

УДК 631.319

Теслюк Г., канд. тех. наук, доцент, Волик Б., канд. техн. наук, доцент, Кобець О., канд. тех. наук, доцент, Пугач А., д-р держ. управління., доцент, (Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет)

Моделювання технологічних процесів ґрунтообробних машин

В роботі систематизовано досвід проведення модельних досліджень робочих органів ґрунтообробних машин. Обґрунтована мінімально необхідна кількість параметрів, які необхідно прийняти для встановлення критеріїв подібності для знаряддя та доцільність переходу на групові критерії подібності, які дозволяють враховувати взаємовплив параметрів. Обґрунтована можливість використання гідродинамічного моделювання для визначення проблемних ділянок різального периметра знаряддя з точки зору проходження ґрунтового потоку.

Ключові слова: моделювання, критерії подібності, π -теорема, масштабний коефіцієнт

Постановка проблеми. Моделювання, як інструмент відпрацювання конструктивних параметрів технологічно складних машин широко використовується в різних галузях техніки. Систематизувати види моделювання досить складно, бо кожна галузь має свої специфічні особливості і модельні дослідження виконуються стосовно до них. У сільськогосподарському машинобудуванні історично склалися два види, які можна чітко окреслити як самостійні, – це фізичне і математичне.

Суть фізичного моделювання полягає в проведенні досліджень на зменшених копіях об'єкта досліджень з наступним поширенням отриманих результатів на реальний масштаб. Метод може дати об'єктивні результати тільки в разі дотримання фізичної подібності реального явища і моделі. Подібність досягається за рахунок рівності для моделі і реального об'єкта критеріїв подібності. Проблема полягає в тому, що досягти рівності критеріїв подібності різних за фізичною суттю величин досить складно, тому в сільськогосподарському машинобудуванні фізичне моделювання найчастіше використовується як метод перевірки робочого органа на працездатність, тобто без отри-

мання абсолютних значень досліджуваних величин. Математичне моделювання використовується на проектному етапі розробки машин. Базуючись на прикладних методах землеробської механіки на сучасному етапі можна розробити математичну модель практично будь-якої сільськогосподарської машини. Але, враховуючи велику кількість припущень, які приймаються в землеробській механіці, розроблені моделі можна сприймати тільки як оціночні.

Аналіз останніх досліджень. Засновником більшості методів фізичного моделювання ґрунтообробних машин по праву вважається В.І.Баловнев [1]. Практично всі наступні дослідження різних авторів у своїй основі базуються на обґрунтованих ним трьох теоремах подібності. Серед останніх досліджень слід відмітити роботи колективу авторів кафедри сільськогосподарських машин ДДАЕУ [8], в якій запропонована методика окремого визначення складових тягового опору ґрунтообробних машин, і роботу А.М.Семенюти [10], в якій аргументована можливість відмови від досліджень у модельному середовищі, що автоматично зменшує на одиницю достатню кількість критеріїв подібності.

© Теслюк Г., Волик Б., Кобець О., Пугач А., 2017

С.Г. Мударісов [6], навпаки, штучно збільшує кількість критеріїв подібності, що суто теоретично повинно покращити точність виконуваних досліджень. Але такий підхід суттєво ускладнює узгодження критеріїв і підвищує вимоги як до самих моделей, так і до методики проведення експерименту.

Мета роботи – обґрунтування раціональної схеми модельних досліджень ґрунтообробних робочих органів.

Основний матеріал досліджень. Як відомо [4], метод фізичного моделювання може дати адекватні результати лише в тому разі, коли існує рівність критеріїв подібності моделі і реального досліджуваного явища (π -теорема). Критерій подібності являє собою відношення однойменних параметрів, які мають єдину фізичну природу, наприклад, для дискового плуга - співвідношення діаметрів дисків натурального зразка і моделі повинно дорівнювати співвідношенню глибин занурення, робочих швидкостей і т.п. Всяка комбінація критеріїв подібності теж є критерієм подібності.

Критерії подібності визначають масштабний коефіцієнт моделі. Таким чином, методика априорі передбачає єдиний масштабний коефіцієнт для всіх конструкційних і кінематичних параметрів машини що, як показали результати досліджень, не завжди є коректним.

