

РУЙНУВАННЯ ҐРУНТІВ ТА ГІРСЬКИХ ПОРІД ДЕФОРМАТОРОМ З КОНСОЛЬНОЮ РІЖУЧОЮ КРОМКОЮ

АНОТАЦІЯ. В статті розглянута реологічна модель процесу руйнування ґрунту деформатором з консольною ріжучою кромкою, розроблено математичний апарат, що описує цю модель. Отримано дані, які вказують на динамічність цього процесу. Показано результати досліджень руйнування ґрунту фізичною моделлю деформатора з консольною ріжучою кромкою, які підтверджують зменшення енергоємності процесу різання ґрунту.

Ключові слова: реологічна модель, деформатор з консольною ріжучою кромкою, статичне та динамічне різання.

АННОТАЦИЯ. В статье рассмотрена реологическая модель процесса разрушения ґрунта деформатором с консольной режущей кромкой, разработан математический аппарат, который описывает эту модель. Получены данные, которые указывают на динамичность такого процесса. Показаны результаты исследований разрушения ґрунта физической моделью деформатора с консольной режущей кромкой, которые подтверждают уменьшение энергоёмкости процесса резания ґрунта.

Ключевые слова: реологическая модель, деформатор с консольной режущей кромкой, статическое и динамическое резание.

ANNOTATION. In the article the reologichna model of process of destruction of grunta is considered deformatorem with cantilever cutting krotkoy, a mathematical vehicle which describes this model is developed. Information is got which specify on dynamic of such process. The results of researches of destruction of grunta are rotined physical mode'lyu deformatorem with cantilever cutting krotkoy which pidtverzhuyut' diminishing of the energoemnostiprocesu cutting of soil.

Keywords: reologichna model, deformatorem with cantilever cutting krotkoyu, statichne and dynamic.

Вступ

Теорія руйнування ґрунтів і порід (в подальшому ґрунтів) пройшла досить довгий шлях свого становлення, починаючи від Леонардо-да-Вінчі, який ще в XV столітті розробив принципову схему екскаватора-драглайна; академіка В.П. Горячкіна, що поділив силу опору ґрунту на три види: силу опору від тертя робочого органа (далі РО) по дну прорізі, силу опору деформуванню шару зрізаного ґрунту, силу опору відкиданню цього шару; Е. Динглінгера і І. Ратьє, що сформували положення про критичну глибину різання і про утворення ущільненого ядра на РО; проф. М.Г. Домбровського, який розробив принцип копання ґрунтів; проф. А.М. Зеленіна, який зв'язав закономірності різання ґрунтів з параметрами плоского ущільнюючого пуансона (ударника); професорів М.М. Протод'яконова по різанню вугілля; М.І. Гальперіна по руйнуванню вапняків, І.О. Тер-Азарєва по різанню каменя; проф. Ю.А. Вєтрова по створенню плоскої моделі різання ґрунту та

проф. В.Л. Баладинського, який розглянув динаміку процесу руйнування ґрунту. Ці основні положення фізики руйнування ґрунтів доповнювалися у роботах різних вчених на протязі багатьох років, досягнуті значні успіхи в розробці методів розрахунку параметрів процесу руйнування і РО [1].

Всі ці роботи дозволяють перейти до наступного етапу створення теорії руйнування ґрунтів деформатором з консольною ріжучою кромкою (далі РКК) (рис.1), що має конструкцію: стійка 1 і встановлений на ній наконечник 2 за допомогою пальця 3. На нижній площині 4 наконечника 2 консольно закріплено елемент з пружного матеріалу, (на далі пластина 5, яка має незакріплену ділянку 6). Верхня грань 7 та задня грань 8 незакріпленої ділянки 6 утворюють ріжучу кромку 9. З передньою гранню 10 наконечника 2 верхня грань 7 утворюють лобову поверхню 11 робочого органа [2]. При цьому зберігаються не тільки габарити робочого органа, а таж сама глибина копання H , кут різання α , та задній кут γ . Ра-

