \frac{D^2}{4} - [a(D-a)] \times \left(\frac{D}{2-a} \right) \times \\
 \times \sin \alpha + \left(\frac{2S_a \gamma_{ia}}{g} \right) \sin \alpha \times v^2 \sin \left(\frac{\beta}{2} \right) \times (1 + 0,25 \sin \beta \times v) = (T_{\text{нб}} \times (0,04 + f \left(\frac{V}{D} \right) \times 0,9^{m_{\text{нб}} - m} \times \\
 \times [1,2 + 0,08 \cdot (m_{\text{нб}} - m) + 0,02(m_{\text{нб}} - m)^2] \times (1,15 - 3,0 \cdot 10^{-2} \dot{O} + 3,0 \cdot 10^{-4} \dot{O}^2) \times \left(\arctg \frac{\sqrt{a \cdot (D-a)}}{(D/2-a)} \right) \times \\
 \times \frac{D^2}{4} - [a(D-a)] \times \left(\frac{D}{2-a} \right) \times \sin \alpha + \left(\frac{2S_a \gamma_{ia}}{g} \right) \sin \alpha \times v^2 \sin \left(\frac{\beta}{2} \right) \times (1 + 0,25 \sin \beta \times v)
 \end{aligned}
 \quad , (1)$$

де K_0 – питомий опір;

- S_a – площа поперечного перерізу, зануреної в ґрунт частини диска, см²;
 P_F , – рівнодіюча та зрівноважена сила динамічного тиску та підпирання ґрунту;
 T_{cp} , T – середня та абсолютна твердість ґрунту на глибині обробітку кг/см²;
 A_1 – коефіцієнт пропорційності, що враховує відношення граничних нормальних напружень при стисненні з обмеженим боковим розширенням;
 A_2 – коефіцієнт пропорційності, що враховує вплив перекриття дисків;
 A_3 – коефіцієнт пропорційності, що враховує безпосередній вплив величини твердості ґрунту на питомий опір;
 D – зовнішній діаметр, см;
 a – глибина обробітку, см;
 β – кут кришіння, градус;
 f_a – величина вигину сфери диска на глибині “ a ”, см;
 $\gamma_{об}$ – об’ємна вага ґрунту, кг/м³;
 V – об’єм зануреної в ґрунт частини диску, см³;
 $0,004$ – коефіцієнт, см⁻²;
 f^1 – емпіричний коефіцієнт, який враховує сумісний вплив дії “затилку”;
 $K_{сзр}$ – коефіцієнт, що враховує збільшення тиску за рахунок вивантаження ґрунту при збільшенні швидкості обробітку;
 m – відстань між дисками, см.
 $m_{кр}$ – критична відстань між дисками при якій не виконуються вимоги агротехнічних вимог до обробітку ґрунту, см.
 Навантаження, що діє на зовнішній сторону диску, складається з двох складових і може бути визначено із залежності:

$$H_{\Sigma} = H_e + H_{\zeta} = k_e \times l_{\dot{a}\dot{o}} \times b_{\dot{a}\dot{o}} + \frac{1}{g} (b_{\dot{a}\dot{o}} \times l_{\dot{a}\dot{o}} \times v^2 \times c\hat{i} s^2 \alpha \times \gamma_{i\dot{a}}) +$$

$$+ k_e \times l_{\dot{e}\dot{o}} \times b_{\dot{a}\dot{o}} + \frac{1}{g} (b_{\dot{a}\dot{o}} \times l_{\dot{e}\dot{o}} v^2 \cos^2 \alpha \times \gamma_{i\dot{a}}) \quad (2)$$

- де H_n – опір деформації занурення леза;
 H_z – опір від дії затилкової фаски диска;
 k_n – коефіцієнт питомого опору поверхні леза дискового РО;
 $l_{\dot{a}\dot{o}}$ – ефективна довжина леза, см;
 b_{ef} – ефективна товщина леза, см;
 $l_{кр}$ – довжина дуги леза, що відповідає початку (кінцю) дії затилку загострювання диска, см.

Сили, що діють на внутрішню й зовнішню поверхню сферичного диска із зовнішнім загостренням, представлено на рис. 1 [3, 5].

Результати досліджень. Аналіз формули (2) свідчить, що в ній не враховано ймовірної можливості виникнення додаткових навантажень (ΔH) на крайці леза від динамічної взаємодії (удару) з твердими включеннями в ґрунті.

