

Ловейкін В. С.

Човнюк Ю. В.

Дяченко Л. А.

**Національний
університет
біоресурсів і
природокористування
України**

УДК 631.3

ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЯГОВОГО ОПОРУ ВІБРОПЛУГІВ

Предложен обоснованный подход к определению тягового сопротивления виброплугов, удельного сопротивления грунта и виброплуга, коэффициента полезного действия и направления силы его тяги.

The authors suggest a reasonable approach to determine the traction resistance of the vibration plough, soil and the vibration plough resistivity its efficiency and the direction of its traction power.

Постановка проблеми.

За тяговим опором віброплуга можна судити про енергоємність процесу оранки, і тому він є однією з важливих експлуатаційних характеристик. Його можна розрахувати за формулами або визначити шляхом експерименту (динамометрування).

Для розрахунку тягового опору звичайних плугів різними дослідниками запропонований ряд формул. Проте подібне не можна стверджувати відносно віброплугів.

На думку авторів даної роботи, розрахункові формули для визначення тягового опору віброплугів повинні бути засновані на уточненні та вдосконаленні відомої тричленної формули В.П. Горячкіна [1].

Аналіз публікацій по темі дослідження.

Закономірність зміни необхідної сили тяги із зміною умов роботи плуга повинна, природно, впливати із загальної і точної теорії, яка об'єднує дуже складний процес, що здійснюється обладнанням для оранки [2 – 4]. Раціональна формула В.П. Горячкіна є у певному сенсі спробою визначити віхи до встановлення закономірності, що шукається, і відобразити фізичний зв'язок між головними факторами робочого процесу плуга (віброплуга) і загальним опором, який виникає при його роботі. Формула В.П. Горячкіна широко відома. Однак вона не враховує безпосередньо вплив на тяговий опір плуга (віброплуга) сил тертя польових дошок зі стінкою борозни, вертикальної складової реакції ґрунту на робочі поверхні корпусів плугів, сил опору відрізанню скиб від дна і стінки борозни, товщини лез лемешів тощо.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні методики розрахунку тягового опору

віброплугів, питомого опору ґрунту й питомого опору віброплуга, його коефіцієнту корисної дії, а також напрямку сили тяги віброплуга. Для досягнення мети дослідження будуть використані результати робіт [3, 5].

Виклад основного змісту дослідження.

1. Ефективні коефіцієнти сухого тертя при вібрації.

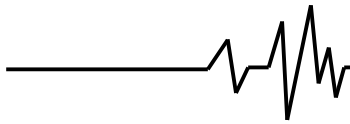
Уявна зміна коефіцієнту сухого тертя віброплуга з оброблювальним ґрунтом при дії вібрації представляє собою найпростіший прояв віброреологічних закономірностей ґрунту, який може бути досліджений елементарними методами [5].

Розглянемо модель віброплуга у вигляді тіла, яке притиснуто до шорсткої площини деякою силою N (вага віброплуга) й на яке діє сила S , спрямована вдовж площини (рис. 1.). Нехай на тіло діє також гармонічна сила $\phi = \phi_0 \cdot \sin \omega t$, спрямована під кутом α до горизонту; тоді для того, щоб тіло почало рухатись вповодж площини, необхідна не сила $S = S_0 = f_1 \cdot N$ (як при відсутності сили ϕ), а лише сила $S^{(=)} = f_1 \cdot N - \phi_0 \cos \alpha$.

Тому спостерігачу, «який не бачить» швидкої сили ϕ , буде здаватись, що коефіцієнт сухого тертя по відношенню до повільної сили S зменшився, і прийняв значення:

$$f_1^{(=)} = \frac{S^{(=)}}{N} = f_1 \cdot \left(1 - \frac{\phi_0 \cos \alpha}{f_1 \cdot N}\right), \quad \alpha = 0. \quad (1)$$

Аналогічно при дії сили ϕ перпендикулярно до площини:



$$f_1^{(1)} = f_1 \cdot \left(1 - \frac{\phi_0 \cdot \sin \alpha}{N}\right), \quad \alpha = \pi/2. \quad (2)$$

Якщо сила $\vec{\Phi} = \vec{\Phi}_1 \cdot \sin \omega t$ паралельно площині й спрямована перпендикулярно силі S , тоді:

$$f_1^{(0)} = f_1 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\vec{\Phi}_1}{f_1 \cdot N}\right)^2}. \quad (3)$$

Зрозуміло, що ці формули мають сенс до тих пір, поки ефективні коефіцієнти тертя $f_1^{(=)}$, $f_1^{(1)}$, $f_1^{(0)}$ додатні; більшим значенням ϕ_0 чи $(\phi_0 \cdot \sin \alpha, \phi_0 \cdot \cos \alpha)$ а також $\vec{\Phi}_1$ відповідає нульове значення вказаних коефіцієнтів.

