



Механіка агротехнологічних матеріалів Mechanics of agrotechnological materials

УДК 532.5.013.12

Метод гідродинамічних аналогій в системі модельних досліджень ґрунтообробних машин

Б.А. Волик, Є.І. Лепеть, А.В. Коновий

Дніпровський державний аграрно-економічний університет (м. Дніпро, Україна)

Запозичення в процесі створення ґрунтообробних машин методів біоніки є перспективним напрямком розвитку галузі сільськогосподарського машинобудування. Сутність полягає в тому, що обирається біологічний аналог робочого органу, створюється математична модель його взаємодії з середовищем і за результатами розрахунків у відповідності до моделі приймається рішення про конкретне конструктивне виконання знаряддя. Проблема полягає в тому, що практично всі можливі біологічні аналоги є морськими тваринами, тобто методів гідродинамічної аналогії не уникнути.

В статті розглянутий метод гідродинамічних аналогій як різновид аналогового моделювання. На відміну від теоретичних досліджень В.С. Казакова наведена методика дозволяє встановити в експерименті критерії подібності, що розширює можливості методу. Суттєвою перевагою є деталізація складових опору до рівня вихідних даних. Встановлено, що коефіцієнт лобового опору в гідродинаміці і питоме зчеплення часток ґрунту мають ідентичну сутність і їх можна використовувати при визначенні критеріїв подібності. Встановлено, що поняття ріжучий периметр може бути ідентифікованим в гідродинаміці поняттям площа змочуваної поверхні. В статті запропоновано в якості критеріїв подібності прийняти співвідношення відповідних складових рівняння тягового опору А.М. Панченко і рівняння лобового опору тіла, що рухається у водному середовищі.

В роботі доведена можливість сумісного використання критеріїв подібності аналогового і фізичного моделювання.

Ключові слова: метод гідродинамічних аналогій, критерії подібності, біологічний аналог.

Постановка проблеми. Важливим показником працездатності ґрунтообробного робочого органу 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 унеможливають роботу датчиків тиску.

Аналіз публікацій і досліджень. Вирішення проблеми бачиться у виконанні частини досліджень методами гідродинамічного моделювання. Сам метод стосовно до ґрунтообробних машин вперше був запропонований В.С. Казаковим [2] і детально відпрацьований в ДДАЕУ [1, 3]. Сутність методу полягає в становленні аналогій складових рівнянь Бернуллі і Горячкіна, табл. 1.

Практично, суть методу полягає в тому, що на робочих поверхнях моделі досліджуваного робочого органу в критичних місцях встановлюють

датчики тиску і модель протягують в гідравлічному лотку, який від ґрунтового відрізняється тим, що робочим тілом виступає рідина. Співвідношення показань датчиків і є критерієм оцінки співвідношень реальних значень тиску ґрунтового середовища на натурний зразок знаряддя.

Але рівняння Горячкіна є узагальнюючим для тягового опору і не враховує фізики процесів, що відбуваються, а в процесі досліджень бажано знати саме вклад окремих складових в процес взаємодії робочих поверхонь з ґрунтом.

Мета дослідження. Розповсюдження методу гідродинамічних аналогій на сучасні моделі взаємодії робочого органу довільної геометричної форми з оброблюваним середовищем.

Основний матеріал досліджень. Серед останніх досліджень відома методика визначення реакції ґрунтового середовища на робочий орган довільної геометричної форми А.М. Панченко [4]. Автором введена умовна фізична величина, яка є інтегральним показником опору

ґрунту – це внутрішня напруга. Основні положення теорії внутрішньої напруги.

Таблиця 1. Відповідність складових рівнянь Бернуллі і Горячкіна за В.С. Казаковим [2].

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

При відокремленні від загального масиву елементарної скиби ґрунту необхідно подолати внутрішню напругу, яку визначають за формулою

$$G = \frac{R_c}{b \cdot a}, \quad (1)$$

де R_c – результуюча сила зчеплення часток ґрунту на ділянці відокремлення; b, a – поперечний перетин скиби.

$$R_c = \frac{P_0 \cdot (1 - \cos \alpha)}{\sin \alpha}, \quad (2)$$

де P_0 – результуюча осьова сила зчеплення часток; α – кут укладання часток.

Методика визначення G детально викладена в роботі [4].

Результуючу осьову силу зчеплення можна визначити знаючи питоме зчеплення часток ґрунту, яке у свою чергу визначається твердоміром ДорНДІ [4]. Остаточо, ступінь розпушення визначається

$$i = \frac{2 \cdot K_p \cdot E}{G^2} + 1, \quad (3)$$

де K_p – питомий коефіцієнт різання ґрунту; E – модуль пружності ґрунту.

