

УДК 631.3

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ВАРІАЦІЙНОГО ЧИСЛЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ВПЛИВУ ФОРМИ РОБОЧОГО ОРГАНУ ВІБРОПЛУГА НА ЙОГО ТЯГОВИЙ ОПІР ПІД ЧАС РУХУ В ҐРУНТІ

В. Ловейкін, д-р техн. наук, проф.,

Ю. Човнюк, канд. техн. наук, **Л. Дяченко**

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Наведений аналіз впливу форми робочого органу вібропуга на його тяговий опір при русі у оброблюваному ґрунті. Для оптимізації вказаного опору (мінімізації його величини) використані методи варіаційного числення та підхід І.І. Блехмана для встановлення ефективних (віброреологічних) характеристик (коефіцієнтів сухого тертя при вібрації) ґрунту, взаємодіючого з вібруючим робочим органом вібропуга.

Ключові слова: *вібропуг, варіаційне числення, тяговий опір, коефіцієнт сухого тертя.*

Постановка проблеми. Під час виконання технологічних процесів робочі органи ґрунтообробних машин (зокрема, вібропугів) знаходяться під певним впливом опору оброблюваного середовища / ґрунту.

Величина останнього залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту, геометричних форм робочих органів (вібропугів), швидкості їх руху та амплітудно-частотних характеристик прикладених (до вібропугів) полів різної фізичної природи (зокрема вібраційних).

Задля підвищення ефективності роботи вібропугів необхідно уточнити і вдосконалити існуючі для звичайних пугів методи інженерних розрахунків, а також оптимізувати форму робочих органів вібропугів (у сенсі мінімізації сили тягового опору).

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вплив форми робочих органів, які рухаються у оброблюваному ґрунті, на тяговий опір досліджений у роботі [2] методами варіаційного числення, запропонованими для оптимізації вказаної форми, котрі запропонував вперше автор [1]. Проте вплив вібраційних полів на тяговий опір вібропугів до сих пір досконально не вивчений, а тому не здійснена й оптимізація їх робочих органів, яка (разом з оптимізацією форми вібропуга) дозволяє суттєво підвищити ефективність такого різновиду ґрунтообробних машин. І.І. Блехман та ін. у роботах [3 – 5] обґрунтували методи аналізу впливу вібрацій на віброреологічні характеристики тіл / середовищ, які з ними взаємодіють. Результати цитованих робіт будуть використані у даному дослідженні.

Мета роботи полягає у обґрунтуванні методами варіаційного числення та Блехмана-Джанелідзе [3, 5] оптимальної форми робочого органу віброплуга та віброреологічних характеристик (амплітудно-частотних та коефіцієнтів сухого тертя) оброблюваного ґрунту, які мінімізують тяговий опір подібних ґрунтообробних машин.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Розглянемо вплив геометричних форм робочих органів віброплугів на опір ґрунту [2]. Виділимо на робочій поверхні симетричного робочого органу віброплуга, який рухається у ґрунті, (поверхня контакту з ґрунтом), елементарний майданчик/площу dF . Під час руху робочого органу віброплуга у середовищі/ґрунті на нього буде діяти нормальна до майданчика сила $q \cdot dF$ і дотична до майданчика сила $\tau \cdot dF$.

При проектуванні цих сил на осі координат матимемо:

$$\begin{cases} dX = \left[q \cdot \cos(\overset{\wedge}{q,x}) + \tau \cdot \cos(\overset{\wedge}{\tau,x}) \right] dF, \\ dY = \left[q \cdot \cos(\overset{\wedge}{q,y}) + \tau \cdot \cos(\overset{\wedge}{\tau,y}) \right] dF, \\ dZ = \left[q \cdot \cos(\overset{\wedge}{q,z}) + \tau \cdot \cos(\overset{\wedge}{\tau,z}) \right] dF. \end{cases} \quad (1)$$