Якщо одночасно діють сила $\vec{\Phi}$ та $\vec{\phi}$, тоді

$$f_{1 \text{ узаг}} = f_1 \cdot \left(1 - \frac{\phi_0 \cdot \cos \alpha}{f_1 \cdot N}\right) \cdot \left(1 - \frac{\phi_0 \cdot \sin \alpha}{N}\right) \cdot \left(\sqrt{1 - \left(\frac{\vec{\Phi}_1}{f_1 \cdot N}\right)^2}\right). \quad (4)$$

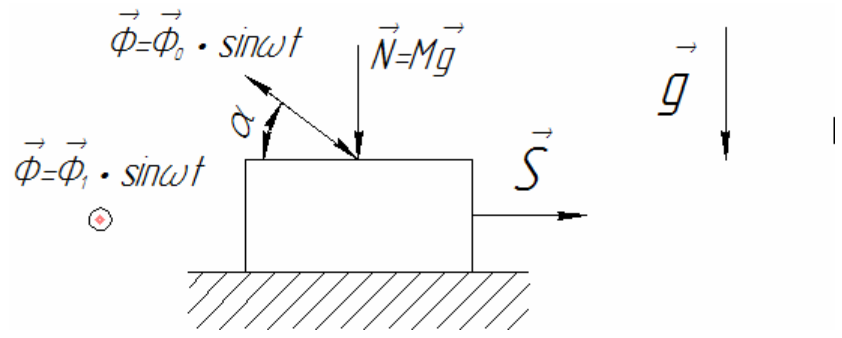


Рис. 1. Геометрія модельної задачі для визначення коефіцієнту тертя віброплуга (M – маса віброплуга, g – прискорення вільного падіння)

У випадку, коли $\vec{\Phi}_1 \equiv 0$, з (4) маємо:

$$f_1^* = f_1 \cdot \left(1 - \frac{\phi_0 \cdot \cos \alpha}{f_1 \cdot N}\right) \cdot \left(1 - \frac{\phi_0 \cdot \sin \alpha}{N}\right). \quad (5)$$

Формула для визначення розрахункового тягового зусилля віброплуга має такий вигляд:

$$P = f_1^* \cdot G + k \cdot a \cdot b \cdot n + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot v^2, \quad (6)$$

де G – вага віброплуга;
 k – коефіцієнт, що характеризує властивість скиби ґрунту чинити опір деформації, $[k] = \text{H}/\text{M}^2$;

a – товщина скиби (глибина оранки);
 b – ширина скиби;
 n – кількість корпусів у віброплузі;

ε – коефіцієнт, що залежить від форми полиці і властивостей ґрунту,
 $[\varepsilon] = \text{Па} \cdot \text{с}^2/\text{M}^2$.

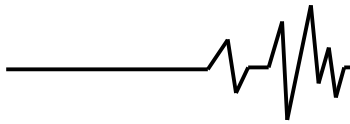
Це є модифікована формула сили тяги віброплуга (отримане (6) по аналогії з ідеєю В.П. Горячкіна). Видно у (6), що P складається з двох членів, що не залежать від швидкості віброплуга v , і одного, величина якого змінюється зі швидкістю.

Перепишемо формулу (6) у такому вигляді:

$$P = f_1^* \cdot G + (k + \varepsilon \cdot v^2) \cdot a \cdot b \cdot n, \quad (7)$$

З (7) видно, що при незмінній швидкості v витрати тягового зусилля на одному і тому ж ґрунті виражаються лінійною залежністю P від площі ab поперечного перерізу скиби, що не проходить через початок координат.

Для віброплуга, який працює на традиційній швидкості $v = (1,2 \dots 1,4) \text{ M}/\text{с}$, третій член формули (7) відносно невеликий ($\approx 5\%$ загального тягового опору), тому сила тяги віброплуга незначно змінюється від зміни швидкості віброплуга (рис. 2).



Значення коефіцієнтів f_1^* , k , ε визначають експериментально шляхом динамометрування різних віброплугів у різних ґрунтових умовах. Вони змінюються у широких межах. Можна рекомендувати приймати їх наступними: $f_1^* = 0,3$ для стерні й 0,50...0,54

для клеверища; значення k , що характеризує головну частину опору віброплуга у межах $k = (20 \dots 90) \text{кПа}$, а значення ε – у межах від $(1,5 \dots 9) \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^2$.
Вище вказано, що формула В.П. Горячкіна для плуга має недоліки.

