

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ РОЗМІРНОСТЕЙ І ПОДІБНОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ АСИМЕТРИЧНОЇ ДИСКОВОЇ БОРОНИ ДЛЯ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Гриценко Олександр Павлович, науковий співробітник
Степаненко Сергій Петрович, д.т.н., старший науковий співробітник
Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва
Національна академія аграрних наук України

Oleksandr Gritsenko, Research Officer
Serhii Stepanenko, Doctor of Technical Sciences, Senior Research Officer
Institute of mechanics and automatics of agroindustrial production
of the National academy of agrarian sciences of Ukraine

Проведено дослідження параметрів і режимів роботи асиметричної дискової борони для обробки ґрунту. Під час визначення параметрів і режимів застосовувалася теорія розмірностей і подібності фізичних величин. В результаті дослідження виявлено закономірності, які розкривають взаємозв'язок між параметрами, режимами роботи та властивостями середовища з енергетичними показниками процесу. В якості початкових даних були використані експериментальні дані роботи асиметричної дискової борони з сферичними дисками для обробки ґрунту.

На основі теорії розмірностей були отримані залежності для визначення розмірностей параметрів і режимів роботи дискової борони з сферичними дисками для обробки ґрунту та властивостей ґрунту, таких як тяговий опір, глибина, ширина захоплення, швидкість, твердість ґрунту і прискорення. Також на основі цієї теорії були визначені критерії подібності.

За допомогою кореляційного аналізу і методу найменших квадратів були визначені характер залежності та відповідні коефіцієнти. Був побудований графік для визначення режимів роботи та параметрів дискової борони з сферичними дисками для обробки ґрунту.

Для представлення розмірності кожної величини, яка входить до встановлених формул, у вигляді добутку степеневих функцій незалежних величин (довжина L , час T і маса m), ми можемо використовувати метод розмірних розрядів.

На основі отриманих залежностей можна вирішувати завдання, пов'язані з визначенням тягового опору технічних засобів для обробки ґрунту дисковими боронами. Як вихідні дані використовували літературні джерела та відомі наукові дослідження в галузі обробки ґрунту технічним засобом дискової борони. Отже, проведене дослідження дозволило встановити важливі взаємозв'язки між параметрами та режимами роботи дискової борони для обробки ґрунту з використанням теорії розмірностей і подібності, що може бути корисним для покращення процесів сільськогосподарського виробництва.

Ключові слова: теорія розмірностей і подібності, обробка ґрунту, параметри і режими, твердість, тяговий опір, критерії подібності, взаємозв'язок, валідація параметрів та режимів.

Ф. 31. Рис. 1. Табл. 2. Літ. 21.

1. Постановка проблеми

В умовах недостатнього та нестабільного зволоження головною задачею обробки ґрунту є створення оптимальних умов для максимальної збереженості вологи та запобігання її непродуктивній витраті. Зменшення непродуктивних втрат вологи досягається за допомогою комплексу заходів, до яких відносяться вологозберігаючі і ґрунтозахисні сільськогосподарські методи та технології [1-3].

При вирішенні практичних завдань щодо розробки комплексу заходів для збереження та підвищення родючості ґрунту важливу роль відіграють розрахункові методи, які ґрунтуються на результатах досліджень процесів взаємодії робочих органів з ґрунтом та визначених його властивостями [4-7]. Під час експериментальних досліджень процесів взаємодії робочих органів з ґрунтом часто використовується метод динамометрії. Проте використання цього методу обмежено конкретними умовами випробувань. Зокрема, порівняння тягового опору різних технічних засобів



необхідно проводити в однорідних ґрунтових умовах, це означає, що потрібно виконати безліч експериментів за обмежений час. Якщо однорідність ґрунтових умов не може бути досягнута, то потрібно ввести корекційний коефіцієнт, точне визначення якого неможливо [3, 8, 11, 14].

За допомогою моделювання в системному аналізі можна визначити залежність між тяговим опором технічного засобу та фізико-механічними властивостями ґрунту, параметрами та режимами роботи [9-10, 12-13, 15-18]. Отже, корекційний коефіцієнт, який враховує фізико-механічні властивості ґрунту, буде вже включений у залежність, і можна буде визначити тяговий опір технічного засобу в різних умовах, значно скоротивши обсяг експериментальних досліджень.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Практика дослідження технологічних процесів та робочих органів технічних засобів для обробки ґрунту вказує на доцільність відмови від принципу повної конструкційної подібності моделі. Достатньо дотримуватися аналогії основних показників технологічного процесу [6-9].