Знайдемо суму (проінтегруємо) ці вирази (1) по всій робочій поверхні робочого органу віброплуга F , а тоді матимемо значення сил опору, які діють у напрямках осей координат X, Y, Z :

$$\begin{aligned} X &= \int_F \left[q \cdot \cos(\overset{\wedge}{q,x}) + \tau \cdot \cos(\overset{\wedge}{\tau,x}) \right] dF, \\ Y &= \int_F \left[q \cdot \cos(\overset{\wedge}{q,y}) + \tau \cdot \cos(\overset{\wedge}{\tau,y}) \right] dF, \\ Z &= \int_F \left[q \cdot \cos(\overset{\wedge}{q,z}) + \tau \cdot \cos(\overset{\wedge}{\tau,z}) \right] dF. \end{aligned} \quad (2)$$

Для того, щоб визначити значення цих сил, необхідно мати аналітичний вираз робочих поверхонь органів віброплугів й дані про характер розподілу нормальних та дотичних сил по цих поверхнях.

Для спрощення задачі розділимо напівпростір з робочим органом віброплуга, який у ньому переміщується, сімейством рівновіддалених один від одного паралельних денній поверхні площин і розглянемо опір кожного з вказаних елементів окремо. Якщо потім знайти суму опорів всіх елементів, тоді можна визначити опір всього робочого органу.

Нехай елемент робочого органу вібропруга (РОВ) висотою, котра дорівнює h , знаходиться під дією питомого тиску ґрунту, що дорівнює q . Тоді на елементарний майданчик dF поверхні елемента буде діяти сила $q \cdot dF$. Оскільки висота виділеного елемента поверхні дорівнює h , тоді можна записати: $q \cdot dF = q \cdot h \cdot dS$, де dS - диференціал дуги перерізу РОВ.

У напрямку дотичної до кривої поперечного перерізу РОВ на елемент, на його поверхні буде діяти сила тертя, що дорівнює: $dP_{\text{тертя}} = f \cdot q \cdot h \cdot dS$, де f - коефіцієнт тертя ґрунту по поверхні РОВ.

Сили, що діють на виділений елемент робочого органу, прикладені симетрично відносно осі OX (рис.1). На рисунку показані сили, діючі на елемент поверхні $h \cdot dS$ тільки з однієї сторони від осі симетрії OX .

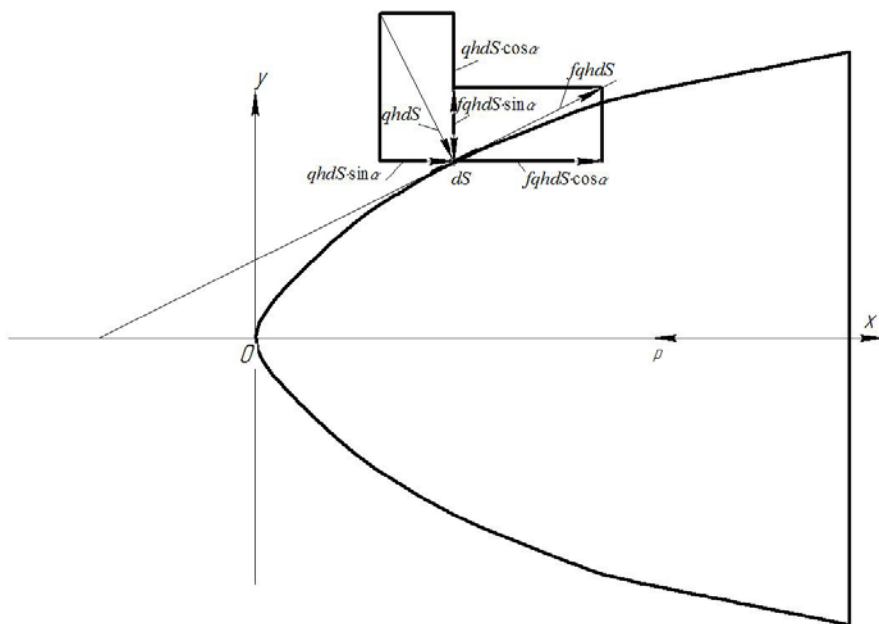


Рисунок 1 – Розрахункова схема сил, що діють на елемент РОВ

Приймаючи швидкість переміщення РОВ постійною, складемо рівняння статичного стану рівноваги елемента поверхні РОВ. При цьому матимемо:

$$\begin{cases} \sum x = -\sum dP + 2 \cdot \sum q \cdot h \cdot (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha) dS = 0, \\ \sum y = \sum q \cdot h \cdot (f \cdot \sin \alpha - \cos \alpha) dS - \sum q \cdot h \cdot (f \cdot \sin \alpha - \cos \alpha) dS = 0. \end{cases} \quad (3)$$

З першого рівняння системи (3) визначимо:

$$P = 2h \cdot \int_{S_1}^{S_2} q \cdot h \cdot (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha) dS, \quad (4)$$

де α – кут нахилу дотичної до кривої перерізу РОВ до вісі OX , P – опір елемента РОВ товщиною h . Оскільки $\cos \alpha = \frac{dx}{dS}$, $\sin \alpha = \frac{dy}{dS}$, тоді рівняння

(4) можна подати таким чином:

$$P = 2h \cdot \int_{X_1}^{X_2} q \cdot (f + y'_x) dx. \quad (5)$$

Для розглядуваного випадку межі інтегрування будуть такими: $X_1 = 0$, $X_2 = x$.

Якщо глибина ходу РОВ у ґрунті незначна, тоді формулу (5) можна використати для обчислення його опору.

У цьому випадку під h слід розуміти глибину ходу РОВ у ґрунтовому середовищі, а під P опір реактивних сил ґрунту, що діють на робочу поверхню у напрямку осі OX .

Отже, величина тягового опору РОВ P залежить від виду функції q , обумовленої властивостями середовища, геометричної форми робочого органу й від коефіцієнта тертя ґрунту з поверхнею РОВ.

А. Якщо припустити, що коефіцієнт тертя середовища з поверхнею РОВ для даних умов – величина постійна, тоді значення тягового опору при постійній швидкості руху органу буде залежати від двох факторів: фізико-механічних властивостей середовища і геометричної форми РОВ.

Щоб визначити силу P , необхідно знайти функцію q і значення похідної y'_x .

Вперше на можливість застосування цього методу обчислення опору РОВ (та інших землеобробних машин) вказав П.М. Василенко [1].

У відповідності із законами механіки суцільних середовищ питомий опір ґрунту буде, очевидно, залежати від величини напружень, котрі створюються у ґрунті під впливом РОВ. Але напруження є зазвичай функцією величини деформації. Тому можна написати:

$$q \cdot \sin \alpha = f(y) \quad (6)$$

Рівняння (5) із врахуванням умови (6) набуде такого вигляду:

$$P = 2h \cdot \int_0^x f(y) \cdot \frac{\sqrt{1 + (y'_x)^2}}{y'_x} \cdot (f + y'_x) dx. \quad (7)$$

Необхідно з'ясувати, чи можливо підібрати таку форму поверхні РОВ, за якої він мав би під час руху у ґрунті мінімальний тяговий опір.

З формули (7) видно, що кожному виду функції $y = f(x)$ (рівняння кривої, яка окреслює форму поперечного перерізу РОВ) буде відповідати своя величина опору P (тяговий опір РОВ).

Для розв'язку поставленої задачі можна використати принципи варіаційного числення.

