Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 1, 171-175
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2019.01.171-175

УДК 624.132.3+624.042

ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПРИНЦИПІВ СТВОРЕННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНОЇ ГРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

І. М. Сівак, Ю. В. Човнюк, Ю. О. Гуменюк

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція авторів: sivakim@ukr.net.

Історія статті: отримано – січень 2018, акцептовано – травень 2019.
Бібл. 4, рис. 1, табл. 0.

Анотація. Обґрунтовані основні принципи створення високопродуктивної сільськогосподарської ґрунтообробної техніки. В основі роботи вказаної вище техніки лежать фізичні принципи взаємодії робочих органів машин з робочим середовищем – ґрунтом (сільськогосподарського призначення). Ці принципи відносяться також до сільськогосподарських машин, які переміщують, розробляють або обробляють такі робочі середовища.

Для розв'язку задачі руйнування ґрунтів сільськогосподарського призначення (ГСП) важливою є можливість вияву «потенціалу руйнування» конкретних елементів рельєфу водорозділів, ділянок схилів і т.д., у коректній і кількісній формі. Визначення «потенціалу руйнування» реалізується через аналітичний опис енергетичного стану елементарного об'єму ГСП із введенням реальних параметрів (об'єму, фізичних властивостей, границь руйнування й різного типу навантажень).

Реалізація запропонованих принципів ґрунтообробної сільськогосподарської техніки дозволить суттєво підвищувати її продуктивність , ККД, зменшити її масу і витрати пального. Ключові слова: обґрунтування, принципи, створення, ґрунтообробна техніка, сільське господарство, конструювання, потенціал руйнування.

Ключові слова: обґрунтування, принципи, створення, ґрунтообробна техніка, сільське господарство, конструювання, потенціал руйнування.

Постановка проблеми

У основі роботи ґрунтообробної сільськогосподарської техніки лежать фізичні принципи взаємодії робочих органів таких машин з робочим середовищем – ґрунтами сільськогосподарського призначення (ГСП). Ці принципи відносяться також і до гірничих, меліоративних, спеціальних інженерних і підводних машин, які переміщують, розробляють або обробляють робочі середовища (ГСП та інші ґрунти).

Принципи роботи ґрунтообробних сільськогосподарських машин не змінювались протягом останніх століть, тому їм властива низька продуктивність, низький ККД, значна маса, циклічність роботи, великі витрати пального тощо.

Все це приводить до значного зростання коштів, які виділяються з бюджету країни для обслуговування та експлуатації сільськогосподарської техніки й до значного її простою. Тому необхідно створити нові принципи роботи ґрунтообробної сільськогосподарської техніки, яка б мала високі значення питомої продуктивності (на 1 кВт встановленої потужності) при одночасному зменшенні маси машини.

Аналіз останніх досліджень

Основні принципи конструювання високопродуктивної землерийної техніки, яка інтенсивно використовується у сучасному будівництві, розглянуті у роботах [1-3]. Результати вказаних робіт будуть частково використані у даному дослідженні.

Мета досліджень

Мета роботи полягає у обґрунтуванні основних принципів створення високопродуктивної ґрунтообробної техніки сільськогосподарського призначення.

Результати досліджень

У Київському національному університеті будівництва і архітектури (колишній КІБІ) створені нові принципи роботи землерийної техніки, що дозволило створити зразки машин з питомою продуктивністю 18…20 м^3/год на 1 кВт встановленої потужності, в той час як у кращих зарубіжних машинах цей показник не перевищує 5. При цьому маса машини зменшується у 4…6 разів, а у деяких випадах на порядок.

Головним принципом сучасного конструювання машин слугує перехід землерізальної і обробної техніки на орієнтовані високі швидкості взаємодії робочого органу (РО) з ґрунтом

сільськогосподарського призначення (ГСП). Якщо розглянути експериментальні графіки залежності сили руйнування P ґрунту від тривалості руйнування t або від шляху заглиблення РО (δ) до сколу грунту з урахуванням швидкості взаємодії РО (v) з грунтом (1), то видно, що зі зростанням швидкості (v) зменшується тривалість руйнування t і збільшується сила P та довжина деформованої зони l.