Модельні дослідження ґрунтообробних машин виконують з метою визначення тягового опору, якості кришення і технологічної надійності знаряддя. Тому в моделі повинні бути враховані вихідні дані, які мають вплив на ці показники. У відповідності до них і будують критерії подібності. Як показали виконані нами дослідження, для ґрунтообробних робочих органів необхідно і достатньо мати три показники :

B – конструктивний параметр, який визначає конструкцію робочого органу, як правило, це конструктивна ширина захвату;

V – параметр, який характеризує кінематичний режим роботи;

C – інтегральний показник механіко-технологічних властивостей оброблюваного середовища.

Таким чином, у відповідності до π -теорема:

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{C_1}{C_2},$$

де індекси 1 і 2 позначають відповідно приналежність параметра до натурального зразка і моделі.

У роботі нами систематизований досвід модельних досліджень на прикладі двох принципово різних за конструкцією робочих органів: V-подібного [3,9] і дискового [2,10]. Результати досліджень V-подібного представлені в табл. 1.

Робочий орган являє собою найпростішу конструкцію, утворену двома стояками, встановленими під кутами до вертикалі та напрямку руху і з'єднані долом у нижній частині, тобто конструкція якнайкраще підходить до моделювання.

Аналіз отриманих результатів показує, що зі збільшенням масштабного коефіцієнта відповідно збільшується і похибка отримуваних результатів. Більш детальний аналіз аналітичної моделі показує, що масштабування призводить до зміни фізики процесу. Справа в тому, що кутові параметри лишаються незмінними, а саме вони визначають величину біль-

шості складових тягового опору. Таким чином, ми прийшли до висновку, що масштабування необхідно розділити на два етапи. На першому - масштабувати технологічний процес загалом, на другому - з урахуванням аналітичної моделі процесу окремо його складові. Таким чином, ми допускаємо, що масштабні коефіцієнти показників можуть бути різними, але вони повинні компенсувати один одного так, щоб загальний масштабний коефіцієнт дорівнював прийнятому на початковому етапі.

Таблиця 1 – Результати модельних досліджень тягового опору V-подібного робочого органу

Масштабний коефіцієнт	Вихідні дані			Тяговий опір, кН		
	Робоча ширина захвату, B_p , м	Робоча швидкість, V_p , м/с	Кількість ударів твердоміра, С	Заміряне значення, кН	Перераховане на натуральний зразок, кН	Похибка, %
K = 1	0,45	2,1	23,3	1,15	-	-
K = 2	0,22	1,05	11,6	0,47	0,94	18
K = 3	0,15	0,7	7,8	0,28	0,84	27

Розглянемо детальніше це положення на прикладі V-подібного розпушувача.

Існує аналітична модель взаємодії робочого органу довільної геометричної форми з ґрунтом [9]. Модель базується на принципах теорії внутрішньої напруги у ґрунті і дозволяє обчислювати складові тягового опору. Приймемо вихідні дані і виконаємо розрахунки стосовно до натурального зразка робочого органу :

- робоча ширина захвату $B_p = 0,45$ м;
- робоча швидкість $V_p = 2,5$ м/с;
- питоме зчеплення часток ґрунту, $C_{\text{пит}} = 6$ кН/м².

У результаті розрахунку отримуємо :

- тяговий опір на відкол призми ґрунту $P_c = 0,82$ кН;
- тяговий опір швидкісного напору $P_v = 0,49$ кН;
- загальний тяговий опір $P_{\Sigma} = 1,31$ кН.

Якщо прийняти масштабний коефіцієнт конструктивних параметрів $k = 3$, то складові тягового опору повинні становити:

- тяговий опір на відкол призми ґрунту $P_c = 0,82:3 = 0,273$ кН;
- тяговий опір швидкісного напору $P_v 0,49:3 = 0,163$ кН;
- загальний тяговий опір $P_{\Sigma} = 1,31:3 = 0,436$ кН.

Тепер підемо зворотним шляхом і обчислимо вихідні параметри, які задовольняють обчислені значення тягового опору:

- робоча ширина захвату $B_p = 0,15$ м; $kB = 3$

- робоча швидкість $V_p = 0,95$ м/с; $k_v = 2,63$
 - питоме зчеплення часток ґрунту, $C_{\text{пит}} = 1,72$ кН/м²;
 $k_c = 8,3$,
 де k_b , k_v , k_c – відповідні масштабні коефіцієнти.