У відповідності з цими принципами для умови експерименту підінтегральна функція виразу (7) повинна задовольняти рівнянню Ейлера.

$$\frac{\partial^2 F}{\partial (y'_x)^2} \cdot y''_{xx} + \frac{\partial^2 F}{\partial y \partial y'_x} \cdot y'_x + \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} - \frac{\partial F}{\partial y} = 0. \quad (8)$$

Для розглядуваного випадку ця функція має вигляд:

$$F = f(y) \cdot \frac{\sqrt{1 + (y'_x)^2}}{y'_x} \cdot (f + y'_x). \quad (9)$$

Оскільки функція (9) не має явної залежності від x , тоді у рівнянні (8) $\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} = 0$ і рівняння Ейлера набуде такого вигляду:

$$\frac{\partial^2 F}{\partial (y'_x)^2} \cdot y''_{xx} + \frac{\partial^2 F}{\partial y \partial y'_x} \cdot y'_x - \frac{\partial F}{\partial y} = 0. \quad (10)$$

Обчислимо частинні похідні від підінтегральної функції (9):
Тоді матимемо:

$$\frac{\partial F}{\partial y} = f'(y) \cdot \sqrt{1 + (y'_x)^2} \cdot \left(\frac{f}{y'_x} + 1 \right), \quad (11)$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial y \partial y'_x} = f'(y) \cdot \left[\frac{f + y'_x}{\sqrt{1 + (y'_x)^2}} - \frac{f \cdot \sqrt{1 + (y'_x)^2}}{(y'_x)^2} \right], \quad (12)$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial (y'_x)^2} = f(y) \cdot \left[\frac{1 - f \cdot y'_x}{(1 + (y'_x)^2) \cdot \sqrt{1 + (y'_x)^2}} + \frac{f \cdot (y'_x)^2 + 2f}{(y'_x)^3 \cdot \sqrt{1 + (y'_x)^2}} \right], \quad (13)$$

Після підстановки усіх похідних у рівняння (10) матимемо:

$$f(y) \cdot y''_{xx} \cdot \left[\frac{1 - f \cdot y'_x}{(1 + (y'_x)^2) \cdot \sqrt{1 + (y'_x)^2}} + \frac{f \cdot (y'_x)^2 + 2f}{(y'_x)^3 \cdot \sqrt{1 + (y'_x)^2}} \right] +$$

$$+ f'(y) \cdot \left[\frac{y'_x \cdot (f + y'_x)}{\sqrt{1 + (y'_x)^2}} - \frac{f \cdot \sqrt{1 + (y'_x)^2}}{y'_x} \right] - f'(y) \cdot \sqrt{1 + (y'_x)^2} \cdot \left(\frac{f}{y'_x} + 1 \right) = 0. \quad (14)$$

Після перетворення рівняння (14) набуде вигляду:

$$y''_{xx} \cdot \frac{f(y)}{f'(y)} = \frac{(f \cdot (y'_x)^2 + y'_x + 2f) \cdot (1 + (y'_x)^2) \cdot (y'_x)^2}{(y'_x)^3 + 3f \cdot (y'_x)^2 + 2f}. \quad (15)$$

Введемо позначення: $y'_x = p$, $y''_{xx} = p \cdot \frac{dp}{dy}$.

Тоді рівняння (15) можна подати наступним чином:

$$\frac{f'(y)}{f(y)} \cdot dy = \frac{p^3 + 3f \cdot p^2 + 2f}{(f \cdot p^2 + p + 2f) \cdot (1 + p^2) \cdot p} dp. \quad (16)$$

Критерієм мінімуму опору буде слугувати умова Лежандра, у відповідності з котрою похідна від підінтегральної функції F (9) по y'_x повинна бути додатньою ($F_{y'_x y'_x} > 0$).

У розглядуваному випадку:

$$F_{y'_x y'_x} = f(y) \cdot \left[\frac{1 - f \cdot y'_x}{(1 + (y'_x)^2) \cdot \sqrt{1 + (y'_x)^2}} + \frac{f \cdot (y'_x)^2 + 2f}{(y'_x)^3 \cdot \sqrt{1 + (y'_x)^2}} \right] > 0. \quad (17)$$

Оскільки всі величини, які входять у нерівність (17), додатні, тоді умова Лежандра $F_{y'_x y'_x} > 0$ буде виконуватись у тому випадку, коли $1 - f \cdot y'_x \geq 0$, $y'_x > 0$, тобто при умові:

$$\alpha \leq 90^\circ - \varphi, \quad (18)$$

де φ - кут тертя середовища з поверхнею РОВ ($\varphi = \arctg f$). Це вказує на те, що кут α нахилу дотичної до кривої профілю поперечного перерізу РОВ відносно вісі OX не повинен перевищувати граничного кута $\alpha_{zp} \leq 90^\circ - \varphi$. У протилежному випадку умова Лежандра $F_{y'_x y'_x} > 0$ порушується і опір РОВ не буде мінімальним.