ніше процес статичного руйнування ґрунту розглядався тільки в зоні контакту РО з ґрунтом, обумовленого глибиною входження h_3 РО в ґрунт [3]

$$P_{\text{заг}} = p_{\text{св}} F_{\text{св}} + p_{\text{бок}} F_{\text{бок}} + p_{\text{бок.ср}} F_{\text{бок.ср}} \cdot (1)$$

Розглядається практично один вид навантажень без урахування напруженої деформованої зони перед РО – постійно діюча, без будь яких коливань, сила, так зване силове різання. В той же час процес руйнуванню складається з безліч сколів, сила опору руйнування яких змінюються від нульової або близько до неї величини до максимальної, що відповідає границі міцності ґрунтів, яка залежить від умов навантажень і форми РО. Насправді, при використанні деформатора з лідируючою ріжучою кромкою, в деформованій зоні розповсюджуються тріщини і з'являються осередки зруйнованої частини масиву, які зумовлені коливанням виносної пластини з КРК, що виникають внаслідок згаданих вище сколів (рис. 1). Швидкість розповсюдження хвилі деформації в цій зоні не враховувалась.

Іншим параметром, що не приймався до уваги, є період руйнування T_p – час від початку навантаження до сколу ґрунту.

Актуальності способу додає широкий ряд РО землерийної техніки як будівельної, гірничої, меліоративної, так і сільськогосподарської і спеціальної, що працює за принципами статичного різання ґрунтів.

Метою даного дослідження є підвищення продуктивності з одночасним зменшенням енергоємності процесу різання ґрунтів ножами робочих органів землерийних машин, що базується на застосуванні імпульсу зміщення частинок ґрунту для попереднього розпушення, за рахунок динаміки пружних сил на консольній ріжучій кромці. При цьому зберігається не тільки габарити робочого органа а також можливість використання даної розробки в звичайних робочих органах серійного виготовлення [3].

Виклад основного матеріалу

Складаємо реологічну модель взаємодії незакріпленої ділянки пластини та КРК з ґрунтом (рис. 2).

Для ножа – модель Гука представляють у вигляді пружного елемента, який характеризує властивості пружності;

Ньютона – у вигляді поршня з достатньо тонкими отворами, що рухається в циліндрі, заповненому рідиною і представляє ідеально в'язке тіло;

Сен-Венана – у вигляді повзуна з сухим Кулоновим тертям, що характеризує ідеально пластичне, або жорстко пластичне середовище;

Для ґрунту - Гука, Ньютона [4].

Моделями деформованості елементарних об'ємів ножа та ґрунту, відповідають наступні реологічні рівняння [5]:

$$\sigma = E_H \left(\xi_H + \frac{\mu_H}{E_H} \dot{\xi}_H + \nu \text{Sign} \dot{\xi}_H \right); \quad (2)$$

$$\sigma = E_G (\xi_G + \frac{\mu_G}{E_G} \dot{\xi}_G), \quad (3)$$

де E_H , E_G - відповідно модуль деформації ножа і ґрунту; μ_H , μ_G - відповідно модуль зсуву для ножа, та коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту [6]; ν - коефіцієнт що показує, яку частку модуля деформації ножа складають контактні напруження, обумовлені постійним внутрішнім тертям у навісці ножа, Sign - функція Кронекера; ξ_H , ξ_G , $\dot{\xi}_H$, $\dot{\xi}_G$, відповідно відносній деформації і швидкості деформування ножа та ґрунту [7].

Виходячи із схеми, визначаємо зміни, що відбуваються з реологічними моделями під час різання ґрунту.