Отже, у процесі роботи РО ДГЗ неминуче виникнення співудару з абразивними частинками, а відповідно, можливе виникнення ударно-абразивного зношування.

Для запобігання обломлювання крайки леза необхідно брати до уваги цю ймовірність:

$$P(\Delta H) = m/W, \quad (3)$$

де m – кількість взаємодій із камінням при певному напрацюванні W , шт./га;
 W – напрацювання, га.

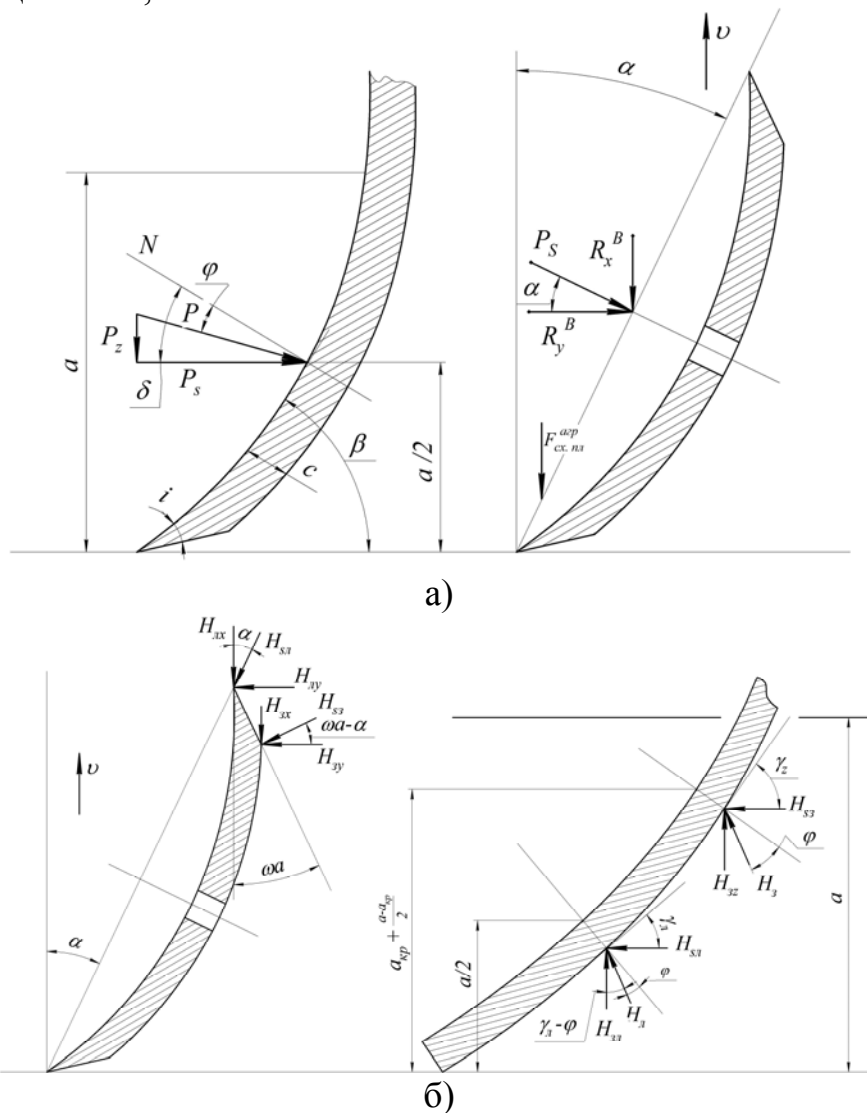


Рисунок 1 – Сили, що діють на внутрішню (а) й зовнішню (б) поверхню РО ДГЗ із зовнішнім загостренням

В свою чергу величина ΔH залежить від багатьох факторів:

$$\Delta H = \{m_1, m_2, v_a, k_a\}, \quad (4)$$

k_B – коефіцієнт відновлення, для пружних тіл $k_B = 1$, для пластичних $k_B = 0$;

m_1 – приведена маса РО;

m_2 – маса ґрунту, каміння та ін.;

v_a – швидкість співудару (у нашому випадку швидкість переміщення РО у ґрунті).