Інтегруючи рівняння (16), матимемо:

$$\ln f(y) = \int_{p_0}^{p_1} \frac{p^3 + 3f \cdot p^2 + 2f}{(f \cdot p^2 + p + 2f) \cdot (1 + p^2) \cdot p} dp, \quad (19)$$

або $f(y) = \tilde{F}(p)$, де

$$\tilde{F}(p) = \exp \left[\int_{p_0}^{p_1} \frac{p^3 + 3f \cdot p^2 + 2f}{(f \cdot p^2 + p + 2f) \cdot (1 + p^2) \cdot p} dp \right]. \quad (20)$$

Якщо знайдений вираз $\tilde{F}(p)$ (20), тоді можна отримати:

$$p = \frac{dy}{dx} = F_1(y), \text{ звідки} \quad x + C_2 = \int \frac{dy}{F_1(y)}, \quad (21)$$

де C_2 – постійна інтегрування.

Таким чином, задача у загальному вигляді розв'язана. Проте отримання точного аналітичного розв'язку її у замкненому вигляді є досить важною (і громіздкою) процедурою. У цьому випадку необхідно розв'язувати задачу наближеними (чисельними) методами.

Подамо рівняння (15) у вигляді, зручному для чисельного інтегрування на ПЕОМ.

$$y''_{xx} = \frac{f'(y)}{f(y)} \cdot \frac{(f \cdot (y'_x)^2 + y'_x + 2f) \cdot (1 + (y'_x)^2) \cdot (y'_x)^2}{(y'_x)^3 + 3f \cdot (y'_x)^2 + 2f}. \quad (22)$$

Це рівняння (22) будемо для різних залежностей $f(y)$ інтегрувати на ПЕОМ. У деяких найпростіших випадках можна отримати аналітичні розв'язки. Наприклад, при $f(y) = \text{const} \neq 0$, тобто коли питомий опір елемента плоского клину не змінюється, маємо:

$$f'(y) = 0, \quad (23)$$

$$y''_{xx} = 0.$$

Звідси:

$$\frac{dy}{dx} = a = \text{const} \neq 0, \quad (25)$$

або:

$$y = ax + C. \quad (26)$$

Тобто у випадку $f(y) = \text{const}$ екстремальний опір РОВ буде мати місце тоді, коли поперечний переріз РОВ окреслений прямими лініями, причому: $a \leq \text{tg}(90^\circ - \varphi)$, або:

$$a \leq \text{ctg} \varphi. \quad (27)$$

Саме у разі виконання умови (27) РОВ буде мати мінімальний опір.

Випадки $f(y) \neq \text{const}$, тобто коли питомий опір клину з плоскими шоками не буде постійним, слід розглядати чисельними методами.

Використовуючи підхід І.І. Блехмана, визначимо ефективну (віброреологічну) характеристику оброблюваного віброплугом ґрунту, а саме ефективний коефіцієнт сухого тертя $f^{(\text{eff})}$ під час вібрації:

$$\begin{aligned} f^{(\text{eff})} &= f_1 \cdot \left(1 - \frac{mA\omega^2 \cdot \cos \tilde{\alpha}}{f_1 \cdot mg} \right) \cdot \left(1 - \frac{mA\omega^2 \cdot \sin \tilde{\alpha}}{mg} \right) = \\ &= f_1 \cdot \left(1 - \frac{A\omega^2 \cdot \cos \tilde{\alpha}}{f_1 \cdot g} \right) \cdot \left(1 - \frac{A\omega^2 \cdot \sin \tilde{\alpha}}{g} \right), \end{aligned} \quad (28)$$