У сучасний час існує багато різних методів, прийомів і підходів, які можуть бути віднесені з різним ступенем умовності до так званого часткового аналізу [10-14, 19, 21], включаючи метод π -теореми (розмірностей фізичних величин), метод подібності і метод використання основних рівнянь.

У методі π -теореми (розмірностей) необхідні дані складаються з переліку суттєвих фізичних величин, включаючи одну залежну та достатню кількість незалежних. Лише за допомогою цього методу можна досить ефективно досліджувати розмірності, однорідність розмірностей і інші основні поняття, що використовуються при математичному моделюванні процесів [16-21].

Аналіз розмірностей дозволяє визначити критерії подібності без знання математичної залежності між фізичними величинами досліджуваного процесу. Будь-яке зв'язне відношення, що описує фізичний процес, може вважатися розмірно-однорідним. Таким чином, всі члени рівняння мають однакові розмірності, а параметри, які входять в них є лише добутками незалежних розмірностей у певних ступенях.

Цей підхід допомагає визначити, як різні фізичні параметри взаємодіють між собою та впливають на результати операцій з обробки ґрунту.

Теорія розмірностей базується на ідеї, що фізичні величини можна виразити через основні фізичні одиниці вимірювання (наприклад, масу, довжину, час) та безрозмірні параметри. Це допомагає спростити задачі і аналізувати вплив різних факторів на процес обробки ґрунту [15, 16, 18].

Для застосування теорії розмірностей і подібності до визначення параметрів і режимів роботи дискової борони для обробки ґрунту потрібно:

1. Визначити основні фізичні величини, які впливають на процес обробки ґрунту, наприклад, швидкість МТА, сила опору, глибина обробки і т. д.
2. Виразити ці фізичні величини через основні одиниці вимірювання (маса, довжина, час).
3. Створити безрозмірні параметри, які відображають важливі взаємозв'язки між фізичними величинами.
4. Використовувати подібність для порівняння різних умов роботи, наприклад, різних типів робочих органів, різних типів ґрунту, різних робочих режимів і т. д.

3. Мета дослідження

Визначити залежність, яка пов'язує тяговий опір технічного засобу з фізико-механічними властивостями ґрунту, параметрами і режимами роботи дискової борони.

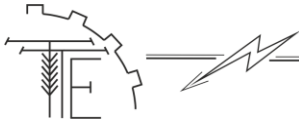
4. Виклад основного матеріалу

Тяговий опір технічного засобу для обробки ґрунту P_t можна сформулювати функціональною залежністю P_t від таких параметрів: глибина обробки ґрунту h , ширина захвату технічного засобу B , швидкість агрегата V_a , твердість ґрунту P_q і прискорення вільного падіння g :

$$P_t = f(h, B, V_a, P_q, g), \quad (1)$$

де h – глибина обробки ґрунту, (м); B – ширина захвату дискової борони, (м); V_a – швидкість руху технічного засобу (агрегата), (м/с); P_q – твердість ґрунту, (Па); g – прискорення вільного падіння, (м/с²).

Дані параметри у формулі (1) визначають процес руйнування ґрунтового шару. Твердість оброблюваного ґрунту P_q представляє собою параметр фізико-механічних властивостей ґрунту, які містяться, як в журналах первинної документації на проведення експериментальних досліджень так і



актах випробувань технічних засобів дискових борін у відділі адресних технологій і технічних засобів для обробітку ґрунту та сівби сільськогосподарських культур ІМА АПВ НААН [7].

Зазвичай у актах виробничої перевірки та відповідних відомчих випробувань технічних засобів замість тягового опору P_t подається показник споживаної потужності N_t , який представляє собою добуток P_t на V_a . Під час обробітку ґрунту дисковими боронами в польових умовах відбувається фізичне переміщення мас (технічного засобу, робочих органів і ґрунту), тому необхідно враховувати прискорення земного тяжіння g .

Для представлення розмірності кожної величини, яка входить до формули (1), у вигляді добутку степеневих функцій незалежних величин (довжина L , час T і маса m), ми можемо використовувати метод розмірних розрядів. Ось як це може бути виконано, для нашого випадку:

$$[P_t] = L^1 \cdot T^{-2} \cdot m^1, \quad (2)$$

$$[h] = L^1 \cdot T^0 \cdot m^0, \quad (3)$$

$$[B] = L^1 \cdot T^0 \cdot m^0, \quad (4)$$

$$[V_a] = L^1 \cdot T^{-1} \cdot m^0, \quad (5)$$

$$[P_q] = L^{-1} \cdot T^{-2} \cdot m^1, \quad (6)$$

$$[g] = L^1 \cdot T^{-2} \cdot m^0, \quad (7)$$

Таким чином, ми представили розмірність кожної з величин у вигляді добутку степеневих функцій довжини (L), часу (T) і маси (m).