Таким чином, ми бачимо, що для забезпечення відповідності моделі натурному зразку за тяговим опором необхідно мати різні масштабні коефіцієнти для вихідних параметрів.

Нами були проведені експерименти у ґрунтовому каналі з використанням отриманих масштабних коефіцієнтів. Сама модель при цьому не змінювалась. Було отримане заміряне значення тягового опору 0,33 кН, що в перерахунку на натуральний зразок становить $P_z = 0,99$ кН. Таким чином, похибка зменшилась до 14%.

Аналогічні розрахунки для стандартного сферичного диска діаметром $D = 650$ мм дали наступні раціональні масштабні коефіцієнти: $k_D = 3$; $k_c = 5,8$; $k_v = 4,2$.

Важливим показником працездатності ґрунтообробного робочого органу є розподіл тиску по його поверхнях. Такі дослідження дозволяють визначити ділянки аномального тиску, що в разі їх наявності, може служити непрямим підтвердженням нераціональності конструкції. Методами фізичного моделювання це зробити складно, бо розміри утворюваних у модельному середовищі агрегатів можуть унеможливити роботу датчиків тиску. Вихід з такого положення бачиться у виконанні частини досліджень методами гідродинамічного моделювання. Сам метод стосовно ґрунтообробних машин вперше був запропонований В.С. Казаковим [5] і детально відпрацьований в ДДАЕУ [3,7]. Сутність методу полягає в становленні аналогії складових рівняння Бернуллі і рівняння Горячкіна, табл. 2.

Таблиця 2 – Таблиця відповідності складових рівнянь Бернуллі і Горячкіна

Рівняння Бернуллі	Рівняння горячкіна
Повний гідродинамічний напір $H = Z + \rho \cdot g \cdot h + \frac{\rho \cdot V^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_1$	Тяговий опір знаряддя $P = k \cdot a \cdot b + \varepsilon \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot V^2 + f \cdot G + i \cdot G$
Z – висотне положення перетину	$i \cdot G$ – опір на ухил
$\rho \cdot g \cdot h$ – гідростатичний тиск	$k \cdot a \cdot b$ – опір ґрунту деформації
$\frac{\rho \cdot V^2}{2}$ – динамічний тиск	$\varepsilon \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot V^2$ – опір ґрунту на відкидання
$\rho \cdot g \cdot h_1$ – втрати напору по довжині	$f \cdot G$ – опір на перекочування

Практично схеми експериментів досить близькі (рис. 1).

Для гідродинамічних досліджень використовується заповнений рідиною гідравлічний лоток. Модель робочого органу навішується на візок, який переміщується по рейках вздовж лотка. По периметру робочого органу врізані штуцери 2 (рис. 1, б). Системою шлангів 3 тиск рідини передається на мірні трубки 4, у верхній звуженій частині 5 встановлені крани 6. Відкриваючи і закриваючи крани, можна заміряти статичний і динамічний тиск. З метою підвищення чутливості модель 1 виконується у масштабі збільшення.

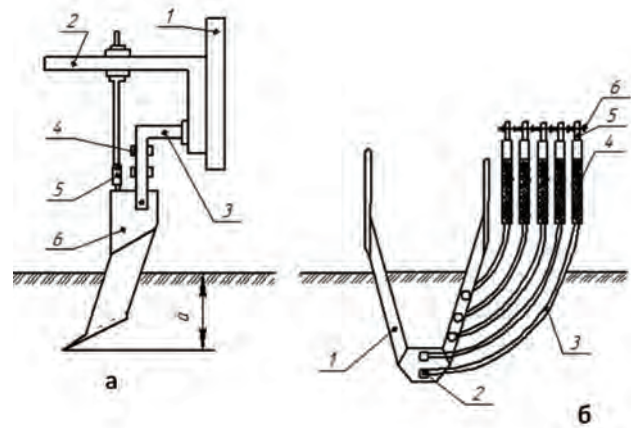


Рис. 1 - Схема моделювання ґрунтообробного робочого органу: а – фізичне; б – гідродинамічне;

У процесі руху трубки 4 показують діючий тиск в мм водного стовпа. Показання знімають, фотографуючи трубки в процесі роботи. Абсолютні значення тиску можна отримати порівняльними дослідженнями, але часто цього не виконують, бо досліджується тільки розподіл тиску по поверхнях.