де f_1 – коефіцієнт сухого тертя матеріалу плуга з оброблюваним ґрунтом (без наявної вібрації плуга), A – амплітуда вібрації, $\tilde{\alpha}$ – кут вібрації (відрховується від горизонту), ω – кутова частота вібрації, m – маса віброплуга. Умова, за якої $f^{(\text{eff})} = 0$ для віброплуга (вібрація наявна) має вид:

$$1 - \frac{A\omega^2 \cdot \cos \alpha}{f_1 \cdot g} - \frac{A\omega^2 \cdot \sin \alpha}{g} + \frac{A^2 \cdot \omega^4 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{f_1 \cdot g^2} = 0. \quad (29)$$

Підбираючи параметри, які характеризують роботу віброплуга (A, ω, α) можна задовольнити умову (29).

Використовуючи наведені вище вирази для P – опору реактивних сил оброблюваного ґрунту, що діють на робочу поверхню у напрямку осі OX , а також вираз для напруження, як функції величини деформації, створюваної у ґрунті під впливом робочого органу віброплуга ($q = \text{cosec} \alpha \cdot \tilde{F}(y)$), матимемо для P наступний вираз ($f^{(\text{eff})} = 0$):

$$P = 2h \cdot \int_0^x \tilde{F}(y) \cdot \frac{\sqrt{1+(y')^2}}{y'} \cdot y' dx = 2h \cdot \int_0^x \tilde{F}(y) \cdot \sqrt{1+(y')^2} dx. \quad (30)$$

Рівняння Ейлера, як необхідна умова досягнення екстремуму функціоналом (30), набуває вигляду:

$$y'' \cdot \frac{\tilde{F}(y)}{\tilde{F}'(y)} = (y')^2. \quad (31)$$

Введемо позначення:

$$\frac{dy}{dx} = y' = p, \\ y'' = \frac{d(y')}{dx} = \frac{dy}{dy} \cdot \frac{d(y')}{dx} = \frac{dy}{dx} \cdot \frac{d(y')}{dy} = p \cdot \frac{d(y')}{dy} = p \cdot \frac{dp}{dy}. \quad (32)$$

Тоді рівняння (31) можна подати так:

$$dy \cdot \frac{\tilde{F}'(y)}{\tilde{F}(y)} = \frac{dp}{p}. \quad (33)$$

Інтегруючи (33), маємо:

$$C_1 X + C_2 = \int \frac{dy}{\tilde{F}(y)}, \quad (34)$$

де $C_{1,2}$ – константи інтегрування.

Для випадку, коли питомий опір елемента віброплуга не змінюється, тобто є величиною постійною: $\tilde{F}(y) = \text{const}$, а $\tilde{F}'(y) = 0$, – дозволяє визначити, що екстремальний опір матиме місце у випадку, якщо поперечний переріз робочого органу віброплуга окреслений прямими лініями. Якщо при цьому $a \leq 90^\circ - \text{arctg}f_1$, тоді робочий орган віброплуга має мінімальний опір.

Розглянемо кілька частинних випадків.

1. Нехай $\tilde{F}(y) = k_0 + k_1 \cdot y$, тоді, підставляючи у (34), маємо:

$$C_1 X + C_2 = \int \frac{dy}{k_0 + k_1 \cdot y} = \frac{1}{k_1} \cdot \ln \left| \frac{k_0}{k_1} + y \right|. \quad (35)$$