Для побудови розмірної матриці параметрів функції $P_t = f(h, B, V_a, P_q, g)$ ми можемо визначити ступені L , T і m для кожного параметра і розмістити їх у таблиці 1.

Таблиця 1

Матриця параметрів функції $P_t = f(h, B, V_a, P_q, g)$

Розмірність	Параметри					
	P_t	h	B	V_a	P_q	g
Довжина (L),	1	1	1	1	-1	1
Час (T)	-2	0	0	-1	-2	-2
Маса (m)	1	0	0	0	1	0

У таблиці 1 значення показників ступенів L , T і m для кожного параметра вказуються відповідно до їх розмірностей в системі одиниць довжини (L), часу (T) і маси (m).

Для переходу до безрозмірного запису функції (1) та визначення безрозмірних комплексів π_i , використовуємо кількість безрозмірних комплексів, яка обчислюється за формулою [7, 14, 19]:

$$N = n - a, \quad (8)$$

де n – кількість змінних у формулі (1); $a = 3$ – ранг розмірної матриці.

Таким чином, ми можемо визначити кількість безрозмірних комплексів за допомогою формули (8). Отже, в цьому випадку кількість безрозмірних комплексів дорівнює $N = 3$.

Для визначення кожного з трьох безрозмірних комплексів (π_1 , π_2 , π_3) необхідно вибрати основні параметри з числа тих, що входять до формули (1), які у розмірній матриці формують визначник, відмінний від нуля, і мають найбільший вплив на якісні показники технологічного процесу обробітку ґрунту. Отже даним умовам найкраще відповідають параметри: глибина h , швидкість V_a і твердість P_q . Безрозмірні комплекси формуються як добуток основних параметрів (h , V_a , P_q) у відповідних ступенях на один з залишених серед розглянутих ступенів.

Отже, безрозмірні комплекси можна визначити наступним чином:

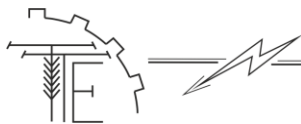
$$\pi_1 = P_t \cdot h^\alpha \cdot V_a^\beta \cdot P_q^\gamma, \quad (9)$$

$$[\pi_1] = L^{1+\alpha+\beta-\gamma} \cdot T^{-2-\beta-2\gamma} \cdot m^{1+\gamma}. \quad (10)$$

Ці ступені (α , β , γ) повинні бути обрані так, щоб визначення безрозмірних комплексів відображало важливі взаємозв'язки між основними параметрами та іншими фізичними величинами в технологічному процесі обробітку ґрунту.

Для того щоб зробити безрозмірний комплекс π_1 , показники ступенів при основних величинах у розмірному ряду в рівнянні (10) повинні дорівнювати нулю:

$$\begin{cases} 1 + \alpha + \beta - \gamma = 0 \\ -2 - \beta - 2\gamma = 0 \\ 1 + \gamma = 0 \end{cases} \quad (11)$$



Звідси після нескладних перетворень отримуємо:

$$\alpha = -2; \beta = 0; \gamma = -1.$$

Підставивши отримані значення у формулу (9), отримуємо безрозмірний комплекс π_1 :

$$\pi_1 = \frac{P_t}{P_q \cdot h^2} \quad (12)$$

Аналогічно, формуємо безрозмірний комплекс π_2 , використовуючи показники ступенів:

$$\pi_2 = g \cdot h^\alpha \cdot V_a^\beta \cdot P_q^\gamma, \quad (13)$$

$$[\pi_2] = L^{1+\alpha+\beta-\gamma} \cdot T^{-2-\beta-2\gamma} \cdot m^\gamma, \quad (14)$$

$$\begin{cases} 1 + \alpha + \beta - \gamma = 0 \\ -2 - \beta - 2 \cdot \gamma = 0 \\ \gamma = 0 \end{cases} \quad (15)$$

Звідки після нескладних перетворень отримуємо:

$$\alpha = 1; \beta = -2; \gamma = 0.$$

З цих значень отримуємо безрозмірний комплекс π_2 :

$$\pi_2 = \frac{g \cdot h}{V_a^2} \quad (16)$$

Обернена величина отриманого безрозмірного комплексу (16) називається критерієм механічної подібності Фруда [4, 9, 14].

