

УДК 631.319

Теслюк Г.В., к.т.н., доцент, Волик Б.А., к.т.н., доцент, Кобець О.М., к.т.н., доцент, Пугач А.М., доктор держ. управління., доцент, (Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет)

## **МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН**

**Анотація.** *В роботі систематизований досвід проведення модельних досліджень робочих органів ґрунтообробних машин. Обґрунтована мінімально необхідна кількість параметрів, які необхідно прийняти при встановленні критеріїв подібності для знаряддя. Відмічено, що масштабування часто змінює фізичну суть досліджуваних процесів, особливо в випадку коли мова йде про активні робочі органи. Тому, в роботі аргументована доцільність переходу на групові критерії подібності, які дозволяють враховувати взаємний вплив параметрів один на одній.*

*Обґрунтована можливість використання гідродинамічного моделювання для визначення проблемних ділянок різучого периметра знаряддя з точки зору проходження ґрунтового потоку. За основу методу прийнята відповідність складових рівнянь Бернуллі і В.П.Горячкіна.*

Ключові слова : моделювання, критерії подібності,  $\pi$ -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 пристосовно до них. В 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'єкту досліджень з наступним розповсюдженням 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'єкту 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 отримання 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 ґрунтобробних машин по-праву вважається В.І.Баловнєв [1]. Практично всі наступні дослідження різних авторів в своїй основі базуються на обґрунтованих ним трьом теоремам 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 в модельному середовищі, що автоматично зменшує на одиницю достатню кількість критеріїв подібності.

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 явища, що досліджується ( $\pi$ -теорема). Критерій подібності являє собою відношення одноіменних параметрів, що 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 апріорі передбачає єдиний масштабний коефіцієнт для всіх конструктивних 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 :

(В) – конструктивний параметр, який визначає конструкцію робочого органа, як правило, це конструктивна ширина захвату;

(V) – параметр, що характеризує кінематичний режим роботи;

(С) – інтегральний показник механіко-технологічних властивостей оброблюваного середовища.

Таким чином, у відповідності до  $\pi$ -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.

В 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, що встановлені під кутами до вертикалі та напрямку руху і з'єднані долотом в нижній частині, тобто конструкція якнайкраще підходить до моделювання.

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

Масштабний коефіцієнт	Вихідні дані			Тяговий опір, кН		
	Робоча ширина захвату, $V_p$ , м	Робоча швидкість, $V_p$ , м/с	Кількість ударів твердоміру, С	Заміряне значення, кН	Перераховане на натурний зразок, кН	Нев'язка, %
$K = 1$	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

Аналіз отриманих результатів показує, що зі збільшенням масштабного коефіцієнту відповідно збільшується і похибка отримуваних результатів. Більш детальний аналіз аналітичної моделі показує, що масштабування призводить до зміни фізики процесу. Діло в тому, що кутові параметри лишаються незмінними, а саме вони визначають величину більшості складових тягового опору. Таким чином, ми прийшли до висновку, що масштабування необхідно розділити на два етапи. На першому - масштабувати технологічний процес в цілому, на другому - з урахуванням аналітичної моделі процесу, окремі його складові. Таким чином ми допускаємо, що масштабні коефіцієнти показників можуть бути різними, але вони повинні компенсувати один одного таким

чином, щоб загальний масштабний коефіцієнт дорівнював прийнятому на початковому етапі.

Розглянемо детальніше це положення на прикладі V- подібного розпушувача.

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

- робоча ширина захвату  $V_P = 0,45$  м;
- робоча швидкість  $V_P = 2,5$  м/с;
- питоме зчеплення часток ґрунту,  $C_{\text{ПІТ}} = 6$  кН/м<sup>2</sup>.

В результаті розрахунку отримуємо :

- тяговий опір на скол 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 скол 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 обчисленим значенням тягового опору :

- робоча ширина захвату  $V_P = 0,15$  м;  $k_B = 3$
- робоча швидкість  $V_P = 0,95$  м/с;  $k_V = 2,63$
- питоме зчеплення часток ґрунту,  $C_{\text{ПІТ}} = 1,72$  кН/м<sup>2</sup>;  $k_C = 8,3$ ,

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  $P_{\Sigma} = 0,99$  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 органа є розподіл тиску по його поверхням. 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 в модельному середовищі агрегатів можуть унеможливити роботу датчиків тиску. Вихід з такого положення бачиться у виконанні частини досліджень методами гідродинамічного моделювання. Сам метод пристосовно до ґрунтообробних машин вперше був запропонований В.С. Казаковим [5] і детально відпрацьований в ДДАЕУ [3,7]. Сутність методу полягає в становленні аналогій складових рівняння Бернуллі і рівняння Горячкіна, табл. 2.

