

ФОРМУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН МЕТОДАМИ ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Сокол С.П., доцент

Волик Б.А., доцент

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Анотація *Методи фізичного моделювання широко застосовують при відпрацюванні конструктивних параметрів складних машин. Грунтообробні машини у своїй більшості до складних не відносять, але метод в сільськогосподарському машинобудуванні доволі поширений. Але у своїй більшості експерименти не передбачають отримання чисельних значень досліджуваних величин, бо методика їх перерахування на натурний зразок машини не дозволяють це зробити. В статті запропонована така методика стосовно грунтообробних знарядь. В основу покладене критеріальне рівняння, отримане методом аналізу розмірностей теорії внутрішньої напруги. Як відомо само по собі отримане таким чином критеріальне рівняння не дозволяє виконати перерахунок значень на натурний зразок. Але запропоновані допоміжні критерії подібності при різних значеннях масштабного коефіцієнту зробити це дозволяють. Таким чином, методика передбачає наявність визначального критерія, який містить один базовий конструктивний елемент, інтегральний показник механічних властивостей ґрунту. Два допоміжних критерія включають: перший - співвідношення швидкостей, другий співвідношення другорядних конструктивних розмірів. Лабораторні дослідження слід виконувати з двома масштабними коефіцієнтами. Рекомендовані значення $M_1=2; M_2=3$. При цьому модельні дослідження обов'язково повинні виконуватись з використанням модельного середовища параметри якого обґрунтовані визначальним критерієм подібності. Наведена методика може бути використана при дослідженнях з використанням методів біоніки, гідродинамічного і імітаційного моделювання. Виконані експериментальні дослідження показали хорошу збіжність отримуваних результатів.*

Ключові слова: фізичне моделювання, критерій подібності, теорія внутрішньої напруги; масштабний коефіцієнт, модельне середовище.

Постановка проблеми. Грунтообробні робочі органи у своїй більшості не можна віднести до складних за конструктивним виконанням. Але проблема полягає в тому, що їх доводиться постійно адаптувати до нових впроваджуваних технологій вирощування культур. Так, наприклад серед останніх суттєвих інновацій слід відмітити систему органічного землеробства. Наслідком впровадження системи є зменшення консолідації ґрунту. В той же час, основні машини як поверхневого, так і глибокого обробітку ґрунту адаптовані до умов підпірного різання[3], що при

зменшенні консолідації призводить до погіршення якості виконання технологічного процесу. Не менші проблеми виникають і при впровадженні систем смугового землеробства Strip-Till [4,5], коли робочий орган необхідно вписати в вузьку смугу, часто за шириною, меншою ніж глибина обробітку і при цьому забезпечувати якісні показники виконання технологічного процесу.

Таким чином потрібна постійна робота по адаптації робочих органів під нові потреби технологій. Виконати це на натурному зразку машини досить трудомістка робота. Проблему можна вирішити шляхом проведення модельних досліджень[3]. Але складність полягає в тому, що дослідження необхідно проводити у відповідності до критеріального рівняння подібності[11], а це рівняння складається на методичній основі методу аналізу розмірностей [10,11]

Отримане таким чином рівняння може дати перерахунок на натуральний зразок машини з точністю до узгоджуючого коефіцієнта [10], методика отримання якого передбачає окремі дослідження. Таким чином, проблема полягає саме в розробці критеріального рівняння, адаптованого під конкретні дослідження.