Питомий коефіцієнт різання ґрунту визначається як відношення опору різання на поперечний перетин скиби.

У відповідності до методики, робочий орган ототожнюється з елементарним долотом з наведеною шириною захвату, для якого опір різанню визначається

$$P_p = C_{уд} \cdot F_{ск}, \quad (4)$$

де $F_{ск}$ – сумарна площа зколу; $C_{уд}$ – питоме зчеплення часток ґрунту.

Як впливає з наведеного, проблема полягає в визначенні питомого коефіцієнта різання ґрунту, яке створює робоча поверхня. У відповідності до [4] питомий коефіцієнт різання ґрунту визначається як відношення проекції на напрямку руху всіх діючих сил до площі поперечного перетину скиби. Діючі сили у свою чергу залежать від форми робочої поверхні, швидкості руху та механіко-технологічних властивостей ґрунту. Узагальнюючі основні положення методики отримуємо підсумкову формулу для визначення тягового опору знаряддя

$$P_{\Sigma} = P_p + P_T = f_{(\varphi, \rho, V)} \quad (5)$$

де P_T – загальна реакція сил тиску і тертя – визначають за рівнянням підпірної стінки Цитовича [5].

Рівняння лобового опору тіла, що рухається у водному середовищі

$$F_L = C_x \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}, \quad (6)$$

де φ – кут тертя; C_x – коефіцієнт лобового опору; S – площа міделевого перетину; ρ – щільність середовища; V – швидкість руху.

Аналізуючи залежності (4), (5), (6) нами пропонується встановити наступні аналоги (табл. 2).

Таблиця 2. Відповідність складових реакції ґрунту за теорією внутрішньої напруги і складових лобового опору тіла, що рухається у водному середовищі

Рівняння А.М. Панченко	Рівняння лобового опору
Питоме зчеплення часток ґрунту	Коефіцієнт лобового опору
Площа зколу призми ґрунту	Площа міделевого перетину
Ріжучий периметр	Площа змочуваної поверхні
Щільність ґрунту	Щільність водяного середовища
Швидкість руху	Швидкість руху
Коефіцієнт тертя спокою	Показник для рідини відсутній
Коефіцієнт тертя ковзання	Коефіцієнт тертя ковзання
Коефіцієнт розпушення	Число Рейнольдса

Аналіз табл. 2 показує, що для всіх вихідних параметрів в обох залежностях є аналоги, які можна використати для визначення критеріїв подібності, що є основною умовою модельних досліджень.

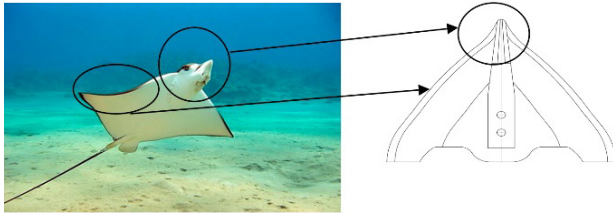


Рис. 1. Ідентифікація тіла каліфорнійського морського скату в якості біологічного аналогу стрільчастої лапи

Нами виконано ряд аналітичних досліджень з використанням критеріїв гідродинамічних критеріїв подібності (рис.1.), якими ми аргументували форму стрільчастої лапи підвищеної обтічності.

Висновки: Наведена методика дозволяє встановити в експерименті критерії подібності, що розширює можливості методу гідродинамічних аналогій. Суттєвою перевагою перед методикою В.С. Казакова є деталізація складових опорів до рівня вихідних даних.

Література

1. Волик Б.А. Применимость методов гидродинамического моделирования к отработке конструктивных параметров почвообрабатывающих машин. / Б.А. Волик, Г.В. Теслюк // Наукові дослідження – теорія та експеримент 2005 // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – Т.10. – Полтава, 2005. – с.18 - 20.
2. Казаков В.С. Методические указания по испытаниям рабочих органов в гидравлическом лотке / В.С. Казаков, Н.Г. Кожевникова, В.Г. Пальцев – М.: МИИСП, 1992. – 8 с.
3. Павленко С.И. Обоснование параметров почвообрабатывающих орудий методом гидродинамических аналогий / С.И. Павленко, Б.А. Волик, А.С. Гаврильченко // Энергосберегающие

Аннотация

Метод гидродинамических аналогий в системе модельных исследований почвообрабатывающих машин

Б.А.Волик, Е.И.Лепеть, А.В.Коновий

Заимствования в процессе создания почвообрабатывающих машин методов бионики является перспективным направлением развития отрасли сельскохозяйственного машиностроения. Сущность заключается в том, что избирается биологический аналог рабочего органа, создается математическая модель его взаимодействия со средой и по результатам расчетов в соответствии с моделью принимается решение о конкретном конструктивном исполнении орудия. Проблема заключается в том, что практически все возможные биологические аналоги являются морскими животными, то есть методов гидродинамической аналогии не избежать.

