

УДК 631.3:6311/6

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В'ЯЗКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ НАСІННЕВОЇ МАСИ ОВОЧЕ-БАШТАННИХ КУЛЬТУР

Огієнко М.М., к.т.н.

Миколаївський національний аграрний університет

Тел. +38(0512) – 34-01-91

Анотація – досліджено процес визначення в'язкості рідини теоретичним та експериментальним методами. Приведено результати досліджень параметрів в'язкості складного рідкого середовища технологічної маси овочебаштанних культур для кожної з них.

Ключові слова - в'язкість технологічної маси, доробка насінневої маси, гідропневмосепаратор, експериментальні дослідження.

Постановка проблеми. Сукупність якостей насінневої технологічної маси плодів і насіння овочевих та баштанних культур є важливою передумовою при проектуванні призначених для їх переробки, тих чи інших робочих органів та машин в цілому.

Для довіділення залишків насіння із попередньо переробленої технологічної маси овочебаштанних культур створено гідропневмосепаратор [1], особливістю якого є те, що процес відмивання насіння проходить у ємності, яка наповнена складним рідким середовищем з технологічною насінневою масою, за рахунок поєднання двох способів сепарації – гідравлічного і пневматичного. Для дослідження процесів, що протікають при цьому, потрібно визначити шлях, швидкість та час руху насіння, а також в'язкість цього середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз наявних літературних джерел не дозволив знайти аналітичних співвідношень, що визначають в'язкість складного середовища технологічної маси овочебаштанних культур, що утворюється при роботі гідропневмосепаратора, але її можна визначити лише експериментальним шляхом, для чого було виконано аналіз методів, які можуть бути використані при вирішенні поставленої проблеми.

Ламінарний рух рідини спостерігається для достатньо малих швидкостей потоку від 0,1 до 1 м/с. Із збільшенням швидкості течія стає нестійкою, з'являються вихори. Течія стає турбулентною. При

цьому сила внутрішнього тертя різко зростає. Інтенсивність і характер течії визначається числом Рейнольда [2], що виражає відношення кінетичної енергії рідини до втрат енергії за рахунок сил в'язкого тертя.

Відмітимо, що при русі рідини в трубі характерним розміром служить довжина труби, а при обтіканні тіла (кулі) характерним розміром являється діаметр кулі.

Методи вимірювання в'язкості підрозділяються на дві групи: стаціонарні (капілярного витікання, циліндрів, що обертаються, падаючої кульки); нестаціонарні (методи, засновані на дослідженні крутильних коливань системи, вібраційний метод).

Найбільш доступними є стаціонарні методи. Метод капілярного витікання заснований на законі Пуазейля, що описує закономірності руху рідини в капілярі (трубці малого поперечного перетину). Метод можна застосовувати для однорідного середовища, без включень.

Вібраційний метод заснований на визначенні змін параметрів вимушених коливань тіла при зануренні його у в'язке середовище. Метод вимагає створення складної електромеханічної коливальної системи.

Найбільш простим для вимірювання в'язкості складних рідких середовищ є метод падаючої кульки. Звичайно цей метод застосовується для прозорих і досить в'язких середовищ, та заснований на дослідженні падіння кульки радіусу a_0 в рідині, поміщеній в циліндричну скляну посудину радіуса R і висотою H . При ламінарному обтіканні сферичного тіла в'язкою рідиною сила опору руху кульки визначається законом Стокса [3]

$$F = 6\pi a_0 u \eta. \quad (1)$$

Із зростанням швидкості падіння кульки (збільшенням числа Re) сила опору визначається із залежності [4]

$$F = c \cdot w \cdot \rho \frac{u^2}{2}, \quad (2)$$

де c – коефіцієнт опору, залежний від числа Re ;

w – площа поперечного перетину тіла. (Для кульки $w = \pi a^2$).

Аналіз розглянутих методів експериментального визначення в'язкості складного рідкого середовища дозволяє обрати метод падаючої кульки як такий, що, з одного боку, є методом визначення

в'язкості складного середовища, а з іншого боку, дозволяє змоделювати та дослідити падіння насіння дині (огірка) в ньому.

Проте практичне використання методу вимагає попереднього теоретичного дослідження, пов'язаного з визначенням закону опору (1), (2) і з виходом на стаціонарний режим падіння з постійною швидкістю $u = u_0 = const$. Крім того, падіння кульки в ємності кінцевих розмірів (R, H) відрізняється від падіння в необмеженій рідині [3].