Аналіз досліджень. Перші спроби якимось чином обґрунтувати методику модельних досліджень стосовно ґрунтообробки були виконані В.І.Баловнєвим [1]. Сутність ідеї сводилась до простого масштабування робочого органу і відповідного масштабування його кінематичних параметрів та механіко-технологічних властивостей ґрунту. Але, в процесі детальних досліджень виявилось, що пропорційне масштабування не зовсім коректне і дає суттєву похибку. Тому, масштабування кінематичних параметрів і механіко-технологічних властивостей було запропоновано проводити з поправкою на спеціальний коефіцієнт, який необхідно було визначати в ході експериментальних досліджень. Таким, чином можна вважати такий підхід першою спробою введення примітивних критеріїв подібності. Але такі критерії подібності спрацьовують тільки на робочих органах простої геометричної форми. Стало питання, що критерії подібності повинні включати всі визначальні параметри технологічного процесу, тобто їх необхідно створювати на основі аналітичних моделей.

Стосовно ґрунтообробки існує ряд аналітичних моделей взаємодії робочих органів з ґрунтом. Перша і найбільш відома – це рівняння В.П.Горячкіна. Вона носить стохастичний характер і тому на її основі отримати критеріальне рівняння не можливо.

Критерії подібності можуть бути як узагальнюючими, тобто такими, що характеризують весь технологічний процес, так і такими, що характеризують окремі його параметри.

Так, наприклад, узагальнюючий критерій подібності в теоретичній механіці має назву число Ньютонa. Він отриманий як результат приведення другого закону Ньютонa до безрозмірного виду.

$$Ne = \frac{F \cdot t^2}{m \cdot l}, \quad (1)$$

де F - діюча на тіло сила; m - маса тіла; t - час; l - характерний лінійний розмір.

Але критерій не враховує фізики процесів, що відбуваються і тому використати його для роботи з ґрунтообробними знаряддями не можливо.

Критерій подібності в теорії внутрішньої напруги А.М.Панченко [9] отримується з виразу тягового опору знаряддя довільної геометричної форми: Автор вводить два критеріальних рівняння :

Перше основне

$$\frac{B_1 \cdot C_1}{V_1} = \frac{B_2 C_2}{V_2} \quad (1)$$

І друге, допоміжне

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{C_1}{C_2}, \quad (2)$$

де B_1 і B_2 характерний конструктивний розмір відповідно знаряддя і його моделі;

V_1 і V_2 - робочі швидкості

C_1 і C_2 - питоме зчеплення часток ґрунту і модельного середовища.

Недолік такого уявлення полягає в тому що узагальнені критерії подібності мають розмірність, а це з точки зору теорії подібності[12] не припустимо, бо критеріальне рівняння носить ступеневий характер. Але теорія А.М.Панченко розроблялась конкретно під. робочі поверхні, утворені певним чином зорієнтованими у просторі площинами. Аналітична модель носила лінійний характер і тому рівняння (2) і (3) приблизно адекватно описували процес. Але при переході до поверхонь більш складної форми лінійний характер аналітичної моделі втрачався і події переставали бути подібними. Цим пояснюється доволі велика, до 40% похибка розрахунків за даною теорією тягового опору полицевого плуга.

Мета роботи : На основі теорії внутрішньої напруги розробити критеріальне рівняння для робочих поверхонь довільної форми і перевірити його працездатність взявши для прикладу побочу поверхню полицевого плуга

Основний матеріал досліджень

У відповідності до теорії подібності дослідження виконуємо у відповідності до критеріального рівняння.

Теоретичною основою взаємодії робочого органу є теорія внутрішньої напруги А.М.Панченко [9] Виконавши аналіз розмірностей залежності

тягового опору від основних вихідних параметрів, ми прийшли до наступного критеріального рівняння

$$K_{\text{ПН}} = \frac{F_H \cdot g}{C_H \cdot V_H^2 \cdot L_H} = \frac{F_M \cdot g}{C_M \cdot V_M^2 \cdot L_M} = K_{\text{ПМ}}, \quad (3)$$

де F_M, F_H - Тяговий опір відповідно моделі і натурального зразка корпусу;
 C_M, C_H - Питоме сцеплення часток модельного середовища і ґрунту;
 V_M, V_H - поступова швидкість відповідно моделі і натурального зразка машини;