В статье рассмотрен метод гидродинамических аналогий как разновидность аналогового моделирования. В отличие от теоретических исследований В.С. Казакова приведена методика позволяет

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.

4. Панченко А.Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями / А.Н. Панченко. – Днепропетровск: ДГАУ, 1999. – 140 с

5. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс): учебник для строит. вузов / Н.А. Цытович. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1983. – 288 с

References

1. Volyk B.A. Primenimost' metodov gidrodinamicheskogo modelirovaniya k otrabotke konstruktivnyh parametrov pochvoobrabatyvayushchih mashin / B.A. Volyk, G.V. Teslyuk / Naukovi doslidzhennya – teoriya ta eksperiment 2005// Materiali mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencії. – Т.10. – Poltava, 2005. – с.18 - 20.
2. Kazakov V.S. Metodicheskie ukazaniya po ispytaniyam rabochih organov v gidravlicheskom lotke / V.S. Kazakov, N.G. Kozhevnikova, V.G. Pal'cev – М.: MIISP, 1992. – 8 s.
3. Pavlenko S.I. Obosnovanie parametrov pochvoobrabatyvayushchih orudij metodom gidrodinamicheskikh analogij / S.I. Pavlenko, B.A. Volyk , A.S. Gavril'chenko // Energoberegayushchie tekhnologii i tekhnicheskie sredstva v sel'skohozyajstvennom proizvodstve: doklady Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Minsk 12 -13 iyunya 2008 g. V 2 ch., ch.1. – 2008. – s. 144 -148.
4. Panchenko A.N. Teoriya izmel'cheniya pochv pochvoobrabatyvayushchimi orudiyami / A.N. Panchenko. – Dnepropetrovsk: DGAU, 1999. – 140 s
5. Cytovich N.A. Mekhanika gruntov (kratkij kurs): uchebnik dlya stroit. vuzov / N. A. Cytovich. – 4-e izd., pererab. i dop. – М.: Vyssh. shk., 1983. – 288 s.

установить в эксперименте критерии подобия, расширяет возможности метода. Существенным преимуществом является детализация составляющих сопротивления до уровня исходных данных. Установлено, что коэффициент лобового сопротивления в гидродинамике и удельное сцепление частиц грунта имеют идентичную сущность и их можно использовать при определении критериев подобия. Установлено, что понятие режущий периметр может быть идентифицированным в гидродинамике понятием площадь смачиваемой поверхности. В статье предложен в качестве критериев подобия принять соотношение соответствующих составляющих уравнения тяговой сопротивления А.М. Панченко и уравнение лобового сопротивления тела, движущегося в водной среде.

В работе доказана возможность совместного использования критериев подобия аналогового и физического моделирования.

Ключевые слова: метод гидродинамических аналогий, критерии подобия, биологический аналог.

Abstract

The method of hydrodynamic analogies in the system of model studies of soil-cultivating machines

B.A. Volyk, E.I. Lepet, A.V. Konoviy

Borrowing in the process of creating soil-cultivating machines of bionic methods is a promising direction in the development of the agricultural machinery industry. The essence lies in the fact that the biological analogue of the working body is elected, a mathematical model of its interaction with the environment is created and, based on the results of calculations, a decision is made in accordance with the model on the concrete design of the implement. The problem is that almost all possible biological analogues are marine animals, that is, methods of hydrodynamic analogy can't be avoided.

The method of hydrodynamic analogies is considered as a kind of analog simulation. In contrast to the theoretical studies of V.S. Kazakova our the technique allows us to establish in the experiment the similarity criteria, extends the possibilities of the method. An essential advantage is the detailing of the components of the resistance to the level of the initial data. It is established that the coefficient of drag in hydrodynamics and the specific cohesion of soil particles have an identical essence and can be used to determine the similarity criteria. It is established that the concept of a cutting perimeter can be identified in hydrodynamics by the notion of the area of the wettable surface. In the article it is proposed to take as the similarity criteria the ratio of the corresponding components of the traction resistance equation AM Panchenko and the equation of the drag of a body moving in an aqueous medium.

In the paper, the possibility of sharing the similarity criteria for analog and physical modeling is proved.

Keywords: hydrodynamic analogy method, similarity criteria, biological analogue.

Представлено від редакції: В.І. Мельник / Presented on editorial: V.I. Melnyk

Рецензент: М.В. Бакум / Reviewer: M.V. Bakum

Подано до редакції / Received: 21.05.2018