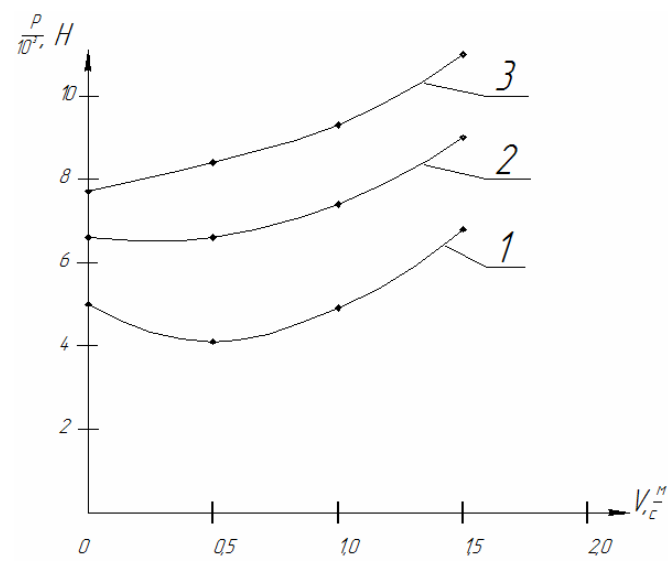


Рис. 2. Залежність P віброплуга від швидкості його руху v (оранка після збирання конюшини):
1 – $a, b = 0,085 \text{ м}^2$; 2 – $a, b = 0,120 \text{ м}^2$;
3 – $a, b = 0,160 \text{ м}^2$

2. Питомий опір ґрунту і питомий опір віброплуга.
Складність обробітку ґрунту оцінюється його питомим опором, який для віброплуга може бути визначений з наступної формули:

$$k = \frac{(P - f_1^* \cdot G - \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot v^2)}{(a \cdot b \cdot n)} \quad (8)$$

або, якщо нехтувати швидкісним опором ґрунту (при швидкості до 5,4 км/год = 1,5 м/с), тоді:

$$k = \frac{(P - f_1^* \cdot G)}{(a \cdot b \cdot n)} \quad (9)$$

Питомий опір ґрунту знаходять за формулою (9), замірюючи динамометром повний опір віброплуга P , потім «мертвий» опір $f_1^* \cdot G$ – шляхом протаскування віброплуга у відкритій борозні. Для ґрунту одного і того ж механічного складу питомий опір змінюється у широких межах у залежності від його вологості та задерності.

Для розрахунків можна використати й спрощену формулу тягового опору віброплуга:

$$P = K \cdot a \cdot b \cdot n \quad (10)$$

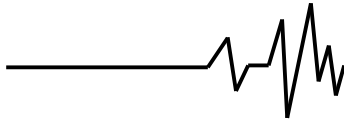
Тоді питомий опір віброплуга неважко розрахувати наступним чином:

$$K = \frac{P}{a \cdot b \cdot n} \quad (11)$$

Замірюючи динамометром опір P , а також глибину a оранки й ширину захвату b . Фізичний зміст коефіцієнту K розкривається глибше у разі множення чисельника і знаменника у формулі (11) на v :

$$K = \frac{P \cdot v}{a \cdot b \cdot n \cdot v} \quad (12)$$

Тоді у чисельнику формули (12) маємо потужність, або роботу, яку виконує віброплуг за 1 с. Отже, питомий опір віброплуга можна розглядати як витрати енергії на обробіток (оранку) одиниці об'єму ґрунту.



Підставляючи у формулу (12) замість P вираз із формули (6), матимемо:

$$K = \frac{f_1^* \cdot G}{a \cdot b \cdot n} + k + \varepsilon v^2 = k + \left(\frac{f_1^* \cdot G}{a \cdot b \cdot n} + \varepsilon v^2 \right) \quad (13)$$

З формули (13) видно, що $K > k$. Таким чином, питомий опір віброплуга, крім питомого опору ґрунту, включає ще й «мертвий» опір й опір відкидання ґрунту, які віднесені до поперечного перерізу скиби.

3. Напрямок сили тяги віброплуга.

Використовуючи підхід та розв'язок подібної задачі, наведені у [3], можна отримати рівняння для оптимального кута нахилу сили тяги віброплуга до горизонту θ^* (за якого необхідна найменша сила тяги P віброплуга):

$$\theta^* = \arctg f_1^* \quad (14)$$

Таким чином, найменша сила тяги P віброплуга при переміщенні його у ґрунті, що обробляється, повинна бути направлена до горизонту під кутом θ^* , який не дорівнює куту тертя φ (як у звичайних плугів). Зазвичай, $\theta^* < \varphi$.

Висновки

1. Запропонована механіко-математична модель функціонування віброплуга й розрахункові формули для визначення: тягового опору, питомого опору

ґрунту, питомого опору самого віброплуга, коефіцієнта корисної дії, оптимального напрямку сили тяги віброплуга (який мінімізує значення цієї сили).

2. Отримані у роботі результати можуть у подальшому слугувати для уточнення й вдосконалення існуючих інженерних методів розрахунку основних характеристик та параметрів віброплугів, як на стадіях їх проектування / конструювання, так і у режимах реальної експлуатації.

Література

1. Горячкин В.П. Собрание сочинений в 3-х томах. / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1965. – Т. 1. – 720с.; Т.2. – 459 с.; Т. 3. – 512 с.
2. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку. / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
3. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.1 (4.1). Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. / П.М. Заїка. – Харків: Око, 2001. – 444 с.
4. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку. / Д.Г. Войтюк, С.С. Яцун, М.Я. Довжик. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. – 543 с.
5. Блехман И.И. Вибрационное перемещение. / И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе. – М.: Наука, 1964. – 412 с.