

УДК 674.815 : 631.572

## **ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО КОЕФІЦІЄНТА ФОРМИ ТА КОЕФІЦІЄНТА СФЕРИЧНОСТІ СОЛОМ'ЯНИХ ЧАСТИНОК**

**Козак Р.О. канд. техн. наук, доцент**  
(Національний лісотехнічний університет України)

*Запропоновано формули та отримано числові значення геометричного коефіцієнта форми та коефіцієнта сферичності солом'яних частинок залежно від їх розмірів, частки поздовжнього подрібнення, а також фракційного складу. Визначено залежності діаметрів куль еквівалентних солом'яній частинці за поверхнею і об'ємом від фракційного складу цих частинок.*

Традиційно сировиною для виготовлення стружкових плит (СП) є деревина. Однак, останнім часом через значні зменшення її запасів, виробники СП все більше звертають увагу на альтернативні недеревинні джерела сировини, зокрема злакову соломку. Застосування соломи у виробництві СП є економічно вигідним [1, 2].

Стружка, як основний структурний елемент СП, чинить істотний вплив на їх якість [3]. Геометрія стружки (форма, розміри) є одним з основних факторів, який визначає властивості і характеристики СП. Він впливає на вибір

і роботу технологічного обладнання і не тільки зайнятого безпосередньо виготовленням стружки, але й інших ділянок: конвеєрного обладнання, сушарок, змішувачів, формувальних машин і навіть преса [4]. Для технологічних розрахунків і математичного моделювання процесів виробництва СП широко застосовують такі геометричні показники стружки як геометричний коефіцієнт форми та коефіцієнт сферичності частинок. Однак, для солом'яних частинок, які за формою відрізняються від деревинних, відсутні значення цих показників. Тому визначення геометричного коефіцієнта форми та коефіцієнта сферичності солом'яних частинок з метою подальшого використання в технологічних розрахунках процесів виробництва СП з соломі є актуальним.

В більшості випадків для спрощення розрахунків форму частинок сипучих матеріалів прирівнюють до кулі або паралелограма. Однак не завжди частинки відповідають цій формі. Форма отриманих частинок є випадковим фактором. Залежно від ступеня подрібнення солом'яні частинки мають форму від трубок визначеної довжини до найдрібніших паралелепіпедів (рис. 1).

Тому для характеристики частинок неправильної форми користуються поняттям геометричного коефіцієнта форми  $f$  (відношення поверхні частинки  $F_u$  до поверхні рівновеликої кулі  $F_k$ ) або оберненої величини – коефіцієнта сферичності  $\varphi$  (відношення поверхні кулі  $F_k$ , яка рівна поверхні частинки, до поверхні частинки  $F_u$ ) [5]:

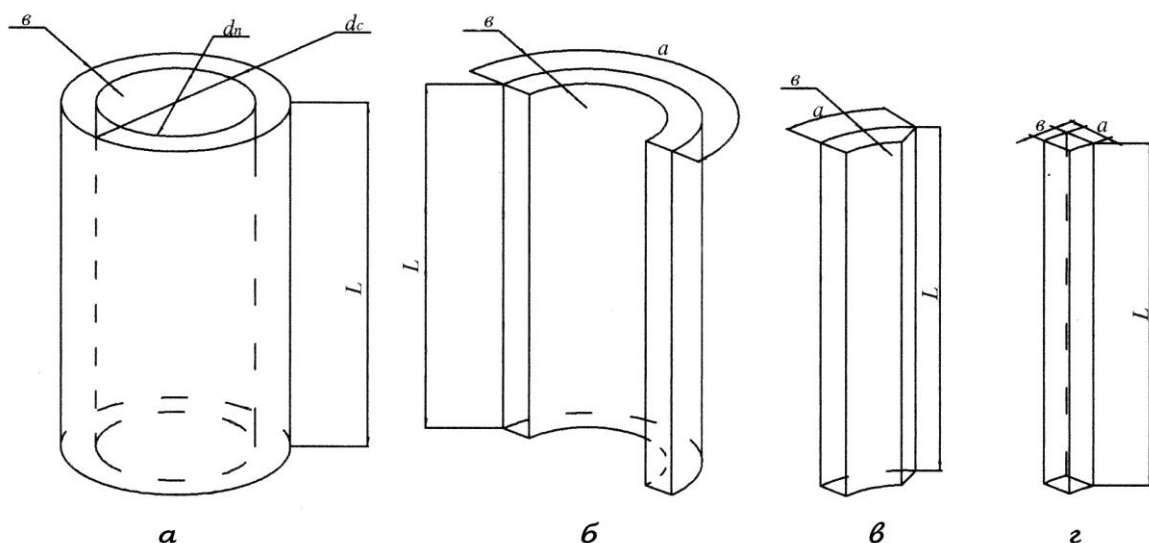


Рисунок 1 - Форма соломини:  
 а – трубка; б – 1/2 трубки; в – 1/4 трубки; з – 1/8 трубки.

$$f = \frac{F_u}{F_k} = \left( \frac{d_{kF}}{d_{kV}} \right)^2 \quad (1)$$

$$\varphi = f^{-1} = \frac{F_k}{F_u} = \left( \frac{d_{kV}}{d_{kF}} \right)^2 \quad (2)$$

де  $d_{\kappa F}$ ,  $d_{\kappa V}$  – діаметри куль, еквівалентні частинці за поверхнею ( $F_{\kappa}$ ) і за об'ємом ( $V_{\kappa}$ ) відповідно.

Якщо об'єм частинки рівний  $V_q$ , то при  $V_{\kappa} = V_q$  діаметр кулі рівний:

$$d_{\kappa V} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V_q}{\pi}} = \sqrt[3]{1,91 \cdot V_q} \quad (3)$$

Якщо площа частинки рівна  $F_q$ , то при  $F_{\kappa} = F_q$  діаметр кулі рівний:

$$d_{\kappa F} = \sqrt{\frac{F_q}{\pi}} = \sqrt{0,3183 \cdot F_q} \quad (4)$$

Згідно з формулами (3) і (4) формулу (1) можна записати у вигляді:

$$f = \frac{F_q}{\sqrt[3]{36 \cdot \pi \cdot V_q^2}} = 0,2068 \cdot \frac{F_q}{V_q^{2/3}}, \quad (5)$$

а формулу (2) – у вигляді:

$$\varphi = \frac{\sqrt[3]{36 \cdot \pi \cdot V_q^2}}{F_q} = 4,836 \cdot \frac{V_q^{2/3}}{F_q} \quad (6)$$

Поверхня солом'яної частинки ( $F_q$ ) у вигляді трубки визначається за формулою:

$$F_q = F_z + F_{вн} + 2 \cdot F_{кр} \quad (7)$$

або

$$F_q = 0,5 \cdot \pi \cdot (d_c + d_n) \cdot (2 \cdot l + d_c - d_n) \quad (7')$$

де  $F_z$  – зовнішня поверхня трубки соломини;

$F_{вн}$  – внутрішня поверхня трубки соломини;

$F_{кр}$  – площа торцевої крайки соломини;

$d_c$  – зовнішній діаметр соломини;

$d_n$  – діаметр внутрішньої порожнини трубки соломини;

$l$  – довжина солом'яної частинки.

У випадку, коли форма частинки відмінна від трубки, поверхня солом'яної частинки ( $F_q$ ) визначається за формулою:

$$F_q = n \cdot (F_z + F_{вн} + 2 \cdot F_{кр}) + 2 \cdot F_{кр.п.} \quad (8)$$

або

$$F_q = 0,5 \cdot \pi \cdot n \cdot (d_c + d_n) \cdot (2 \cdot l + d_c - d_n) + d_c - d_n \quad (8')$$

де  $F_z$  – зовнішня поверхня трубки соломини;

$F_{вн}$  – внутрішня поверхня трубки соломини;

$F_{кр}$  – площа торцевої крайки соломини;

$F_{кр.п.}$  – площа поздовжньої крайки соломини;

$n$  – коефіцієнт, що враховує поздовжню частку солом'яної частинки ( $n = 1$  для частинки з формою трубки (рис. 1 а);  $n = 1/2$  для частинки з формою півтрубки (рис. 1 б) і т.д.)