Викладення основного матеріалу. При падінні кульки радіусу α_0 в рідкому середовищі гідропневмосепаратора, що має густину матеріалу ρ_T , вона починає занурюватися з поверхні рідини густиною $\rho_{ж}$. Для розгляду процесу занурення обираємо початок координат у точці O на поверхні рідини, а вісь O_y спрямовуємо вниз. Глибина рідини рівна H . На тіло (кульку), що падає у рідині, діють наступні сили (рис. 1):

- сила тяжіння $F_1 = m_T g$;
- сила виштовхування (сила Архімеда) $F_2 = m_{ж} g$;
- сила інерції тіла (кульки) $F_3 = m_T \ddot{y}$;
- сила інерції рідини $F_4 = m_{ж} \ddot{y}$;
- сила опору руху тіла $F_5 = c_y w \rho_{ж} \frac{\dot{y}^2}{2}$,

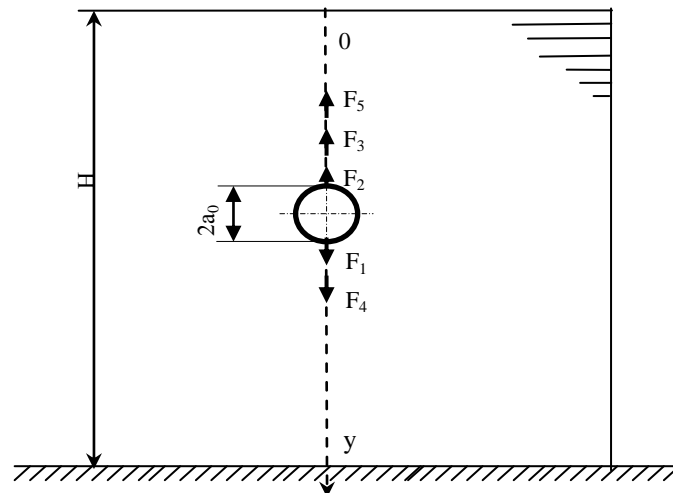


Рис. 1. Розрахункова схема падіння кульки

де g – прискорення вільного падіння, m/c^2 ;

m_T – маса кульки, кг;

$m_{ж}$ – приєднана маса рідини, кг;

c_y – коефіцієнт опору;

\dot{y} – швидкість падіння кульки, м/с;

\ddot{y} – прискорення падаючої кульки, м/с².

У свою чергу, маємо

$$m_T = \frac{4}{3} \pi a_0^3 \cdot \rho_T; \quad m_{жс} = \frac{4}{3} \pi a_0^3 \cdot \rho_{жс}. \quad (4)$$

Для малих чисел $Re < 2$ [3]

$$c_y = \frac{24}{Re}, \quad (5)$$

$$\text{де } Re = \frac{u \cdot 2a_0}{\nu}. \quad (6)$$

При підстановці у вираз F_5 одержуємо

$$F_5 = 6\pi \nu \rho_{жс} a_0 \dot{y} = 6\pi \eta a_0 \dot{y}, \quad (7)$$

що відповідає закону Стокса.

Для великих чисел Рейнольдса ($Re < 10^5$) у [2] запропонована залежність

$$c_y = \frac{24}{Re} + 0,67 \cdot \sqrt{\dot{y}}. \quad (8)$$

Розглядаючи цю залежність як квадратне рівняння, знайдемо

$$c_y = 0,116 \left[1 + \sqrt{1 + 8,6 \left(\frac{24}{Re} \right)} \right]^2. \quad (9)$$

Рідке середовище (суміш води з технологічною масою дині) поміщалося в скляну посудину завдовжки $l = 1,1$ м (рис.2, а) і діаметром $2R = 50$ мм. Контроль визначення в'язкості проводився з використанням рефрактометрів (рис. 2, б).