Енергія руйнування E складається з незворотної енергії на розділення ґрунту (ГСП) на частини $E_р$ і зворотної енергії пружної деформації $E_п$:

$$E = E_п + E_р \quad (1)$$

Ця енергія необхідна для пересування РО, що характеризується швидкістю $v_п$, тривалістю стану ГСП (t), утворенням перед РО стиснутої деформованої зони довжиною l, фронт якої рухається з швидкістю U, зміною густини J ГСП у цій зоні, величинами напруження ґрунту при стиску і коефіцієнтом відносної поздовжньої деформації ε у стиснутій зоні. Зв'язок величини E із зазначеними параметрами має вигляд:

$$E = S \cdot l \cdot J \cdot v^2/_2 + S \cdot l \cdot \int_0^{\Sigma} f(\varepsilon_1)\, d\varepsilon_1 \quad (2)$$

Оскільки довжина деформованої зони:

$$l = (\,U - v\,) \cdot t, \quad (3)$$

тоді енергія руйнування після деяких перетворень (1) з урахуванням площі контакту S РО з ГСП і коефіцієнту впливу кута загострення клинового ріжучого елементу K_L (для плоского РО при a=180°, K_L=1):

$$E = \frac{S'(U-v)\cdot t\cdot(J\cdot v^2+\sigma\cdot\varepsilon)}{2K_\alpha} \quad (4)$$

Вираз $(J \cdot v^2 + \sigma \cdot \varepsilon) =$ $p_п$ представляє собою питомий опір ГСП руйнування, що залежить не тільки від показників ГСП, але й від швидкості v взаємодії з ГСП, що дозволяє визначити тривалість руйнування (сколу ГСП):

$$t = \frac{2\cdot E\cdot K_\alpha}{s\cdot(U-v)\cdot p_n} \quad (5)$$

І силу необхідну для руйнування:

$$P = \frac{(U-v)\cdot p_n\cdot S'}{2\cdot v\cdot k_\alpha} \quad (6)$$

Найбільший ефект руйнування досягається при орієнтованих високих швидкостях v взаємодії з оброблюваним ГСП за рахунок концентрації і одночасного прикладання сили у певних точках масиву, при цьому лінії дій сил повинні перетинатися на глибині руйнування. Точки орієнтовного прикладання сил визначаються довжиною ефективного плеча сколу (2) $l e ф = P/(\sigma \cdot b \cdot П)$,де b-ширина робочого органу (РО). Це плече дозволяє розробляти оптимальний об'єм ГСП при даних параметрах машин. Створення умов для орієнтованого навантаження при «силовому» швидкісному різанні ГСП досягається тільки за рахунок спеціальної орієнтації ріжучих елементів РО. На відміну від «силового» різання ГСП, орієнтовані високі швидкості взаємодії РО з ГСП легко створюється за рахунок імпульсного, ударного, частоударного, вібраційного, віброударного, вібро-хвильового навантаження, що при незначному заглибленні РО у ГСП дозволяє одержати значну регульовану глибину обробки грунту. Усі види швидкісного навантаження можуть бути створені не тільки за рахунок привода, а і за рахунок правильного розподілу ріжучих елементів на дискових, барабанних, чашечних і роторних РО сільськогосподарських машин, що швидко обертається.

У наведених вище виразах J,δ, ε є змінними величинами, які суттєво відрізняються від їх точкових початкових значень $J_о$, $\delta_о$, $\varepsilon_о$ (у незавантаженому стані) або від їх значень $J_{ст}$, $\delta_{ст}$, $\varepsilon_{ст}$ при «статичному» навантаженні, які застосовуються сьогодні у всіх розрахунках машин сільськогосподарського призначення. Зв'язок між статичними показниками та їх реальними (динамічними) величинами залежить від швидкості навантаження ГСП V, тривалості обробки одиниці об'єму грунту t і довжини деформованої зони l (2).

Вся землеобробна техніка сільськогосподарського призначення побудована на реалізації тягового (розпушувачі, плуги, культиватори тощо) або натискового (бурякові машини, грейдери, агрегати по обробці ГСП за наявності каміння тощо) зусиль: енергія обробки (і руйнування) ГСП передається від загального двигуна машини через ходове обладнання або від двигуна якогось агрегата машини (ротора, механізму подачі або натиску) на РО і діє на ГСП через ланцюг різних механізмів транспортуючих пристроїв (ковшів, відвалів, бункерів) у транспорт або відвал.