Якщо час t відрхувати від моменту, коли $\varphi = \varphi_1$, то $\varphi = \varphi_1 - \omega_3 t = \varphi_1 - \frac{v_n \sin \beta}{l_B}$,

тоді для будь якого t у межах контакту

$$\Delta \rho + \Delta l = \Delta R; \quad (4)$$

$$\frac{\Delta \rho}{dt} + \frac{\Delta l}{dt} = \frac{\Delta R}{dt}; \quad (5)$$

$$\xi_H \cdot E_H + \dot{\xi}_H \mu_H + \nu E_H \sin \xi_H = \xi_H E_H + \dot{\xi}_G \mu_G, \quad (6)$$

де $\Delta \rho$ - деформація незакріпленої ділянки пластини, Δl - деформація ґрунту.

$$R_0 \cos \varphi_1 = (h_1 + b_1) \cos(\varphi_1 - \omega_3 t). \quad (7)$$

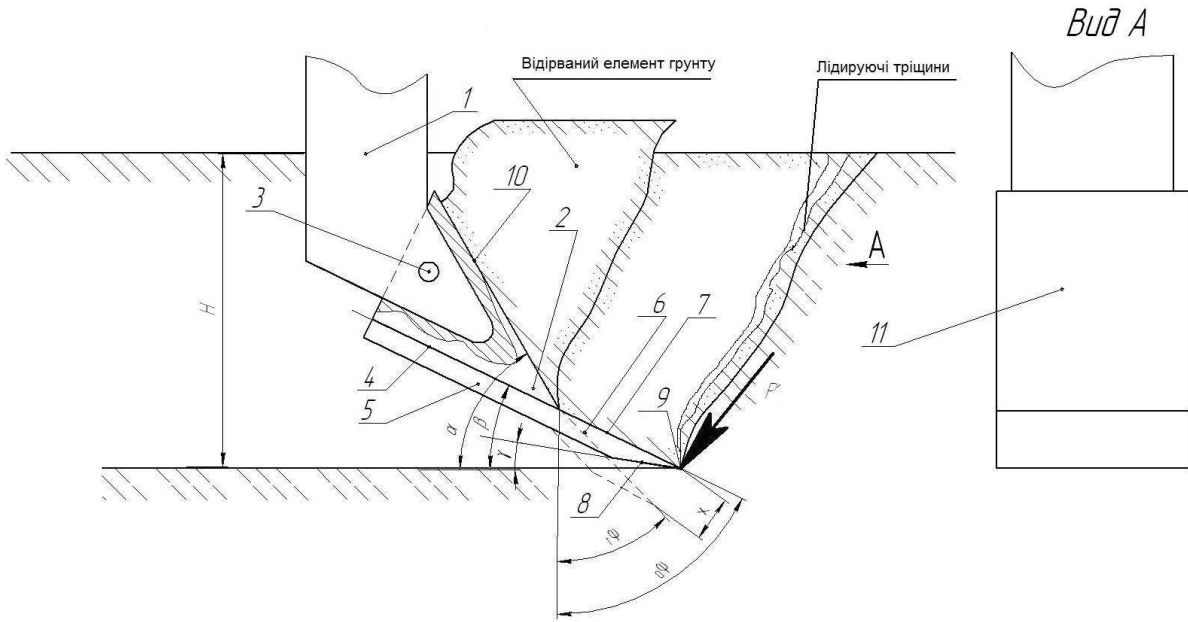


Рис. 1. Процес руйнування ґрунту деформатором з консольною ріжучою кромкою

Рівняння взаємозв'язку відносних деформацій (ξ_H, ξ_Γ) та їх швидкостей ($\dot{\xi}_H, \dot{\xi}_\Gamma$) отримаємо після почленного ділення виразів (4), (5) на добуток cl_0R_0 , де c - товщина незакріпленої ділянки пластини, а l_0, R_0 - початкові значення розмірів l і R , тобто

$$\xi_\Gamma = \frac{\Delta R - \xi_H c}{l_0}, \quad \dot{\xi}_\Gamma = \frac{(dR/dt) - \dot{\xi}_H c}{l_0}. \quad (8)$$