Для РО ДГЗ розподіл навантаження носить динамічний характер і змінюється за нелінійним законом від $P=0$ до P_{max} упродовж одного циклу обертання диска (рис. 2).

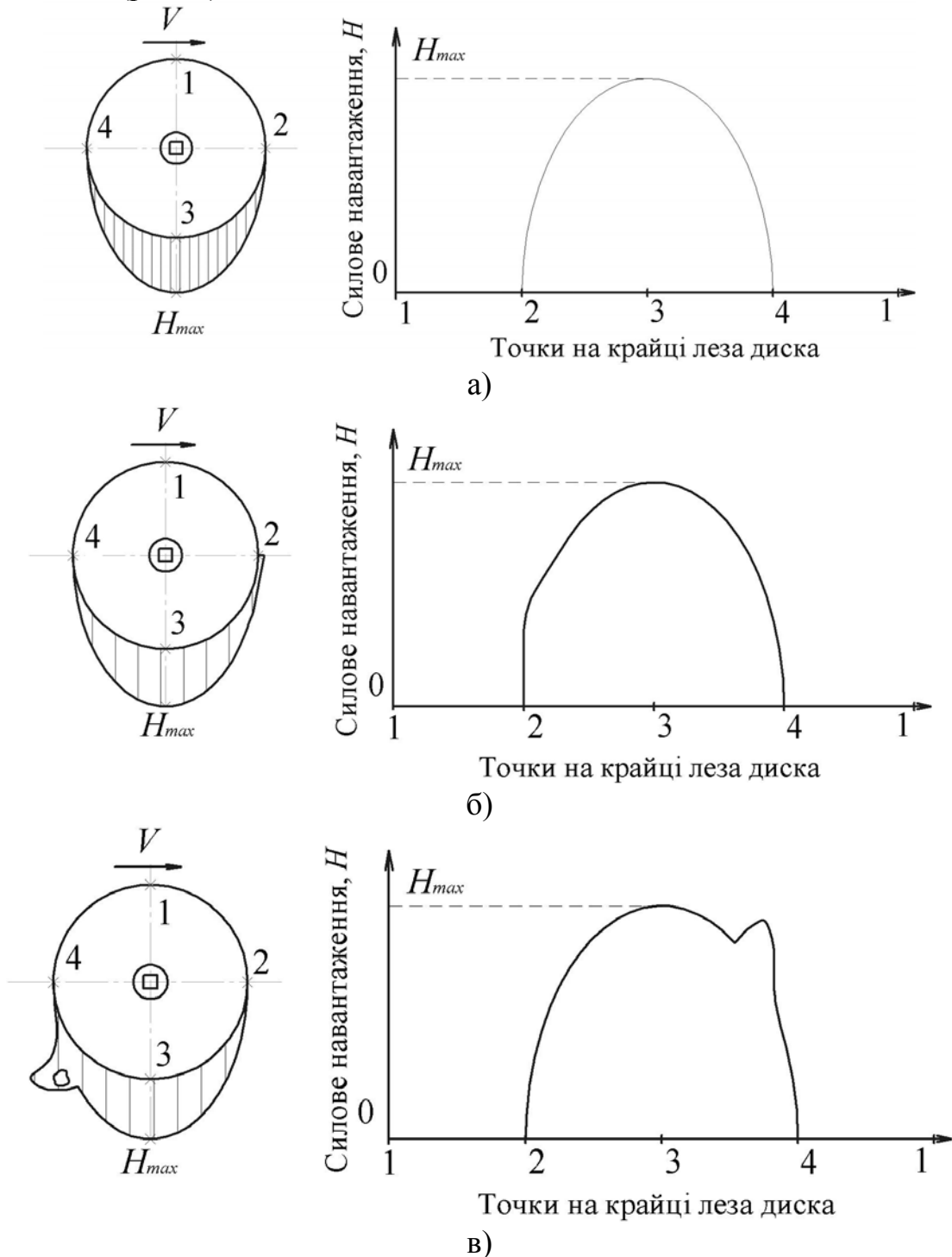


Рисунок 2 – Розподіл навантаження на країці леза упродовж одного циклу і закон зміни навантаження на країці леза упродовж одного циклу: а) – при взаємодії з розпушеним ґрунтом; б) – при взаємодії з твердим ґрунтом або при накопиченні рослинних решток попереду РО; в) – при взаємодії з камінням або іншими твердими включеннями

Розглянемо силову взаємодію РО з ґрунтом упродовж одного циклу обертання для різних ґрунтових умов.