Витрати енергії у цих ланцюгах досягають до 90% (з РО з даним ковшом) і до 40…50% (у сільськогосподарських машин з кількома ковшами у РО). Якщо отримати розрахунковий ККД, наприклад, машин з РО у вигляді одного ковша, то він буде меншим, ніж у паровозів (котрі давно не використовуються!).

Звідси випливає принцип перерозподілу енергетичного потоку.

РО повинен мати свій двигун, а не одержувати енергію від головного двигуна машини з дуже низьким ККД, за рахунок системи різних передач і трансмісій. Це дозволяє створити не тільки високі імпульсні чи високоциклічні швидкості навантаження на ГСП, а і одержати новий ефект – втомлюючого накопичення деформацій у масиві грунту. Такі види навантажень призводять до створення попереду РО послаблених зон, а також і до використання найбільш продуктивного способу руйнування) обробки ГСП – відриву (у грунтах різниця між граничними величинами напружень на стиск і відрив досягає 2…3 МПа).

Таким чином, створення імпульсних (багатоциклічних) безперервних навантажень на ГСП реалізує принцип створення зруйнованих зон попереду РО, що дозволяє підвищити продуктивність розробки.

Важливим фактором зменшення енергоємності обробки ГСП слугує метод вирізання забою грунту, а не суцільного його руйнування/обробки. Цей принцип базується на зменшенні площі різання з подальшим обрушенням вирізувальної зони ГСП.

Якщо у більшості землеобробних машин ґрунт розробляється зубцями або суцільним профілем з подальшою подачею у ківш (або відвал), а далі транспортуються, то на нашу думку, слід у ґрунтообробних машинах сільськогосподарського призначення з'єднати ріжучі й транспортуючі елементи у одному РО.

Таким чином, найбільш важливий принцип створення новітньої сільськогосподарської техніки – це розробка руйнівно/обробних – транспортних РО, здатних одночасно руйнувати/обробляти ГСП і подавати розпушений ГСП у відвал (або транспортний засіб). Принцип поєднання у робочому процесі вирізування та обвалювання ГСП значно зменшує енергоємність машин, дозволяє набагато зменшити їх масу. Це відноситься не тільки для бурових, але й для машин горизонтальної дії або нахиленої під певним кутом (наприклад, збирачі коренеплодів тощо).

Аналізуючи роботу вітчизняної та зарубіжної землеобробної техніки сільськогосподарського призначення, можна побачити, що питома (на одиницю потужності двигуна) продуктивність таких машин досить низька й складає (на ґрунтах I-II категорії)(1,4…4) м^3/год.кВт. У той самий час, за нашими розрахунками, землеобробний механізований інструмент (на основі розробок Київського національного університету будівництва і архітектури) при потужності двигуна 4кВт, шасі 87 кг і діаметри ротора 0,4м має питому продуктивність на ґрунтах I-II категорії 19,8 м^3/год.кВт, а змінне навісне обладнання на трактор ДТ-75 з діаметром ротора 0,8м і потужністю 52кВт при шасі машини 5,8- 12,2 м^3/год.кВт.

Нижче подані деякі принципові схеми конструкцій машин, побудованих на зазначених принципах, що дозволило, на нашу думку, вийти (принаймні, теоретично) на найвищий у світі показник питомої продуктивності.

Навісне обладнання може мати масивний РО дискового типу, що дозволяє розробляти міцні і навіть мерзлі ГСП, розподіл ріжучих елементів на РО створює багатоциклічне швидкісне навантаження на грунт, а радіальні лопатки дозволяють одночасно транспортувати ГСП на направляючий щит з відсипкою у відвал.

Навісне обладнання у вигляді кільцевого бура з транспортуючою гвинтовою стрічкою не тільки одночасно здійснює різання і транспортування вирізаної кільцевої зони і реалізує багатоциклічне швидкісне навантаження за рахунок розподілу зубців на ріжучі поверхні, але має значно меншу енергоємність за рахунок вирізання стовба ГСП з подальшим його підрізанням на повну або часткову глибину скважини.