$K_{\text{ПМ}}, K_{\text{ПН}}$ - критерії подібності моделі і натурального зразка машини
 L_M, L_H - Визначальний розмір (ширина захвату) моделі і натурального зразка машини;

Таким чином, розрахункова формула буде виглядати наступним чином

$$F_H = \varepsilon \cdot F_M \cdot \frac{C_H \cdot V_H^2 \cdot L_H}{C_M \cdot V_M^2 \cdot L_M}, \quad (4)$$

де $\varepsilon=0,1$ - узгоджуючий коефіцієнт. Діло в тому, що критерії подібності отримуються на основі теорії аналізу розмірностей і просто слугують підтвердженням подібності процесів, що досліджуються з точністю до узгоджуючих коефіцієнтів [10].

Коефіцієнт ε отримується з аналізу теорії, на основі якої побудований критерій подібності.

Для перевірки наведених положень нами проведена серія досліджень у ґрунтовому каналі (рис.1). Особливіть конструкції полягає в виконанні частини бокової стінки лотка зі скла, що дозволяє візуально контролювати якість приготування модельного середовища і відповідність виконання технологічного процесу моделлю.

Діло в тому, що модельне середовище формується за рахунок змішчування просіяного річкового піску, пилу і подрібненої крейди. Окремо, наявність гумусу моделюється додаванням відходів використаного листового чаю. Суміш змочується розчином цукру для моделювання питомого зчеплення часток. Якість приготування можна перевірити за кольором у відповідності до наявного еталону.

Окремо необхідно зупинитись на необхідності контролю за відповідністю виконання технологічного процесу. Діло в тому, що по сліду проходження моделі не можна встановити достовірно схожість механізмів обертання і зсуву. А візуальний контроль через бокове скло дозволяє це зробити практично на всю глибину робочого ходу.

Дослідження нами виконані з масштабним коефіцієнтом $M=4$, хоча масштабні коефіцієнти 2 і 3 дають більшу адекватність результатів. Таке значення прийняте у зв'язку з обмеженістю розмірів ґрунтового лотка.

За результатами досліджень залежності тягового опору моделі корпусу полицевого плуга від поступової швидкості і питомого сцеплення часток

модельного середовища отримана наступна матриця експериментальних даних (табл.1)



Рисунок 1 – Загальний вид дослідної установки

Таблиця 1 – Вихідна матриця досліджень

Поступова швидкість моделі, м\с	0,31	0,35	0,41	0,43	0,47	0,49	0,51	0,53
Тяговий опір моделі*, Н	65	70	75	80	85	90	95	100
Поступова швидкість натурального зразка, м\с	2,0	2,5	2,7	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6
Питоме сцеплення часток ґрунту, C_n , кН/м ²	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Розрахункове значення тягового опору натурального зразка, кН	0,24	0,28	0,31	0,37	0,40	0,43	0,44	0,48

* - Значення округлені до величини 5Н, виходячи з точності виконуваних замірювань

Аналіз даних таблиці показує загальновідому тенденцію до збільшення тягового опору знарядь полиневого типу від поступової швидкості при постійному значенні питомого зчеплення часток ґрунту, а саме, залежність не лінійна і близька до квадратичної.

Отримані перераховані на натурний зразок значення тягового опору знаходяться в межах 15% від отриманих експериментально [11].

Висновки

Фізичне моделювання ґрунтообробних машин являє собою ефективний метод відпрацювання їх конструктивних параметрів з мінімальними затратами. Моделювання необхідно виконувати на основі критеріальних рівнянь безрозмірного характеру. Таке рівняння може бути отримане на основі аналізу детермінантної аналітичної моделі взаємодії робочого органу з ґрунтом методом аналізу розмінностей.

Експериментальними дослідженнями доведена адекватність критеріального рівняння, отриманого на основі аналізу теорії внутрішньої напруги, запропонованої А.М.Панченко.