Припускалося, що кулька між рисками проходила шлях $H = 1$ м за час t_0 із постійною швидкістю:

$$u_0 = H/t_0. \quad (10)$$

З рівності підйомної сили і сили опору маємо рівність

$$c_y w \frac{u_0^2}{2} \rho_p = \frac{4}{3} \pi a_0^3 (\rho_T - \rho_p) g, \text{ звідки знаходився коефіцієнт}$$

опору

$$c_y = \frac{8 a_0 g}{3 u_0^2} \left(\frac{\rho_T}{\rho_p} - 1 \right). \quad (11)$$

За відомим числом c_y знаходилося число Рейнольда [5]:

$$\text{Re} = \frac{24}{c_y - 0,67 \sqrt{c_y}}. \quad (12)$$

З іншого боку, з визначення числа Рейнольдса маємо:

$$\text{Re} = \frac{2 u_0 a_0}{\nu}. \quad (13)$$

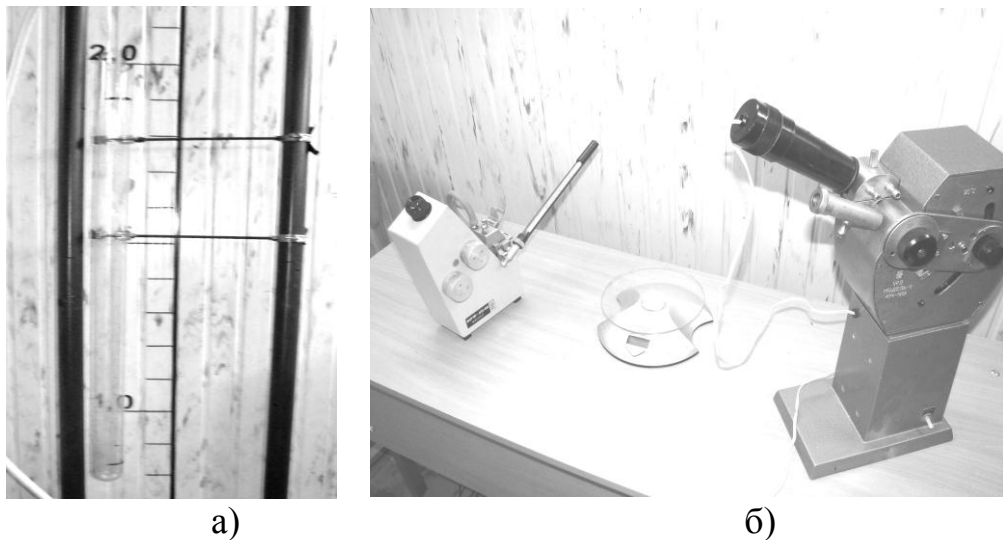


Рис 2. Обладнання для визначення в'язкості:
а) скляна посудина; б) ваги та рефрактометри.

З (12) знаходимо

$$\nu = \frac{2 u_0 a_0}{\text{Re}}. \quad (14)$$

Підставляючи в (14) значення для Re у вигляді (12), отримуємо

$$\nu = \frac{2u_0 a_0}{12} (c_y - 0,67\sqrt{c_y}), \quad (15)$$

де c_y визначається за (11).

Таким чином, для визначення в'язкості за часом падіння кульки t_1 було отримано послідовність підрахунків (10), (11), (15).

Експериментальні дослідження щодо визначення в'язкості рідкого середовища проводилися методом падаючої кульки, тому що він є найбільш простим для вимірювання в'язкості складних рідких середовищ. У якості кульок використовувалися пластмасові кульки діаметром 5,82 мм і щільністю матеріалу $\rho_T = 1940 \text{ кг/м}^3$.

Таким чином, в експерименті приймалися наступні значення параметрів:

радіус кульки $a_0 = 2,91 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; щільність матеріалу кульки $\rho_T = 1940 \text{ кг/м}^3$; щільність рідини $\rho_p = 1000 \text{ кг/м}^3$; висота стовпа $H = 1 \text{ м}$.

Для даного експерименту чисельні результати основних показників згідно (10), (11), (15) мали наступні величини:

$$B = \frac{8}{3} 2,91 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 \left(\frac{1940}{1000} - 1 \right) = 7,16 \cdot 10^{-2}, \text{ м}^2/\text{с}^2;$$

$$\nu = 0,0435 \cdot 10^{-3} \left(\frac{0,4}{u_0} - 1 \right), \text{ м}^2/\text{с}. \quad (16)$$

Або, враховуючи, що, при $H = 1 \text{ м}$, та часі $t_0, \text{ с}$:

$$\nu = 4,35 \cdot 10^{-5} (0,4 \cdot t_0 - 1), \text{ м}^2/\text{с}. \quad (17)$$