Для представлення безрозмірного комплексу π_3 аналогічним чином використовується рівняння (1) і показники ступенів:

$$\pi_3 = B \cdot h^\alpha \cdot V_a^\beta \cdot P_q^\gamma, \quad (17)$$

$$[\pi_3] = L^{1+\alpha+\beta-\gamma} \cdot T^{-\beta-2\gamma} \cdot m^\gamma. \quad (18)$$

Необхідно виразити α , β і γ так, щоб вони задовольняли цю рівність і отримати безрозмірний комплекс π_3 .

Для того, щоб отримати безрозмірний комплекс π_3 , прирівняємо показники ступенів до нуля в рівнянні (18):

$$\begin{cases} 1 + \alpha + \beta - \gamma = 0 \\ -\beta - 2 \cdot \gamma = 0 \\ \gamma = 0 \end{cases} \quad (19)$$

Звідки після нескладних перетворень отримуємо:

$$\alpha = -1; \beta = 0; \gamma = 0.$$

З цих значень отримуємо безрозмірний комплекс π_3 :

$$\pi_3 = \frac{B}{h} \quad (20)$$

Згідно з π – теоремою, будь-яке рівняння фізичного процесу, яке об'єднує n_i величин, серед яких m_i величин мають незалежні розмірності, можна перетворити в критеріальне рівняння, яке пов'язує $n_i - m_i$ безрозмірних комплексів:

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{n_i-m_i}), \quad (20)$$

де $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots$ – безрозмірні величини, які формуються за певним законом з n_i величин (параметрів), що визначають перебіг процесу; m_i – кількість фізичних величин, що мають незалежні розмірності.

Підставивши вище отримані залежності у рівняння (20), отримаємо:

$$\frac{P_t}{P_q \cdot h^2} = f\left(\frac{g \cdot h}{V_a^2}, \frac{B}{h}\right) \quad (21)$$

На основі отриманої залежності (21) можна вирішувати завдання, пов'язані з визначенням тягового опору технічних засобів для обробітку ґрунту дисковими боронами. Як вихідні дані використали літературні джерела [7, 9, 12, 13] та відомі наукові дослідження [14-21] в галузі обробітку ґрунту наступних технічних засобів, які наведено в таблиця 2.

Таблиця 2

Безрозмірні комплекси

Позначення комплексу	ДМТ-2	БДН-2	БДН-2,2	БПД-2,4
π_1	1,47	1,62	1,51	1,44
π_2	0,32	0,24	0,29	0,57
π_3	32,3	30,2	71,8	29,0



За допомогою кореляційного аналізу було встановлено, що залежність $\frac{P_t}{P_q \cdot h^2} = f\left(\frac{B}{h}\right)$ є лінійною, тобто її можна записати у вигляді:

$$\frac{P_t}{P_q \cdot h^2} = \left(\frac{P_t}{P_q \cdot h^2}\right)_0 + \psi \left(\frac{B}{h}\right) \quad (22)$$

Таким чином, вираз (22) описує лінійну залежність між параметрами технічного засобу та фізико-механічними властивостями ґрунту.

Як результат перетворення за допомогою методу найменших квадратів, були визначені коефіцієнти емпіричного рівняння $\left(\frac{P_t}{P_q \cdot h^2}\right)_0$ та ψ :

$$\left(\frac{P_t}{P_q \cdot h^2}\right)_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{B}{h}\right)_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_t}{P_q \cdot h^2}\right)_i - \sum_{i=1}^n \left(\frac{B}{h}\right)_i \cdot \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{B}{h}\right)_i \cdot \left(\frac{P_t}{P_q \cdot h^2}\right)_i\right]}{n \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{B}{h}\right)_i^2 - \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{B}{h}\right)_i\right]^2}, \quad (23)$$

$$\psi = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{B}{h}\right)_i \cdot \left(\frac{P_t}{P_q \cdot h^2}\right)_i\right] - \sum_{i=1}^n \left(\frac{B}{h}\right)_i \cdot \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{P_t}{P_q \cdot h^2}\right)_i\right]}{n \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{B}{h}\right)_i^2 - \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{B}{h}\right)_i\right]^2}. \quad (24)$$

Підставивши дані з таблиці 2 в формули (24) і (23), а потім отримані значення в (22), було отримано емпіричне рівняння $\frac{P_t}{P_q \cdot h^2} = \psi \left(\frac{B}{h}\right)$ у вигляді:

$$\frac{P_t}{P_q \cdot h^2} = 1,143 + 0,021 \cdot \left(\frac{B}{h}\right) \quad (25)$$

Функцію $\frac{P_t}{P_q \cdot h^2} = f\left(\frac{g \cdot h}{V_a^2}\right)$ можна вважати квадратичною, оскільки згідно з попередніми дослідженнями тяговий опір технічного засобу від швидкості руху змінюється згідно з параболічним законом [14].