Визначаємо ΔR та dR/dt з рівняння (7)

$$\Delta R = R_0 \left[1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos(\varphi_1 - \omega_3 t)} \right], \quad (9)$$

$$\frac{dR}{dt} = \dot{R} = -\omega_3 R_0 \cos \varphi_1 \frac{\sin(\varphi_1 - \omega_3 t)}{\cos^2(\varphi_1 - \omega_3 t)}, \quad (10)$$

визначити швидкості деформації елементарного об'єму ґрунту можна з системи (3-6) з урахуванням

$$m = \frac{dl/dt}{d\rho/dt} = \frac{dl}{d\rho} \approx \frac{\Delta l}{\Delta \rho}. \quad (11)$$

Тому з урахуванням того, що

$$l_0 = \frac{h}{\cos \varphi_1}, \quad (12)$$

$$m = \frac{h}{c \cdot \cos \varphi_1} \cdot \left(\frac{E_H \cdot \Delta R + \mu_H \dot{R} + \nu E_H c}{E_\Gamma \Delta R + \mu_\Gamma \dot{R} - \nu E_H \frac{h}{\cos \varphi_1}} \right). \quad (13)$$

При розрахунку швидкості деформації ґрунту відповідно до теореми про середнє інтегральне значення [5] використаємо середнє значення ΔR і \dot{R} .

$$\Delta R = R_0 \left[1 - \frac{\cos \varphi_1}{2\varphi_1} \ln \frac{(1 + \sin \varphi_1)}{(1 - \sin \varphi_1)} \right]; \quad (14)$$

$$\dot{R} = \frac{\omega_3 R_0}{\varphi_1} (1 - \cos \varphi). \quad (15)$$

При цьому $\omega_3 = \frac{V_H \sin \beta}{l_0}$, $R_0 = 2l_0$, підставивши ці значення у вираз (15), отримаємо швидкість деформації незакріпленої ділянки пластини

$$\dot{R} = \frac{V_H \sin \beta R_0}{l_0} \varphi_1 (1 - \cos \varphi). \quad (16)$$

Оскільки прийнято, що $\beta = 45^\circ$ то $R_0 = 2 \cdot l_0$, $\cos \varphi \approx \cos \varphi_1$, то вираз прийме вигляд.