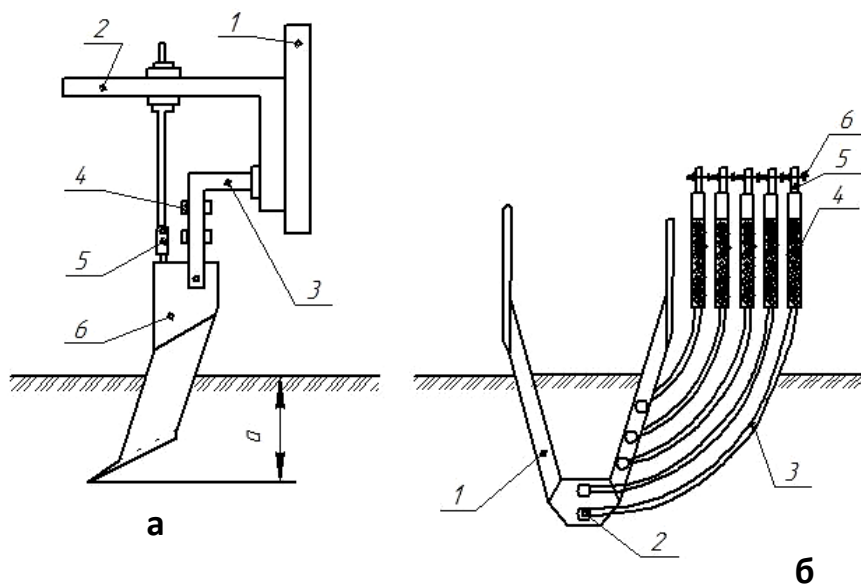
Таблиця 2 – Таблиця відповідності складових рівнянь Бернуллі і Горячкіна

РІВНЯННЯ БЕРНУЛЛІ	РІВНЯННЯ ГОРЯЧКІНА
Повгий гідродинамічний напір $H = Z + \rho \cdot g \cdot h + \frac{\rho \cdot V^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_1$	Тяговий опір зняряддя $P = k \cdot a \cdot b + \varepsilon \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot V^2 \cdot f \cdot G + i \cdot G$
$Z$ – 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 органа навішується на візок, який переміщується по рейкам вздовж лотка. По периметру робочого органа врізані штуцери 2 (рис.1,б). Системою шлангів 3 тиск рідини передається на мірні трубки 4, в верхній звуженій частині 5 встановлені крани 6. Шляхом відкривання і закривання кранів можна заміряти статичний і динамічний тиск. З метою підвищення чутливості, модель 1 виконується у масштабі збільшення.

В процесі руху, трубки 4 показують діючий тиск в мм водного стовпа. Показання знімають шляхом фотографування трубок в процесі роботи. Абсолютні значення тиску можна отримати, шляхом порівняльних досліджень, але часто цього не виконують, бо досліджується тільки розподіл тиску по поверхням.



а – фізичне моделювання ; б – гідродинамічне моделювання

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

## Висновки

1. Фізичне моделювання технологічних процесів ґрунтообробних машин повинно включати три складові : конструктивний параметр, який визначає конструкцію робочого органа, параметр, що

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. Визначати масштабний коефіцієнт складових треба на основі визначення вкладу в загальний опір кожної з них, шляхом аналізу математичної моделі взаємодії з ґрунтом.

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

### **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 чізель-плуга на базі знарядьV-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](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 орудия. Отмечено, что масштабирование часто изменяет физику исследуемых процессов, особенно если речь идет об активных рабочих органах. Поэтому в работе*

*аргументирована целесообразность перехода на групповые критерии подобия, которые позволяют учитывать взаимное влияние параметров друг на друга.*

**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 argumentirovana group similarity criteria, which allow to take into account the parameters of mutual influence on each other.*