Квадратичну функцію можна представити у вигляді рівняння:

$$\frac{P_t}{P_q \cdot h^2} = \left(\frac{P_t}{P_q \cdot h^2}\right)_0 + \Delta \cdot \left(\frac{g \cdot h}{V_a^2}\right) + k \cdot \left(\frac{g \cdot h}{V_a^2}\right)^2 \quad (26)$$

В отриманій функціональній залежності $\frac{P_t}{P_q \cdot h^2} = f\left(\frac{g \cdot h}{V_a^2}\right)$ відсутній другий член рівняння (26), тому $\Delta = 0$, і залежність (26) набуває вигляду:

$$\frac{P_t}{P_q \cdot h^2} = \left(\frac{P_t}{P_q \cdot h^2}\right)_0 + k \cdot \left(\frac{g \cdot h}{V_a^2}\right)^2 \quad (27)$$

За допомогою методу найменших квадратів були визначені коефіцієнти емпіричного рівняння для $\frac{P_t}{P_q \cdot h^2}$ та k :

$$\left(\frac{P_t}{P_q \cdot h^2}\right)_0 = n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{P_t}{P_q \cdot h^2}\right)_i\right] - n^{-1} \cdot k \cdot \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{g \cdot h}{V_a^2}\right)_i\right]^2, \quad (28)$$

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{g \cdot h}{V_a^2}\right)_i\right]^2 \cdot \left(\frac{P_t}{P_q \cdot h^2}\right)_i - n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{P_t}{P_q \cdot h^2}\right)_i\right] \cdot \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{g \cdot h}{V_a^2}\right)_i\right]^2}{\sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{g \cdot h}{V_a^2}\right)_i\right]^4 - n^{-1} \cdot \left[\sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{g \cdot h}{V_a^2}\right)_i\right]^2\right]^2}. \quad (29)$$

Після введення числових даних із таблиці 2 в формули (29) і (28), а потім обчислюючи значення згідно з (27), отримали наступне емпіричне рівняння:

$$\frac{P_t}{P_q \cdot h^2} = 1,547 - 0,375 \cdot \left(\frac{g \cdot h}{V_a^2}\right)^2 \quad (30)$$

Розв'язавши спільно рівняння (25) і (30), отримали:

$$\frac{P_t}{P_q \cdot h^2} = 1,378 + 0,011 \cdot \left(\frac{B}{h}\right) - 0,213 \cdot \left(\frac{g \cdot h}{V_a^2}\right)^2 \quad (31)$$

Отримана залежність, яка виражена рівнянням (31), була графічно представлена на рис. 1.

З аналізу графіка можна зробити висновок, що безрозмірний комплекс $\pi_1 = \frac{P_t}{P_q \cdot h^2}$ зменшується при збільшенні π_2 за умови $\pi_3 = const$, та зростає при збільшенні π_3 при $\pi_2 = const$. Крім того, при зростанні π_3 при $\pi_2 = const$, π_1 зростає інтенсивніше, ніж він зменшується при $\pi_3 = const$ при збільшенні π_2 .

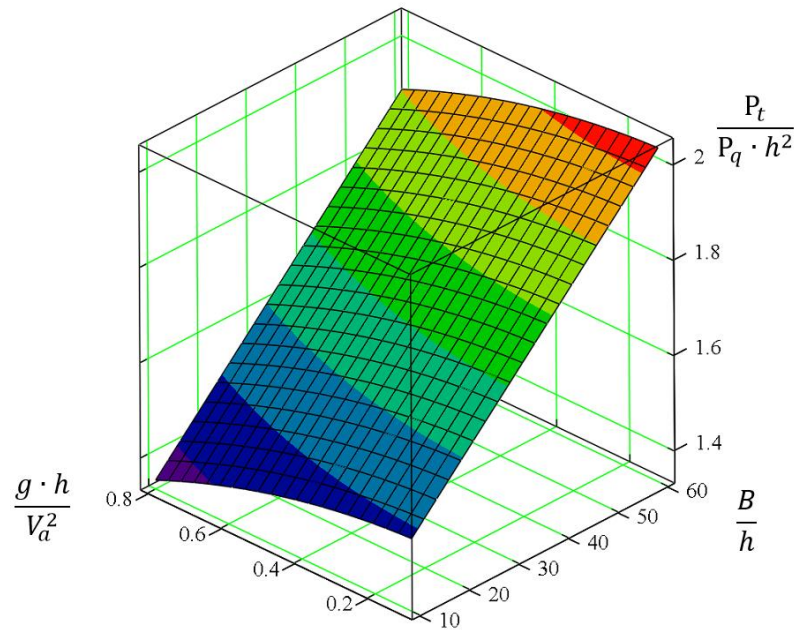


Рис. 1. Графічна залежність для визначення режимів роботи та параметрів дискової борони для обробки ґрунту.