$$\dot{R} = V_H \sin \beta \varphi_1 (1 - \cos \varphi). \quad (17)$$

Спростивши його отримаємо

$$\dot{R} = 0.6 V_H. \quad (18)$$

Задавшись поточною координатою кута φ , з виразу (13) отримаємо

$$\Delta R = 0.006 l_B. \quad (19)$$

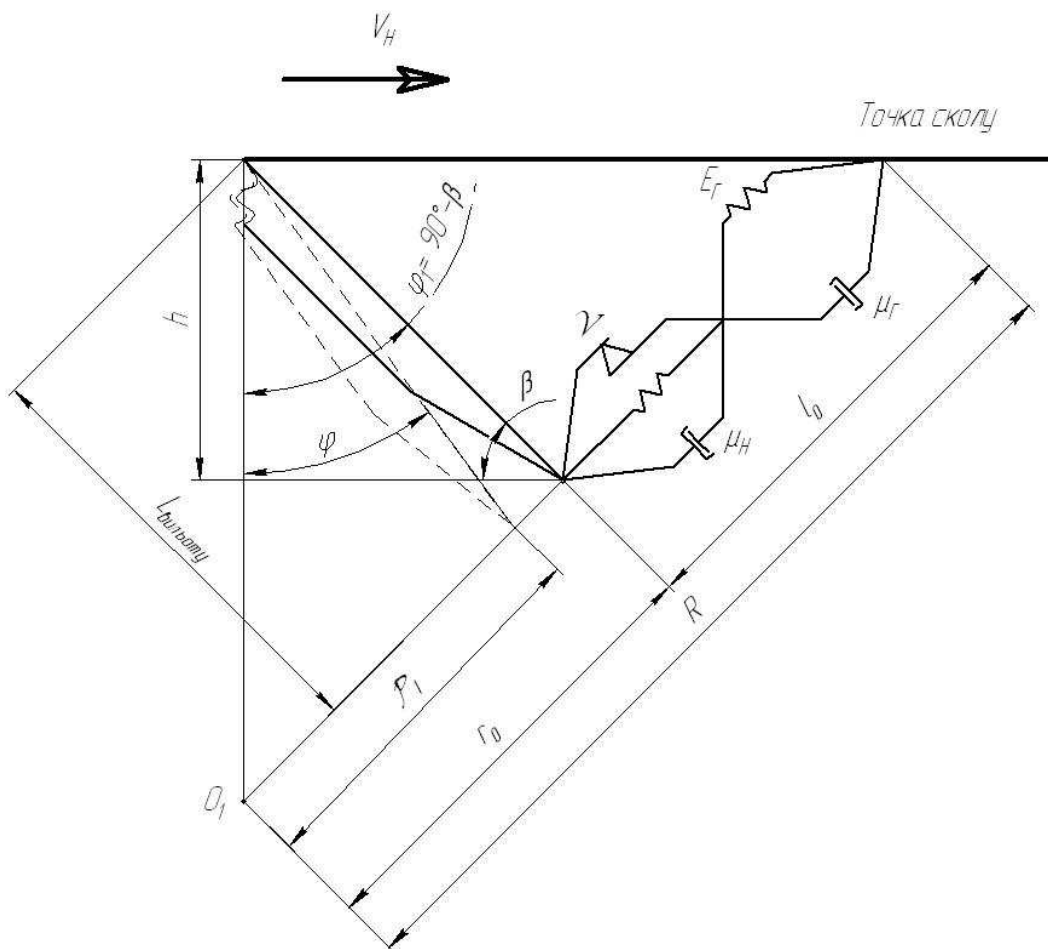


Рис. 2. Реологічна модель взаємодії незакріпленої ділянки пластини та КРК з ґрунтом

Знаючи табличні значення E_H , E_T , μ_H , μ_T , [6], [7], та задавши параметрами одиночного ножа: b – ширина ножа, c – товщина незакріпленої ділянки пластини ножа, з формули (13) визначаємо m із схеми на (рис 2) визначаємо переміщення КРК

$$\Delta\rho = \frac{\Delta R}{(1-m)}. \quad (20)$$

Визначаємо силу яка потрібна для такого переміщення P , [8]

$$P = \frac{\Delta\rho \cdot 10^{11} c^3 b}{2l_b}. \quad (21)$$

Знаючи силу P визначаємо потенційну енергію незакріпленої ділянки пластини [8]

$$U_{\text{п}} = \frac{1}{2} P \Delta\rho. \quad (22)$$

В момент зколу ґрунту сила P прямує до 0 внаслідок чого незакріплена ділянка пластини намагається зайняти початкове положення коли $\varphi = \varphi_1$, а потенційна енергія $U_{\text{п}}$, переходить в кінетичну енергію $U_{\text{к}}$ руху незакріпленої ділянки пластини.

$$U_{\text{п}} = U_{\text{к}} = \frac{Mv^2}{2}. \quad (23)$$

Звідки, знаючи масу відколеного елемента стружки M , визначаємо швидкість незакріпленої ділянки пластини,

$$v = \sqrt{\frac{2U_{\text{п}}}{M}}. \quad (24)$$

Наприклад:

Провівши розрахунки, для роботи з ґрунтом 6-ої категорії деформатором з параметрами: b – ширина 0,05 м, c – товщина пластини 0,01 м, l_b – величина вильоту 0,03м, H – глибина різання 0,2 м, використовуючи формули (18), (12), (19), (20), (21), (22), (23),(24) отримаємо швидкість пластини $v = 6-9$ м/с.