Зазначені принципи можуть бути використані і при створенні ріжучих елементів ґрунтообробної техніки, так, наприклад, зубці розпушувачів можуть не тільки концентрувати енергію на меншій зоні контакту (3), а зубці спеціальної конструкції можуть не тільки концентрувати зусилля натиску і формувати краще заповнення, наприклад, ковшів за рахунок направляючих гребенів, але й дозволяє регулювати й кускуватість обробленого ГСП.

Розглянемо далі спосіб аналітичного опису обробки/руйнування ГСП, використовуючи підходи роботи (4).

Однією із типових задач оцінки енергетичного стану фрагментів ГСП, окремих форм рельєфу і т.ін. з метою коректного визначення «потенціалу руйнування» обраного об'єкту (ГСП), обраний об'єкт для дослідження (елемент рельєфу ГСП, водорозділ і т.д.) можна відобразити у системі координат: L-довжина, H-висота, S-площа основи (проекція). Тоді у цьому «водорозділі» (рис.1) будь-який об'єкт (елементарна комірка), який має розмірність (об'єм) $dL_i \times dH_i \times dS_i$ у відповідності з наступними координатами L_i, H_i, S_i буде характеризуватись деякими значеннями внутрішньої енергії (аналог потенціальної енергії):

$$W_i = C_i \cdot \rho i \cdot L_i \cdot H_i \cdot P_i \quad (7)$$

де: C_i- питома масова енергія виділення об'єму; ρi – щільність ГСП, P_i - внутрішній тиск (енергія) чи потенціал виділеного об'єму. При цьому слід пам'ятати, що C_i й ρi є одночасно функціями координат L,H,S і часу. У результаті впливу на «елементарний об'єм» ГСП різноманітних процесів у часовій динаміці відбуваються деякі зміни цієї внутрішньої енергії.

$$dW_i = c_i \cdot \rho_i \cdot dL_i \cdot dH_i \cdot ds_i \cdot dP_i = \sum_{j=1}^{n} f_j \cdot b_j \cdot \cdot \left(e_j \cdot P_j - P_i\right) \quad (8)$$

де: P_j - потенціал j-го виду енергії поза водорозподілом, e_j- перехідний коефіцієнт до j-го потенціалу кількість енергії, яка надходить із зовнішнього по відношенню до водорозділу середовища за одиницю часу при одиничній різниці потенціалів. f_j- коефіцієнт енергообміну між виділеним об'ємом і середовищем поза водорозділом, тобто кількість будь-якої енергії, що надходить із зовнішнього середовища при одиничній різниці потенціалів; b_j-коефіцієнт проникності границі, під котрою розуміємо поверхню, яка виділяє досліджуваний об'єкт від інших середовищ, коефіцієнт f_j , b_j є функціями координат L_i, H_i, S_i й часу.

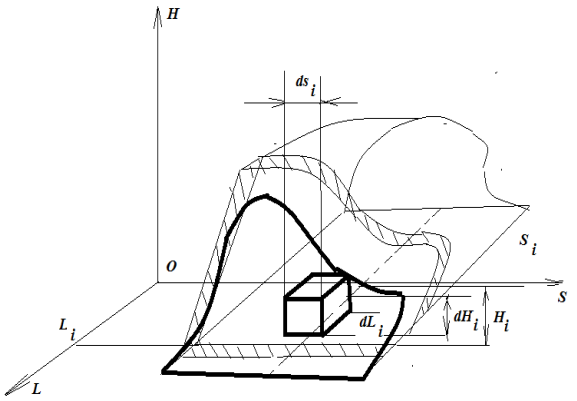

Рис. 1. Геометрія задачі.
Fig. 1. Geometry of the problem.

Якщо праву частину виразу (8) наповнити конкретним фізичним змістом: геометричними параметрами (об'єм у прийнятій системі координат), фізичними властивостями – міцністними й полями напружень, тоді з'являється реальна можливість аналітичного опису стану досліджуваного об'єму. Однак, існує енергетична границя цього об'єму, при перевищенні котрої відбувається руйнування об'єкту, т.з. критичний чи пороговий потенціал. Наприклад, для елементарного об'єму, який складений ГСП з доволі визначеними фізичними властивостями, існує

така конкретна характеристика як зчеплення складових його часточок (один з його можливих варіантів – механічна міцність). «Накачка» об'єкту, наприклад, механічною чи тепловою енергією у результаті при перевищенні «потенціалу руйнування» ГСП, утримують до руйнування об'єкту. При цьому можливі випадки подолання порогів миттєвого руйнування ГСП, більше характерного для геологічних процесів, котрі мають тривалість розвитку від тисяч до мільйонів років. Відповідно й процес руйнування ГСП матиме миттєвий або тривалий характер.