Виконані нами експерименти показали, що даний метод забезпечує отримання відносного розподілу тиску і його можна рекомендувати як допоміжний у фізичному моделюванні.

Висновки.

1. Фізичне моделювання технологічних процесів ґрунтообробних машин повинно включати три складові: конструктивний параметр, який визначає конструкцію робочого органу, параметр, який характеризує кінематичний режим роботи, інтегральний показник механіко-технологічних властивостей оброблюваного середовища.

2. Моделювання за єдиним критерієм подібності дає значну похибку отримуваних результатів, тому що не враховує зміну фізики досліджуваних процесів.

3. Визначити масштабний коефіцієнт складових треба на основі визначення вкладу в загальний опір кожної з них, аналізом математичної моделі взаємодії з ґрунтом.

4. Гідродинамічне моделювання може служити доповненням до фізичного, але тільки для визначення співвідношення діючих сил по периметру робочого органу.

Список літератури

1. Баловнев В.И. Методы физического моделирования рабочих процессов дорожностроительных машин / В.И. Баловнев – М.: Машиностроение, 1974. – 232с.

2. Волик Б.А. Результаты лабораторно-полевых исследований дискового плуга/ Б.А.Волик, А.Н.Семенюта // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар.научно-практ. конф.: в 3т. – Минск, 2011. – Т1. – С.139 – 142.

3. Волик Б.А. Розробка і дослідження чісель-плуга на базі знарядь V-подібної форми : автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук / Б.А.Волик –

Дніпропетровськ, 1998. 17 с.

4. Зарубин, В. С. Математическое моделирование в технике : [учебник для студентов высших технических учебных заведений] / В. С. Зарубин .— Изд. 3-е .— Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010 .— 496 с.

http://www.library.ugatu.ac.ru/pdf/teach/Zarubin_Matematicheskoe_modelirovanie_2010.pdf

5. Казаков В.С. Методические указания по испытаниям рабочих органов в гидравлическом лотке / В.С.Казаков, Р.Г.Кожевникова, В.Г.Пальцев – М.: МИИСП, 1992.- 8с.

6. 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.

7. Павленко С.И. Обоснование параметров почвообрабатывающих орудий методом гидродинамических аналогий/ С.И.Павленко, Б.А.Волик, А.С.Гаврильченко // Энергосберегающие технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: доклады Международной научно-практической конференции, Минск 12-13 июня 2008 г. В 2 ч., ч.1. – 2008. – с.144-148.

8. Павленко С.И. Методика лабораторных исследований составляющих тягового сопротивления почвообрабатывающих машин / С.И.Павленко, В. А. Колбасин, А.С.Гаврильченко, А.Н.Пугач, А.Н.Семенюта// Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международной научно-практ. конф.- Минск, 2010. – Т.1. С.80-83.

9. Панченко А.Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями / А.Н. Панченко. –

Днепропетровск: ДГАУ, 1999. – 140 с.

10. 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.

Аннотация. В работе систематизирован опыт проведения модельных исследований рабочих органов почвообрабатывающих машин. Обосновано минимально необходимое количество параметров, которые необходимо принять при установлении критериев подобия для орудий и целесообразность перехода на групповые критерии подобия, которые позволяют учитывать взаимное влияние параметров.

Обоснована возможность использования гидродинамического моделирования для определения проблемных участков режущего параметра орудия с точки зрения прохождения почвенного потока.

Summary. We systematized the experience of modeling studies working organs of tillers. Substantiated minimum number of parameters that need to be taken in establishing the similarity criteria for the tools. It is noted that the scaling often changes the physics of the processes, especially when it comes to active working bodies. Therefore, the feasibility of switching to argumented group similarity criteria, which allow to take into account the parameters of mutual influence on each other.

Стаття надійшла до редакції 17 лютого 2017 р.