Енергетичний безрозмірний комплекс $\pi_1 = \frac{P_t}{P_q \cdot h^2}$ зменшується значно швидше та сильніше залежить від геометрії робочого органа (сферичного диска) та технічного засобу $\pi_3 = \frac{B}{h}$, ніж від динаміки протікання процесу обробітку ґрунту $\pi_2 = \frac{g \cdot h}{V_a^2}$ за заданих режимів роботи.

Якщо $\pi_2 = 0,52 - 0,74$, а $\pi_3 = const$, то безрозмірний комплекс π_1 збільшується більш інтенсивно [14]. Границі на графіку визначаються за найвищим і найнижчим значеннями безрозмірних комплексів (таблиця 1), які були розраховані на основі даних випробувань сучасних дискових борін для обробки ґрунту.

5. Висновки

Застосування теорії розмірностей і подібності допомагає спростити аналіз і визначення параметрів технічних засобів та їх робочих органів для обробітку ґрунту, роблячи їх порівняння більш об'єктивними. Даний підхід може бути корисним для оптимізації роботи сільськогосподарських машин та покращення ефективності обробітку ґрунту в сільськогосподарському виробництві.

Під час розробки технічних засобів для обробітку ґрунту важливу роль відіграють розрахункові методи, що ґрунтуються на результатах досліджень процесів взаємодії їх робочих органів з ґрантом і обумовленими його властивостями.

Моделювання в системному аналізі дозволяє визначити залежність, яка пов'язує тяговий опір машин з фізико-механічними властивостями ґрунтового середовища, параметрами і режимами роботи.

За допомогою отриманої графічної залежності можна визначити тяговий опір дискової борони зі сферичними дисками, задаючи властивості ґрунту, параметри та режими роботи, при цьому в значній мірі скоротивши обсяг експериментальних досліджень.

Список використаних джерел.

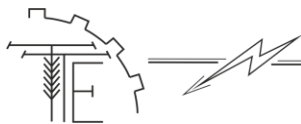
1. Гуцол О. П., Ковбаса В. П. Обґрунтування параметрів і режимів руху ґрунтообробних машин з дисковими робочими органами : монографія. Київ, 2016. 145 с.
2. Бабицкий Л. Ф. Біонічні напрямки розробки ґрунтообробних машин. К.: Урожай, 1998. 164 с.
3. Булгаков В. М., Шелудченко Б. А. Самоорганізація ґрунтових структур. К.: НАУ, 1998. 58 с.
4. Василенко П. М. Введение в земледельческую механику. К.: Сільгоспосвіта, 1996. 240 с.
5. Ветехин В. И. Применение системы поверхностей с переменной кривизной при создании серии рабочих органов. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1994. № 4. С. 23–25.