Таким чином різання біля КРК набуває властивості динамічного процесу, який базується на основі розповсюдження хвилі деформації в ґрунтах [9]

$$P_{\text{п}} = \frac{V k_{\text{д}} S_{\text{п}}}{v k_{\alpha}}. \quad (25)$$



Рис. 3. Осцилограми зміни дотичної сили опору ґрунту різанню

Це дозволяє при статичному різанні ґрунту отримати ефект динамічного розпушення, а наслідком цього є зменшення сили руйнування ґрунту

$$P'_{\text{заг}} = P_{\text{заг}} - P_{\text{п}}. \quad (26)$$

На стенді (КИСИ) [9], за допомогою реєструючої апаратури, проведені серії дослідів, з використанням деформатора шириною $b = 0,05$ м, товщиною пластини $c = 0,01$ м, величиною вильоту $l_b = 0,03$ м, при глибині різання $H = 0,2$ м., та отримані осцилограми зміни дотичної сили опору ґрунту різанню (рис 3). З осцилограми можна стверджувати, що середньо максимальна сила опору ґрунту різанню після першого зколу зменшується на 15-20%, оскільки в першому зколі консольна частина пластини накопичує потенційну енергію, а вподальшому виконує корисну роботу, що й підтверджує викладену вище теорію.

Висновок

При взаємодії КРК з міцним ґрунтом, сила опору ґрунту різанню P діє на незакріплену ділянку і відгинає її на кут φ_1 , внаслідок чого вона пружно деформується і накопичує в собі потенційну енергію. При подальшому впровадженні робочого органа в ґрунт відбувається зминання ґрунту незакріпленою ділянкою та передньою гранню тобто лобовою поверхнею, внаслідок чого відбувається відокремлення першого елемента ґрунту. Як відомо в цей момент сила

опору ґрунту різанню P прямує до 0 [6] внаслідок чого за рахунок сил пружності, незакріплена ділянка намагається зайняти початкове положення, коли $\varphi_1 = \varphi_0$, а потенційна енергія переходить в кінетичну енергію руху. Внаслідок чого незакріплена ділянка b з ріжучою кромкою, впроваджується в масив ґрунту, утворюючи в ньому лідируючі тріщини. Далі вже відірваний елемент ґрунту передньою гранню видаляється на денну поверхню забою, а незакріплена ділянка під дією сили опору ґрунту різанню P знову відгинається, накопичуючи потенційну енергію. Далі процес відбувається циклічно.

Література

1. Баладінський В.Л. // Розрахунок динамічних робочих органів – К.: КНУБА, 2004.60с.
2. Патент України №9931 Зуб для руйнування мерзлих ґрунтів // Пелевін Л.С., Пристайло М. О., Пристайло Т. Ю. – Опубл. 15.03.2006
3. Ю.А. Ветров // Резание ґрунтов землерийними машинами, М, “МАШИНОСТРОЕНИЕ”. 1971,
4. Рейнер М. // Реология: переклад з англ. М.:Наука, 1965.-220 с.
5. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих дорожно-строительных машин: Учебное пособие для студентов вузов. – М.:Высш. Школа, 1981, - 335 с.
6. Яворський Б.М., Детлоф А.А. // Справочник по физике М., 1968 г., 940 с.
7. Кошкин Н.И // Справочник по элементарной физике – М.:Наука, 1986.51с.
8. Писаренко М.С.// Сопротивление материалов. К.:Вища школа, 1986.-114 с.
9. Пристайло Ю.П. // Стенд для определения усилий резания ґрунтов. Авторское свидетельство №334494 “Бюллетень открытий и изобретений”1972 №12.

Рецензент: К.І. Почка, к.т.н., доцент (КНУБА, Київ)

Одержано: 07.04.2010 р.