2. $\tilde{F}(y) = k_0 + k_1 \cdot y + k_2 \cdot y^2$. Тоді, підставляючи у (34) цей вираз для $\tilde{F}(y)$, маємо:

$$C_1 X + C_2 = \int \frac{dy}{k_0 + k_1 \cdot y + k_2 \cdot y^2} = \frac{1}{k_2} \cdot \int \frac{dy}{\left(y^e + \frac{k_1}{k_2} y + \frac{k_0}{k_2} \right)} =$$

$$= \frac{1}{k_2} \cdot \int \frac{dy}{(y-y_1)(y-y_2)}. \quad (36)$$

У (36) $y_{1,2}$ знаходимо зі співвідношень:

$$y_{1,2} = -\frac{k_1}{2k_2} \pm \sqrt{\frac{k_1^2}{4k_2^2} - \frac{k_0}{k_2}}, \quad \frac{k_1^2}{4k_2^2} - \frac{k_0}{k_2} > 0. \quad (37)$$

Використовуючи метод невизначених коефіцієнтів, можна (36) проінтегрувати:

$$C_1 X + C_2 = \frac{1}{k_2} \cdot \frac{1}{(y_1 - y_2)} \cdot \ln \left| \frac{y - y_1}{y - y_2} \right| = \frac{1}{2k_2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{k_1^2}{4k_2^2} - \frac{k_0}{k_2}}} \cdot \ln \left| \frac{y - y_1}{y - y_2} \right|. \quad (38)$$

Константи C_1 й C_2 знаходимо з граничних умов, які накладаються на $y(x)$ й $y'(x)$ у точці $x = 0$.

Висновки:

1. Тяговий опір робочих органів віброплугів залежить не тільки від фізико-механічних властивостей оброблюваного ґрунту, але й від форми поперечного перерізу самого робочого органу віброплуга.
2. Зменшити тяговий опір робочих органів віброплугів можна шляхом підбору певних форм їх поперечного перерізу.
3. Для робочих органів віброплугів, що мають великі розміри поперечного перерізу, доцільно щодо зменшення їх опору надавати їм криволінійної форми цього перерізу, яка визначається на основі викладених вище теоретичних й експериментальних досліджень.
4. Отримані у роботі результати можуть у подальшому слугувати для уточнення й вдосконалення існуючих інженерних методів розрахунку робочих органів віброплугів з оптимальною формою поперечного перерізу (мінімальним тяговим опором, який при цьому перерізі забезпечується) як на стадіях їх проектування/конструювання, так і в режимах реальної експлуатації.

Література

1. Василенко П. М. Применение методов вариационного исчисления к решению некоторых задач земледельческой механики / П. М. Василенко // Труды КСХИ. – 1953. – Т. VI.

2. Третьяк В. П. Влияние формы рабочих органов, движущихся в почве, на тяговое сопротивление / В. П. Третьяк // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – К., 1967. – Вып. 8. (Механизация обработки почвы и внесения удобрений). – С.18 – 28.

3. Блехман И. И. Вибрационное перемещение / И. И. Блехман, Г. Ю. Джанелидзе. – М.: Наука, 1964. – 412с.

4. Блехман И. И. Об эффективных коэффициентах трения при взаимодействии упругого тела с вибрирующей плоскостью // И. И. Блехман, С. А. Моласян // Известия АН СССР. Серия: Механика твердого тела. – 1970. – №4. – С.4 – 10.

5. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти Т. – М.: Машиностроение, 1979. – Т.2. Колебания нелинейных механических систем / Под ред. И. И. Блехмана. – 1979. – 351с.

Аннотация

Приведен анализ влияния формы рабочего органа виброплуга на его тяговое сопротивление при движении в обрабатываемой почве. Для оптимизации указанного сопротивления (минимизации его величины) использованы методы вариационного исчисления и подход И. И. Блехмана для установления эффективных (виброреологических) характеристик (коэффициентов сухого трения при вибрации) почвы, взаимодействующего с вибрирующим рабочим органом виброплуга.

Summary

The analysis of vibrating plow working body shape influence on its traction resistance during cultivating soil is given. To optimize the specified resistance (minimizing its value) the methods of variational calculus and I.I. Blekhman's approach is used to establish effective (vibroreological) characteristics (dry friction vibration coefficient) of the soil interacting with vibrating plow working body.