Наведені аналітичні вирази (1-2) для визначення сумарної сили, що діють на зовнішню і внутрішню робочі поверхні РО, але як уже зазначалося, формула (2) не враховує ймовірної можливості виникнення додаткових навантажень (ΔH) на крайці леза від динамічної взаємодії (удару) з твердими включеннями в ґрунті.

В роботі [6] встановлено, що навіть при роботі на швидкостях 2...3 м/с взаємодію РО ґрунтообробних машин можна розглядати з позиції ударного процесу. Оскільки сучасні ДГЗ рухаються зі швидкістю до 5 м/с, то при роботі ДГЗ на такій робочій швидкості і динамічній дії на ґрунт процес зношування може змінюватися на ударно-абразивне та ударно-втомлювальне.

Силу удару від взаємодії РО з ґрунтом [7] можна визначити за формулою:

$$\Delta H t = (1 + k_A) \frac{m_1 \times m_2}{m_1 + m_2} \times v_a, \quad (5)$$

Якщо ймовірність виникнення ударного навантаження позначити $P(\Delta H)$, тоді на напівсегменті (0;1) спостерігається нормально розподілена випадкова величина Θ зі значеннями ймовірності ξ , а сумарну силову дію на зовнішню поверхню РО можна визначити залежністю:

$$H_{\text{н\ddot{o}i}} = \dot{I} + \Delta \dot{I} \times \frac{1 - \text{sign}(\xi - P(\Delta H))}{2} \times \text{sign}|\xi - P(\Delta H)|. \quad (6)$$

Зазначимо, що виникнення ударного навантаження $P(\Delta H)$ в основному залежить від кам'янистості ґрунтів та наявності інших твердих включень у ґрунті.

М.М. Северньов [7] встановив аналітичну залежність тиску на робочу (внутрішню) поверхню РО від кута установки диска та фізико-механічних властивостей ґрунту на глибині обробітку:

$$\delta = \tilde{n} \dot{a}^n, \quad (7)$$

де \tilde{c} – коефіцієнт, який залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту;

a – глибина обробітку;

n – показник степеню ($n=1,32$).

Разом з цим ця залежність не дозволяє визначити тиск на зовнішню поверхню РО.

Відповідно до роботи А.Ш. Рабиновича [8] гіпотетична еюра розподілу питомого тиску ґрунту на лезо РО ДГЗ із внутрішнім і зовнішнім загостренням має вигляд (рис. 3).

Як видно з рис. 3, концентратором питомого тиску ґрунту є крайка леза (ділянка II), що зумовлює найінтенсивніший знос цієї ділянки в процесі експлуатації. У разі затуплення РО ділянка II буде суттєво зростати, що буде призводити до зменшення глибини обробітку і погіршення якості виконання технологічної операції.

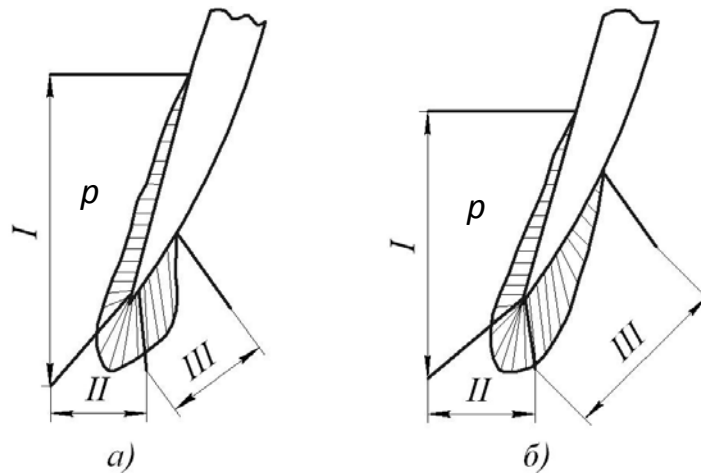


Рисунок 3 – Гіпотетичні епюри розподілу питомого тиску ґрунту на лезо РО ДГЗ: *а)* – з внутрішнім загостренням, *б)* – з зовнішнім загостренням. *I* – зона дії питомого тиску на внутрішню поверхню; *II* – зона дії питомого тиску на кромку леза; *III* – зона дії питомого тиску на зовнішню поверхню

Дані епюри необхідно експериментально підтвердити. Якщо врахувати, що всі інші умови, які впливають на інтенсивність зношування, будуть рівні, то розподіл тиску на робочі поверхні можна оцінювати за епюрами зношування, які можна визначити за методикою представленою в роботі [9]. У реальних умовах при цьому необхідно врахувати різницю в умовах зношування зовнішньої та внутрішньої поверхні РО, передусім це ступінь закріпленості абразиву.