6. Войтюк Д. Г., Пилипака С. Ф. До визначення траєкторії руху частинок ґрунту по циліндричних поверхнях робочих органів ґрунтообробних знарядь. *Механізація с. г. виробництва: зб. наук. праць НАУ*. т. V. 1999. С. 242–250.
7. Гуков Я. С. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України: автореф. дис... докт. техн. наук: 05.20.01. ІМЕСГ УААН. Глеваха, 1998. 33 с.
8. Гуков Я. С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Механікотехнологічне обґрунтування енергетичних засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України. К.: Нора-прінт, 1999. 280 с.
9. Дубровін В. О. Механіко-технологічне обґрунтування диференціації засобів механізації оранки: дис... докт. техн. наук: 05.20.01. Глеваха, 1997. 420 с.
10. Забродський П. М. Обґрунтування процесу роботи і параметрів дискових робочих органів ґрунтообробних знарядь: дис... канд. техн. наук: 05.20.01. Житомир, 1997. 199 с.
11. Ковбаса В. П. Деформації та критерій вигляду деформованого стану перед дисковим робочим органом. *Вісник ХДТУСГ «Механізація сільськогосподарського виробництва»*. Харків. 2003. Вип. 21. С. 132–140.
12. Ковбаса В. П. Механіко-технологічні основи взаємодії робочих органів з ґрунтом : монографія. Київ, 2016. 298 с.
13. Кравчук В. І., Гуков Я. С. Енерговитрати при розпушенні ґрунту механічним способом. *Вісник аграрної науки*. № 5. 2001. С. 56–59.
14. Кушнарєв А. С. Механико-технологические основы процесса воздействия рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий на почву. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01. Мелітополь, 1980. 329 с.
15. Кушнарєв, А. С., Кочев В. И. Механико–технологические основы обработки почвы. К.: Урожай, 1989. 144 с.
16. Надикто В. Т., Крижачківський М. Л., Кюрчев В. М., Абдула С. Л. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві: навчальний посібник, Мін. агрополітики України. Мелітополь. 2005. 338 с.
17. Пащенко В. Ф. Механико-технологические и технические основы снижения энергоемкости механизированных процессов обработки почвы к посеву : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.06.01/УСХА. К., 1982. 22 с.
18. Сало В. М. Експериментальне визначення залежності твердості різних за механічним складом ґрунтів від їх фізико-механічних властивостей. *Праці Таврійської держ. агротехн. Академії*. Мелітополь. 2001. Вип. 1, т. 22. С. 57–61.
19. Синеоков Г. Н. Дисковые рабочие органы почвообрабатывающих машин. Л.: Машгиз., 1949. 86 с.
20. Шевченко И. А. Математическая модель взаимодействия дискового рабочего органа с почвой. *Праці ТДАТА*. Мелітополь. 1999. Вип. 1, т. 10. С. 124–130.
21. Шевченко І. А. Обґрунтування технологій та технічних засобів для обробітку ґрунту на базі їх агрофізичних показників. автореф. дис... докт. техн. наук: 05.05.11/НАУ. К., 2002. 36 с.

References

- [1] Hutsol, O.P., Kovbasa, V.P. (2016) *Justification of the parameters and modes of movement of tillage machines with disc working bodies : monograph*. Kyiv. [in Ukrainian].
- [2] Babitsky, L.F. (1998). *Bionic trends in the development of tillage machines*. K.: Urozhai. [in Ukrainian].
- [3] Bulgakov, V.M., Sheludchenko, B.A. (1998). *Self-organization of soil structures*. K.: NAU. [in Ukrainian].
- [4] Vasylenko, P.M. (1996). *Introduction to agricultural mechanics*. K.: Agricultural Education. [in Ukrainian].
- [5] Vetokhin, V.I. (1994). The application of the surface system with variable curvature when creating a series of working bodies. *Tractors and agricultural machines*, 4, 23–25. [in Ukrainian].
- [6] Voytiuk, D.G., Pylypaka, S. F. (1999). To determine the trajectory of the movement of soil particles along the cylindrical surfaces of the working bodies of tillage implements. *Mechanization p. city of production: Coll. of science works NAU*, V, 242–250. [in Ukrainian].



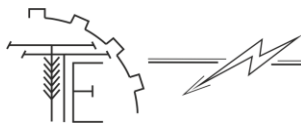
- [7] Gukov, Ya.S. (1998). *Mechanical and technological justification of energy-saving means for the mechanization of soil cultivation in the conditions of Ukraine*. autoref. dis... doc. technical Sciences: 05.20.01. IMESG of the Ukrainian Academy of Sciences. Hlevakha. [in Ukrainian].
- [8] Gukov, Ya.S. (1999). *Soil cultivation. Technology and equipment. Mechano-technological justification of energy means for the mechanization of soil cultivation in the conditions of Ukraine*. K.: Nora-print. [in Ukrainian].
- [9] Dubrovin, V.O. (1997). *Mechanical-technological justification of the differentiation of means of mechanization of plowing*. Diss... doc. technical Sciences: 05.20.01. Hlevakha. [in Ukrainian].
- [10] Zabrodskiy, P.M. (1997). *Justification of the work process and parameters of disk working bodies of tillage tools*. dis... candidate. technical Sciences: 05.20.01. Zhytomyr. [in Ukrainian].
- [11] Kovbasa, V.P. (2003). Deformations and the criterion of the appearance of the deformed state in front of the disk working body. *Bulletin of the KhDTUSH "Mechanization of agricultural production"*, 21, 132–140. [in Ukrainian].
- [12] Kovbasa, V.P. (2016). *Mechanical and technological basis of interaction of working bodies with the soil : monograph*. Kyiv. [in Ukrainian].
- [13] Kravchuk, V.I., Gukov, Y.S. (2001). Energy consumption when loosening the soil by mechanical method. *Herald of Agrarian Science*, 5, 56–59. [in Ukrainian].
- [14] Kushnarev, A.S. (1980). *Mechanical and technological foundations of the process of impact of working bodies of soil-cultivating machines and tools on the soil*. Dr. technical Sciences: 05.20.01. Melitopol. [in Ukrainian].
- [15] Kushnarev, A.S., Kochev, V.I. (1989). *Mechanical and technological foundations of soil processing*. K.: Urozhai. [in Ukrainian].
- [16] Nadykto, V.T., Kryzhachkivskiy, M.L., Kyurchev, V.M., Abdula, S.L. (2005). *New mobile energy means of Ukraine. Theoretical bases of use in agriculture : a study guide*. Min. agricultural policy of Ukraine. Melitopol. [in Ukrainian].
- [17] Pashchenko, V.F. (1982). *Mechanical-technological and technical principles of reducing the energy consumption of mechanized soil processing processes for sowing*. Dis... Cand. technical Sciences: 05.06.01. USKHA. K. [in Ukrainian].
- [18] Salo, V.M. (2001). Experimental determination of the dependence of the hardness of soils of different mechanical composition on their physical and mechanical properties. *Proceedings of the Tavrii State. agricultural technology Academies*, 1 (22), 57–61. [in Ukrainian].
- [19] Sineokov, G.N. (1949). *Disk working organs of soil tillage machines*. L.: Mashgiz. [in Ukrainian].
- [20] Shevchenko, I.A. (1999). Mathematical model of the interaction of the disc working body with the soil. *Proceedings of TDATA*, 1 (10), 124–130. [in Ukrainian].
- [21] Shevchenko, I.A. (2002). *Justification of technologies and technical means for soil cultivation based on their agrophysical indicators*. autoref. dis... doc. technical Sciences: 05.05.11. NAU. K. [in Ukrainian].