До числа миттєвих (швидкоплинних) процесів, які створюють механічні «наводки» на досліджувані об'єкти, можна віднести, наприклад, сейсмічні явища, а до тривалих – накладання чи зняття механічних навантажень на масиви ГСП такими екзогенними процесами як утворення, так і таяння снігових покровів. При розгляді варіанту з тепловою й механічною енергією вираз (8) можна перетворити, приводячи його до виду:

$$d\mathrm{P}_i = \frac{1}{C_i \cdot \rho_i \cdot dL_i \cdot dH_i \cdot dS_i} \cdot \left\{\left(\frac{\alpha_i \cdot T}{X_i} - \mathrm{P}_i\right) + R\right\} dt \qquad (9)$$

де: T – температура атмосфери; X_i – стискування, L_i-температурний коефіцієнт; R – механічне навантаження.

При цьому слід помітити, що T = T(t), тобто температура атмосфери є періодичною функцією часу, яка описується рядами Фур'є, R = R(t) – теж періодична функція часу, і, крім того, одночасно є функцією координат L_i, H_i, S_i (як, до речі й T(t)).

Рівняння (3) зручно привести до виду: $d\mathrm{P}_i = \frac{1}{C_i \cdot \rho_i \cdot dL_i \cdot dH_i \cdot dS_i}\left(\frac{\alpha}{X} \cdot T + R\right) dt - \frac{\mathrm{P}_i}{C_i \cdot \rho_i \cdot dL_i \cdot dH_i \cdot dS_i}\, dt$ (10)

Таким чином ми отримуємо нелінійне рівняння, котре можна розв'язати методом послідовних наближень. Породжуючим рівнянням для (10), буде:

$$d\mathrm{P}_i = \frac{1}{C_i \cdot \rho_i \cdot dL_i \cdot dH_i \cdot dS_i}\left(\frac{\alpha}{X} \cdot T + R\right) \cdot dt \qquad (11)$$

Вираз (11) є рівнянням з розділеними змінними й з тим чи іншим степенем точності може бути проінтегроване, це й буде розв'язок нульового наближення. Після його підстановки у другий член правої частини виразу (10) й інтегрування матимемо розв'язок першого й наближення й т.д., до моменту отримання стійкої закономірності. Після того, як виконані всі ці дії, формуються початкові умови і визначаються константи.

Умовою руйнування елементарного об'єму ГСП, який створює певну форму рельєфу з координатами L_i, H_i, S_i є $\mathrm{P}_i > \mathrm{P}_{i\,кр}$, тобто перевищення границі припустимих напружень (тиску). У свою чергу $\mathrm{P}_{i\,кр} = \mathrm{P}_{i\,кр}$ (L, H, S), тобто є функцією координат. З цього випливає, що таким способом можна описувати й прогнозувати стан полів напружень, порівнюючи їх з припустимими (критичними) напруженнями, й виявляти у масивах ГСП ділянки, схильні до втрати «несучої» здатності або вже ті, які руйнуються (егекала вітрової та водної ерозії).

Для переходу до практичного розв'язку повсякденних задач, зокрема, у межах оцінки степеня геоморфологічного ризику (руйнування ГСП) необхідно визначити, виходячи з реальної геологічної ситуації, значення параметрів: $C_i, \rho_i, R, f_i, b_i, T, \alpha_i, X$, котрі визначаються, у основному, фізичними властивостями й структурою досліджуваного ГСП. Розглянута задача є спробою аналітичного опису першого, обов'язкового стану перетворення ГСП при виведенні їх у зону фізичного вивітрювання. Наступним етапом (необхідним етапом) є аналогічний опис транспортування продуктів руйнування ГСП, і він складає предмет окремого дослідження.

Висновки

1. Обгрунтовані основні принципи створення високопродуктивної землеобробної техніки сільськогосподарського призначення.