$d_c$  – зовнішній діаметр соломини;

$d_n$  – діаметр внутрішньої порожнини трубки соломини;

$l$  – довжина солом'яної частинки.

Об'єм солом'яних частинок визначених розмірів можна записати наступним чином:

$$V_q = n \cdot (V_c - V_n) = 0,25 \cdot \pi \cdot n \cdot l \cdot (d_c^2 - d_n^2) \quad (9)$$

де  $V_c$  – об'єм соломини без врахування внутрішньої порожнини;

$V_n$  – об'єм порожнини соломини;

$n$  – коефіцієнт, що враховує поздовжню частку солом'яної частинки ( $n = 1$  для частинки з формою трубки (рис. 1 а);  $n = 1/2$  для частинки з формою півтрубки (рис. 1 б) і т.д.)

$l$  – довжина солом'яної частинки;

$d_c$  і  $d_n$  – відповідно, зовнішній і внутрішній діаметри тіла солом'яної частинки.

Тоді з врахуванням формул (7'), (8') і (9) формула (5) набуде вигляду:

- для частинки трубчатої форми:

$$f = \frac{0,5 \cdot (d_c + d_n) \cdot (2 \cdot l + d_c - d_n)}{(1,5 \cdot l \cdot (d_c^2 - d_n^2))^{2/3}} \quad (10)$$

- для частинок форми відмінної від трубки:

$$f = \frac{0,5 \cdot n \cdot \pi \cdot (d_c + d_n) \cdot (2 \cdot l + d_c - d_n) + d_c - d_n}{\pi \cdot (1,5 \cdot n \cdot l \cdot (d_c^2 - d_n^2))^{2/3}} \quad (11)$$

В свою чергу з врахуванням формул (7'), (8') і (9) формула (6) набуде вигляду:

- для частинки трубчатої форми:

$$\varphi = \frac{(1,5 \cdot l \cdot (d_c^2 - d_i^2))^{2/3}}{0,5 \cdot (d_n + d_i) \cdot (2 \cdot l + d_n - d_i)} \quad (12)$$

- для частинок форми відмінної від трубки:

$$\varphi = \frac{\pi \cdot (1,5 \cdot n \cdot l \cdot (d_c^2 - d_n^2))^{2/3}}{0,5 \cdot n \cdot \pi \cdot (d_c + d_n) \cdot (2 \cdot l + d_c - d_n) + d_c - d_n} \quad (13)$$

На основі формул (7)-(13) були розраховані значення геометричного коефіцієнта форми та коефіцієнта сферичності солом'яних частинок залежно від частки поздовжнього подрібнення (форми), довжини частинки,

максимального і мінімального діаметрів соломини та її порожнини, які наведені в табл. 2.1 і 2.2 відповідно.

Таблиця 2.1 – Значення геометричного коефіцієнта форми ( $f$ ) солом'яних частинок різних розмірів і частки їх поздовжнього подрібнення

Довжина частинки, мм	Частка поздовжнього подрібнення солом'яної частинки							
	$n = 1$ (форма трубки)		$n = 0,5$ (форма півтрубки)		$n = 0,25$ (форма 1/4 трубки)		$n = 0,125$ (форма 1/8 трубки)	
	max	min	max	min	max	min	max	min
2	1,817	1,966	1,519	1,707	1,266	1,472	1,101	1,354
5	1,973	2,490	1,607	2,056	1,309	1,695	1,091	1,446
10	2,279	3,062	1,835	2,481	1,477	2,009	1,205	1,658
15	2,529	3,477	2,028	2,798	1,625	2,251	1,315	1,835
20	2,740	3,811	2,192	3,057	1,753	2,451	1,412	1,985
25	2,924	4,095	2,335	3,278	1,864	2,623	1,498	2,117
30	3,087	4,345	2,463	3,473	1,965	2,775	1,575	2,233

Примітка. Діаметр соломини: max – 5 мм, min – 1 мм; діаметр порожнини соломини: max – 3 мм, min – 0,5 мм [6].