APPLICATION OF THE THEORY OF DIMENSIONS AND SIMILARITY TO DETERMINE THE PARAMETERS AND OPERATION MODES OF AN ASYMMETRICAL DISK HROW FOR SOIL PROCESSING

The parameters and modes of operation of the asymmetric disc harrow for soil cultivation were studied. During the determination of parameters and regimes, the theory of dimensions and similarity of physical quantities was applied. As a result of the study, regularities were revealed that reveal the relationship between parameters, operating modes and properties of the environment with energy indicators of the process. Experimental data on the operation of an asymmetric disc harrow with spherical discs for soil cultivation were used as initial data.

Based on the theory of dimensions, dependencies were obtained to determine the dimensions of the parameters and modes of operation of the disc harrow with spherical discs for soil cultivation and soil properties, such as traction resistance, depth, grip width, speed, soil hardness and acceleration. Similarity criteria were also determined on the basis of this theory.

With the help of correlation analysis and the method of least squares, the nature of the dependence and the corresponding coefficients were determined. A schedule was built to determine the operating modes and parameters of a disc harrow with spherical discs for soil cultivation.



To represent the dimension of each quantity that is included in the established formulas, in the form of a product of power functions of independent quantities (length L , time T and mass m), we can use the method of dimensional units.

On the basis of the obtained dependencies, it is possible to solve tasks related to determining the traction resistance of technical means for soil cultivation with disk harrows. Literary sources and well-known scientific studies in the field of soil cultivation with the technical means of a disk harrow were used as input data. Therefore, the conducted research made it possible to establish important relationships between the parameters and modes of operation of a disk harrow for soil cultivation using the theory of dimensions and similarity, which can be useful to improve agricultural production processes.

Key words: *theory of dimensions and similarity, soil treatment, parameters and regimes, hardness, tensile strength, criteria of similarity, relationship, validation of parameters and regimes.*

F. 31. Fig. 1. Table. 2. Ref. 21.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Гриценко Олександр Павлович – н.с., Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України (08631, Київська область, Фастівський район, смт Глеваха, вул. Вокзальна, 11/1, <https://orcid.org/0009-0005-1315-3676>).

Степаненко Сергій Петрович – д.т.н., с.н.с., Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України (08631, Київська область, Фастівський район, смт Глеваха, вул. Вокзальна, 11/1, e-mail: stepanenko_s@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-8331-4632>).

Oleksandr Gritsenko – Research Officer, Institute of mechanics and automatics of agroindustrial production of the national academy of agrarian sciences of Ukraine. (11/1, Vokzalna St, Glevakha, Fastiv district, Kiyv region, 08631. <https://orcid.org/0009-0005-1315-3676>).

Serhii Stepanenko – Doctor of Technical Sciences, Senior Research Officer, Institute of mechanics and automatics of agroindustrial production of the national academy of agrarian sciences of Ukraine. (11/1, Vokzalna St, Glevakha, Fastiv district, Kiyv region, 08631, e-mail: stepanenko_s@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-8331-4632>).