2. Отримані у роботі результати дозволяють у подальшому створювати нові робочі органи ґрунтообробних машин з максимальними значеннями питомої продуктивності.

Список літератури

1. *Баладинский В. Л., Смирнов В. Н., Бородин И. Г.* Средства механизации земляных работ. Москва. Воениздат, 1985. 160с.

2. *Баладинский В. Л.* Механизация земляных работ. Киев. Укрвузполиграф, 1992. 180 с.

3. *Баладінський В. Л.* Принципи конструювання високопродуктивної землерийної техніки. Київ. КІБІ, 1993. Вип. 48. С. 3-9.

4. *Баландин В. А., Баландин О. А.* Физика литосферы: способ аналитического описания разрушения горных пород. Инженерная екология. 1997. № 1. С. 25-27.

References

1. *Baladinsky V. L., Smirnov V. N., Borodin I. G.* (1985). Means of mechanization of earthworks. Moscow: Military Publishing House. 160.

2. *Baladinsky V. L.* (1992). Mechanization of earthworks. Kyiv. Ukrvuzpolygraph, 1992. 180.

3. *Baladinsky V. L.* (1993). The principles of construction of highly productive earth-moving technology. Kyiv. KIBI. Vol. 48. 3-9.

4. *Balandin V. A., Balandin O. A. (1997).* Physics of the lithosphere: a method for the analytical description of rock destruction. Engineering Ecology. No 1. 25-27.

ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ТЕХНИКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

И. Н. Сивак, Ю. В. Човнюк, Ю. А. Гуменюк

Аннотация. Обоснованы основные принципы создания высокопроизводительной сельскохозяйственной почвообрабатывающей техники. В основе работы вышеуказанной техники лежат физические принципы взаимодействия рабочих

органов машин с рабочей средой - почвой (сельскохозяйственного назначения). Эти принципы относятся также к сельскохозяйственным машинам, которые перемещают, разрабатывают или обрабатывают такие рабочие среды.

Для решения задачи разрушения почв сельскохозяйственного назначения (ГСП) важна возможность проявления «потенциала разрушения» конкретных элементов рельефа водоразделов, участков склонов и т.д., в корректной и количественной форме. Определение «потенциала разрушения» реализуется через аналитическое описание энергетического состояния элементарного объема ГСП с введением реальных параметров (объема, физических свойств, границ разрушения и разного типа нагрузок).

Реализация предложенных принципов почвообрабатывающей сельскохозяйственной техники позволит существенно повышать ее производительность, КПД, уменьшить ее массу и расход топлива. Ключевые слова: обоснование, принципы, создания, почвообрабатывающая техника, сельское хозяйство, конструирование, потенциал разрушения.

Ключевые слова: обоснование, принципы, создания, почвообрабатывающая техника, сельское хозяйство, конструирование, потенциал разрушения.

SUBSTANTIATION OF BASIC PRINCIPLES OF CREATION OF HIGH-EFFICIENCY SOIL-PROCESSING TECHNOLOGY FOR AGRICULTURAL APPOINTMENT

I. M. Sivak, Yu. V. Chovnyuk, Yu. O. Gumenyuk

Abstract. The basic principles of creation of high-productivity agricultural tillage equipment are substantiated. The basis of the work of the above technique is the physical principles of the interaction of working bodies of machines with the working environment - the soil (agricultural purpose). These principles also apply to agricultural machines that move, develop, or process such working environments.

To solve the problem of destroying agricultural soils (GSP), it is important to demonstrate the "potential of destruction" of specific elements of the relief water bodies, slopes, etc., in the correct and quantitative form. Determination of the "potential of destruction" is realized through an analytical description of the energy state of the elemental volume of GSP with the introduction of real parameters (volume, physical properties, boundaries of destruction and different types of loads).

The implementation of the proposed principles of soil-based agricultural machinery will significantly increase its productivity, efficiency, reduce its mass and fuel consumption. Key words: rationale, principles, creation, soil technology, agriculture, design, destruction potential

Key words: grounding, principles, creation, soil engineering, agriculture, design, destruction potential.

І. М. Сівак ORCID 0000-0002-6297-587X.
Ю. В. Човнюк ORCID 0000-0003-1889-0876.
Ю. О. Гуменюк ORCID 0000-0001-8203-5749.