Для визначення тиску на зовнішню поверхню РО необхідно експериментально визначити коефіцієнт $k_{зв}$. Формула для визначення тиску, що діє на зовнішню поверхню, має вигляд:

$$\delta_{ca} = k_{ca} \tilde{n} \dot{a}^n, \quad (8)$$

де $k_{зв}$ – коефіцієнт пропорційності.

Коефіцієнт $k_{зв}$ визначимо з експериментальних досліджень епюр зношування.

Залежності (7) і (8) достовірні тільки на ґрунтах, твердість яких менша 1 МПа [7].

Висновки. Отримано вираз для визначення сумарної силової дії на зовнішню поверхню РО ДГЗ з урахуванням можливості ударної динамічної взаємодії з твердими частинками ґрунту, що дає змогу врахувати такі навантаження для уникнення процесу обломлювання крайки леза РО.

Отримано рівняння для визначення тиску на зовнішню поверхню РО ДГЗ, що дозволить прогнозувати процес зношування даної поверхні та зміну її триботехнічних характеристик.

Список літератури

1. Дудак С.М. Дискові ґрунтообробні знаряддя: основні параметри та особливості [Текст] / С.М. Дудак // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2007. – Вип. 91. – С. 368-371.

2. Синеоков Г.П. Теория и расчёт почвообрабатывающих машин [Текст] / Г.П. Синеоков., И.М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 328с.
3. Сидоров С.А. Обоснование эффективных способов повышения работоспособности и износостойкости сферических дисков почвообрабатывающих машин: дис. канд. техн. наук. 05.20.04 / Сидоров Сергей Алексеевич. – М., 1996. - 320 с.
4. Нартов П.С. Дисковые почвообрабатывающие орудия [Текст] / П.С. Нартов. – Воронеж: ВГУ, 1972. – 184 с.
5. Сидоров С.А. Повышение долговечности и работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий, применяемых в сельском и лесном хозяйствах : дис. док. техн. наук: 05.20.01, 05.21.01 / Сидоров Сергей Алексеевич. – М., 2007. – 441 с
6. Тягово-приводные комбинированные почвообрабатывающие машины. Теория, расчет результаты испытаний [Текст] / В.И.Ветохин, И.М.Панов, В.А.Шмонин, В.А. Юзбашев. – К.: Феникс, 2009. – 294 с.
7. Севернев М.М. Износ деталей сельскохозяйственных машин [Текст] / М.М. Севернев. – Л.: Колос, 1972. – 288 с.
8. Рабинович А.Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворезущие детали машин / А.Ш. Рабинович. – М.: ГОСНИТИ, 1962. – 106 с.
9. Тененбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин [Текст] / М.М. Тененбаун. – М.: Машиностроение, 1966. – 332 с.

Аннотация

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДИСКОВЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРУДИЙ С ПОЧВОЙ

Борак К.В., Бобранский С.С. Блезнюк О.В.

Проанализированы аналитические зависимости силового воздействия на внутреннюю и внешнюю поверхности рабочих органов дисковых почвообрабатывающих орудий. Получено выражение для определения суммарного силового воздействия на внешнюю поверхность рабочих органов дисковых почвообрабатывающих орудий с учетом возможности ударного динамического взаимодействия с твердыми частицами почвы.

Abstract

STUDY OF POWER INTERACTION OF WORKING DISK TILLAGE TOLS FROM SOI

K.Borak, S.Dobranskyu, V.Bleznyuk

Analysis of analytical power of action depending on the internal and external surfaces of the working disk tillage tools. The expressions for the total power of action on the outer surface of the disk of tillage tools with the possibility of shock dynamic interaction with solid particles of the soil.