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнта сферичності ( $\varphi$ ) солом'яних частинок різних розмірів і частки їх поздовжнього подрібнення

Довжина частинки, мм	Частка поздовжнього подрібнення солом'яної частинки							
	$n = 1$ (форма трубки)		$n = 0,5$ (форма півтрубки)		$n = 0,25$ (форма 1/4 трубки)		$n = 0,125$ (форма 1/8 трубки)	
	max	min	max	min	max	min	max	min
2	0,550	0,509	0,658	0,586	0,790	0,679	0,908	0,739
5	0,507	0,402	0,622	0,486	0,764	0,590	0,916	0,691
10	0,439	0,327	0,545	0,403	0,677	0,498	0,830	0,603
15	0,395	0,288	0,493	0,357	0,615	0,444	0,760	0,545
20	0,365	0,262	0,456	0,327	0,571	0,408	0,708	0,504
25	0,342	0,244	0,428	0,305	0,536	0,381	0,668	0,472
30	0,324	0,230	0,406	0,288	0,509	0,360	0,635	0,448

Примітка. Діаметр соломини: max – 5 мм, min – 1 мм; діаметр порожнини соломини: max – 3 мм, min – 0,5 мм [6].

У виробництві СП не завжди є можливість визначити розміри частинок. Переважно оперують параметром фракційного складу частинок, який визначають при їх сортуванні. Тому важливо визначити геометричний коефіцієнт форми та коефіцієнт сферичності солом'яних частинок через характеристики частинок  $i$ -ї фракції. Для цього діаметри куль, еквівалентні частинці за поверхнею  $d_{\kappa F}$  і за об'ємом  $d_{\kappa V}$ , які містять формули (1) і (2), можуть бути представлені у вигляді [7]:

$$d_{kF} = k_F \cdot d_{o.c} \quad (14)$$

$$d_{kV} = k_V \cdot d_{o.c} \quad (15)$$

де  $k_F$  – коефіцієнт пропорційності між величинами  $d_{kF}$  і  $d_c$ ;

$k_V$  – коефіцієнт пропорційності між величинами  $d_{kV}$  і  $d_c$ .

$d_{o.c}$  – середньоарифметичне значення між розміром отворів сита, через які частинки проходять, і розміром отворів сита, на якому ці частинки затримуються, м:

$$d_{o.c} = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (16)$$

де  $d_1, d_2$  – визначаються відповідно за розмірами отворів прохідного і непрохідного сит.

Прирівнявши формули (4) і (15) та (3) і (14) та використавши експериментальні дані розмірів частинок різних фракцій, які наведені в табл. 2.3 отримаємо регресійні залежності  $d_{kF} = f(d_c)$  і  $d_{kV} = f(d_c)$ , а саме:

$$d_{kF} = 0,3416 + 2,5387 \cdot d_{o.c} - 0,2762 \cdot d_{o.c}^2 \quad (17)$$

$$d_{kV} = 0,2446 + 1,2491 \cdot d_{o.c} - 0,0527 \cdot d_{o.c}^2 \quad (18)$$

Таблиця 2.3 – Середні розміри солом'яних частинок різних фракцій [8]

	Фракції					
	-/5,0	5,0/3,15	3,15/2,0	2,0/1,25	1,25/0,63	0,63/0,315
Довжина, мм	20,89	12,96	13,29	11,95	9,08	6,88
Ширина, мм	2,29	3,07	2,39	1,51	0,95	0,35
Товщина, мм	0,61	1,21	0,48	0,29	0,20	0,09

Дані регресійні залежності наведені на рис. 2.