Підставляючи у (17) значення часу падіння кульки отримуємо величину коефіцієнта кінематичної в'язкості:

$$\nu = 4,35 \cdot 10^{-5} (0,4 \cdot 3,05 - 1) = 0,956 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Порівняємо результати експерименту (табл. 1) з теоретичними оцінками [6]:

1. Час падіння кульки на глибину $H = 1 \text{ м}$, $t_1 = 3,05 \text{ с}$.
2. Рівноважна швидкість падіння кульки в експерименті

$$u_0 = H/t_1 = 1/3,05 = 0,328 \text{ м/с}.$$

3. Відповідне число Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{2u_0 a_0}{\nu} = \frac{2 \cdot 0,328 \cdot 2,91 \cdot 10^{-3}}{0,956 \cdot 10^{-5}} \approx 200.$$

4. Коефіцієнт опору складного рідкого середовища

$$c_y = 0,116 \left[1 + \sqrt{1 + 8,6 \left(\frac{24}{200} \right)} \right]^2 = 0,68.$$

5. Рівноважна швидкість падіння

$$u_0 = \left[\frac{8}{3} \left(\frac{\rho_T}{\rho_P} - 1 \right) \frac{g \cdot a_0}{c_y} \right]^{1/2} = \left[\frac{8}{3} \cdot 0,94 \cdot \frac{9,81 \cdot 2,91 \cdot 10^{-3}}{0,68} \right]^{1/2} = 0,324 \text{ м/с}.$$

Таблиця 1 - Результати експериментальних досліджень

i	1	2	3	4	5	6
$t_{0i}, \text{с}$	3,01	3,02	3,22	2,91	2,94	3,20
$\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 t_{0i}, \text{с}$	3,05					
	Експериментальні			Теоретичні		
$\nu, \text{м}^2/\text{с}$	$0,956 \cdot 10^{-5}$			10^{-5}		
C_y	0,68			0,7		
$u_0, \text{м/с}$	0,324			0,328		

Збіг за рівноважною швидкістю падіння достатній.

Висновки. У статті наведено результати математичного моделювання руху насіння овочевих культур в складному рідкому середовищі гідропневмосепаратора. Визначення в'язкості рідкого середовища дало можливість врахувати значення рівноважної швидкості падіння насіння всередині гідропневмосепаратора, яку використовуємо для моделювання процесу руху насіння в машині та встановлення раціональної глибини ємності для забезпечення повного відмивання насіння. Зіставляючи результати експериментальних $u_0 = 0,328 \text{ м/с}$ та теоретичних $u_0 = 0,324 \text{ м/с}$ досліджень, констатуємо, що ці швидкості чисельно майже повністю збігаються.

Література:

1. Пат. 29598 U України, МПК А23N15/00. Гідропневмосепаратор /Огієнко М.М., Пастушенко С.І, Горбенко О.А./ - заяв.30.03.07; опуб. 25.01.08, Бюл. № 2.
2. Алтшуль А. Д. Гидравлика и аэродинамика / А. Д. Алтшуль, П. Г. Киселев. – М. : Стройиздат, 1965. – 274 с.
3. Хаппель Дж. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса / Дж. Хаппель, Г. Бренер ; пер. с англ. – М. : Мир, 1976. – 630 с.
4. Шмихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шмихтинг ; пер. с нем. – М. : Наука, 1969. – 742 с.
5. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости / Дж. Бэтчелор ; пер. с англ. – М. : Мир, 1973. – 758 с.
6. Пастушенко С.І. Дослідження фізико-механічних параметрів складного рідкого середовища технологічної насінневої маси овочевих культур / С. І. Пастушенко, М. М. Огієнко // Вісник Сумського національного аграрного університету. – Суми : СНАУ, 2010. – Вип. 1 (21). – С.41–49

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЯЗКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕМЕННОЙ МАССЫ ОВОЩЕ-БАХЧЕВЫХ КУЛЬТУР

Н.Н. Огиенко

Аннотация - исследован процесс определения вязкости жидкости теоретическим и экспериментальным методами. Приведены результаты исследований параметров вязкости сложной жидкой среды технологической массы овощебахчевых культур для каждой из них.

METHOD OF AND EXPERIMENTAL STUDY OF TECHNOLOGICAL VISCOSITY SEED MASS VEGETABLE AND MELON

N. Ogienko

Summary

The process of determining the viscosity of liquids theoretical and experimental methods. The results of studies of the parameters of a complex viscosity of liquid media technology supply vegetables and melons for each of them.