Список використаних джерел

1. Баловнев В. И. Методы физического моделирования рабочих процессов дорожно - строительных машин / В. И. Баловнев. - М.: Машиностроение, 1974. - 232 с.
2. Брижаний І.Ю. Правомірність використання питомого зчеплення часток в якості інтегрального показника механіко-технологічних властивостей ґрунту/ І.Ю. Брижаний, Б.А. Волик, Г.В.Теслюк : Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Технології АПК ХХІ століття : Проблеми і перспективи розвитку» : Ніжин, 2017 – С.34-36.
3. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські та меліоративні машини: підручник / Д. Г. Войтюк, В. О. Дубровін, Т. Д. Іщенко [та ін.]; за ред. Д. Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
4. Гайдай С. Досвід використання технології Strip-till в Україні на прикладі СТОВ «Дружба-Нова» / С.Гайдай // Farmer. Щомісячник. – 2012. - № 9. – С.99 – 101.
5. Євтушенко В. Strip-till в Україні / В. Євтушенко. - // The ukrainian Farmer. - К. : ТОВ "АГП Медіа", 2012. - № 9. - С. 99-100
6. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: навчальний посібник / А. С. Кобець, Т. Д. Іщенко, Б. А. Волик, О. А. Демидов. – Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2009. – 84 с.
7. Мударисов С.Г. Повышение качества обработки почвы путем совершенствования рабочих органов машин на основе моделирования технологического процесса: Автореф. дис... докт. техн. наук: 05.20.01. – Челябинск, 2007. – 40с.
8. Моделювання технологічних процесів ґрунтообробних машин. / Г.В. Теслюк Б.А. Волик, А.Н. Кобець А.М.Пугач // Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. – 2017. - №2 (44). – С.93-97
9. Панченко А. Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями / А. Н. Панченко.- Днепропетровск: ДГАУ, 1999. – 140 с.
10. Седов Л.И. Методы подобия и размерностей в механике:електронний ресурс, код доступу <https://www.twirpx.com/file/67970/>
11. Семенюта А.М. Обґрунтування конструктивної схеми, параметрів та режимів роботи дискового плуга: автореф. дис..на здобуття ступеня канд.. техн. наук / А.М.Семенюта. – Мелітополь, 2014. – 23 с.
12. Штерензон В. А. Моделирование технологических процессов: конспект лекций / В. А. Штерензон. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, <http://www.rsvpu.ru/filedirectory/3468/shterenzon.pdf>

Summary

FORMATION OF CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF GROUND-MAKING MACHINES METHODS OF PHYSICAL MODELING

S. Sokol, B. Volik

Dniprovsk state university of agriculture and economics

Methods of physical modeling are widely used when working out the design parameters of complex machines. Soil-cultivating machines, in their majority, are not considered to be complex, but the method in agricultural machinery is rather widespread. But in most of the experiments, they do not expect to obtain numerical values of the studied quantities, because the methods of transferring them to a model machine do not allow it to do this. The article proposes such a technique for soil cultivating tools. The basis of the cited criterion equation, obtained by the method of analyzing the dimensions of the theory of internal stress, is established. In itself, the criterial equation obtained in this way does not allow the conversion of values to a real sample. But the proposed auxiliary similarity criteria at different values of the scale factor make it possible. Thus, the method involves the presence of a defining criterion, which contains one basic constructive element, an integral index of soil mechanical properties. Two auxiliary criteria include: the first - the ratio of velocities, the second ratio of secondary constructive sizes. Laboratory studies should be performed with two scale factors. The recommended values are $M1 = 2$; $M2 = 3$. In this case, model researches must be performed using a model environment, the parameters of which are based on a determinative similarity criterion. The given method can be used in researches using the methods of bionics, hydrodynamic and simulation modeling. The performed experimental studies showed a good convergence of the results obtained.

Key words: *physical modeling, similarity criterion, theory of internal stress; scale factor, model environment.*