Згідно формул (14) і (17) коефіцієнт пропорційності  $k_F$  визначається за формулою:

$$k_F = 2,5387 - 0,2762 \cdot d_{o.c} + \frac{0,3416}{d_{o.c}}, \quad (19)$$

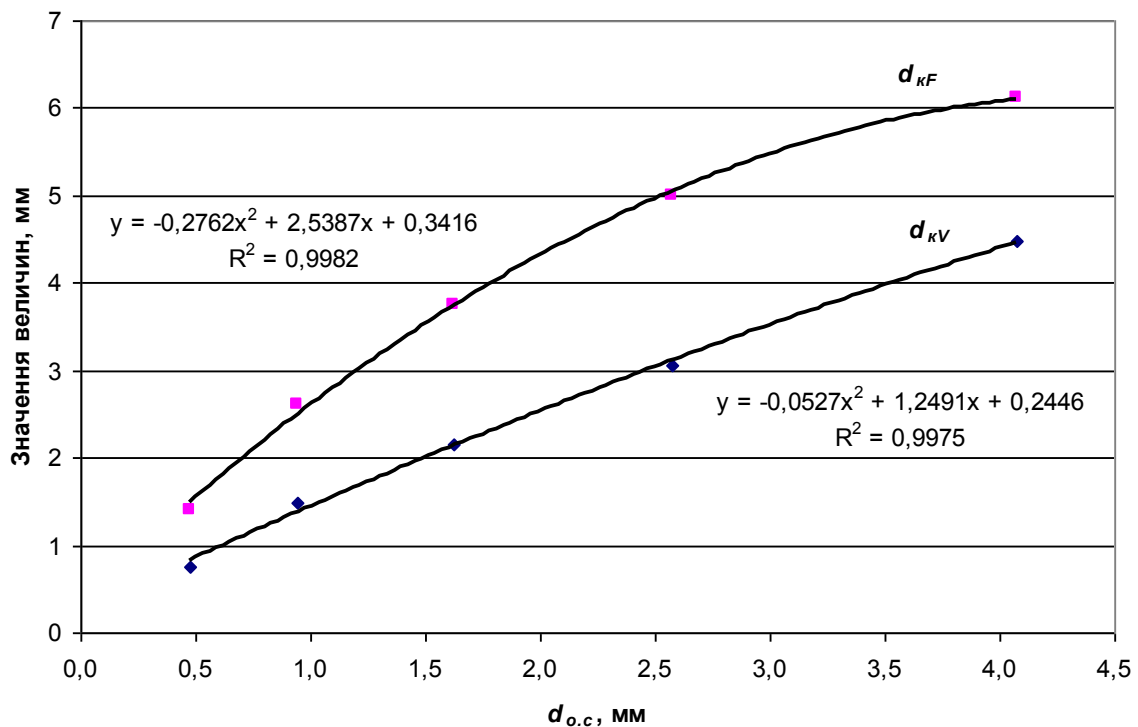
а коефіцієнт пропорційності  $k_V$ , згідно формул (15) і (18), – за формулою:

$$k_V = 1,2491 - 0,0527 \cdot d_{o.c} + \frac{0,2446}{d_{o.c}}. \quad (20)$$

З врахуванням формул (1), (2), (14) і (15) геометричний коефіцієнт форми та коефіцієнт сферичності солом'яних частинок відповідно рівні:

$$f = \left( \frac{k_F}{k_V} \right)^2 \quad (21)$$

$$\varphi = \left( \frac{k_V}{k_F} \right)^2 \quad (22)$$



Значення коефіцієнтів пропорційності  $k_F$  і  $k_V$ , геометричного коефіцієнта форми  $f$  та коефіцієнта сферичності  $\varphi$  солом'яних частинок різних фракцій наведено в табл. 2.4.

$$d_{\kappa F} \quad d_{\kappa V}$$

Таблиця 2.4 – Значення коефіцієнтів пропорційності  $k_F$  і  $k_V$ , геометричного коефіцієнта форми  $f$  та коефіцієнта сферичності  $\varphi$  солом'яних частинок

Параметри	Фракції				
	5,0/3,15	3,15/2,0	2,0/1,25	1,25/0,63	0,63/0,315
$k_F$	1,4970	1,9601	2,3001	2,6425	3,1312
$k_V$	1,0944	1,2084	1,3140	1,4598	1,7419
$f$	1,8712	2,6313	3,0641	3,2768	3,2313
$\varphi$	0,5344	0,3800	0,3264	0,3052	0,3095

Отже, за результатами досліджень запропоновано формули геометричного коефіцієнта форми та коефіцієнта сферичності солом'яних частинок залежно від їх розмірів, частки поздовжнього подрібнення, а також фракційного складу. Встановлено, що значення геометричного коефіцієнта форми та коефіцієнта сферичності змінюються приблизно в 2 рази при поздовжньому подрібненні частинки від форми трубки до 1/8 трубки і при зменшенні фракції солом'яних частинок від 5,0/3,15 до 0,63/0,315 та приблизно в 1,8 рази при зміні довжини солом'яних частинок від 2 до 30 мм.

### Список використаної літератури

1. Markessini E., Roffael E., Rigal L. Panels from annual plant fibers bonded with urea-formaldehyde resins. In: Proceedings 31th International Particleboard/Composite Materials Symposium, Pullman. 1997. - P. 147-160.
2. Dalen H., Shorma T. The manufacture of particleboard from wheat straw. In: Proceedings of the 30th Washington State University International Particleboard Composite/Materials Symposium. Pullman, Washington, 1996. - P. 191-196.
3. Бехта П. А. Технологія деревинних плит і пластиків : підручник / П. А. Бехта. – К. : Основа, 2004. – 780 с.
4. Бехта П. А. Виготовлення стружки для деревинностружкових плит / П. А. Бехта. – К. : ІСДО, 1995. – 272 с.
5. Мухленов И. П. Расчеты аппаратов кипящего слоя : справочник / И. П. Мухленов, Б. С. Сажин, В. Ф. Фролов. – Л. : Химия, 1986. – 352 с.
6. Лукьянова И. В. Анализ видовых и сортовых особенностей устойчивости стеблей злаковых культур к полеганию с учетом их физико-механических свойств и архитектоники для использования в селекции : автореф. дис. на соиск. научн. степени докт. биолог. наук / И. В. Лукьянова. – Краснодар, 2008. – 51 с.
7. Аэров М. Э. Аппараты со стационарным зернистым слоем / М. Э. Аэров, О. М. Годес, Д. А. Наринский. – Л. : Химия, 1979 – 178 с.
8. Козак Р.О. Визначення розмірів розфракційованої солом'яної стружки / Р.О. Козак // Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка: збірник наук.-техн. праць. – 2013. – № 143. – С. 189-194.



## **Аннотация**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ФОРМЫ И КОЭФФИЦИЕНТА СФЕРИЧНОСТИ СОЛОМЕННЫХ ЧАСТИЦ**

Козак Р.О.

*Предложено формулы и получены числовые значения геометрического коэффициента формы и коэффициента сферичности соломенных частиц в зависимости от их размеров, доли продольного измельчения, а также фракционного состава. Определены зависимости диаметров шаров эквивалентных соломенной частице за поверхностью и объемом от фракционного состава этих частиц.*

## **Abstract**

### **DETERMINATION OF GEOMETRICAL FORM COEFFICIENT AND SPHERICAL COEFFICIENT OF STRAW PARTICLES**

Kozak R.O.

*Formulas and numerical values of the geometrical form coefficient and spherical coefficient of straw particles depends on their size, the part of longitudinal shredding and the fractional composition are proposed. The dependence of diameter of balls which are equivalent to straw particles with the same surface and volume from the fractional composition of these particles were determined.*