

## ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАСІННЯ СОЇ ЯК СИРОВИНИ ОЛІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

**Піддубний Володимир Антонович**

доктор технічних наук, професор  
Державний торговельно-економічний університет, м. Київ, Україна  
ORCID: 0000-0002-1497-7133  
profpod@ukr.net

**Осокіна Ніна Максимівна**

доктор сільськогосподарських наук, професор  
Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна  
ORCID: 0000-0002-2822-2989  
ninaosokina1953@gmail.com

**Ткаченко Геннадій Володимирович**

Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна  
ORCID: 0000-0002-3438-938X  
tkachenkogenady@ukr.net

*У статті наведено дослідження деяких геометричних та фізичних показників насіння сої та продуктів дроблення. Для досягнення мети поставленні наступні завдання: провести технологічну оцінку цілого насіння сої; здійснити дроблення насіння сої молотковою дробаркою та визначити показники продуктів дроблення (об'єм часточки та площа зовнішньої поверхні). Предметом досліджень було знеособлене насіння сої, що надходило на переробку на олієпресовий завод ТОВ «Відродження». Об'єкт дослідження – технологічні показники насіння сої та продуктів його дроблення молотковою дробаркою. Для визначення геометричних розмірів відібрали 60 насінин. Маса партії насіння сої для дроблення – 50 т. Для виходу більш однорідної крупної фракції за розміром, краще застосовувати механізми робота яких базується на принципах стиснення продукту – плющильні верстати. З організаційно-економічних міркувань довелось зупинити вибір на молотковій дробарці, що змонтована на виробничій базі ТОВ «Відродження». Продукти дроблення за допомогою сит із круглими отворами діаметрами 3,0 та 1,0 мм розподіляли на фракції та зважували. Середньоарифметичні значення цілого насіння сої: довжина – 8,48 мм, ширина – 5,45 мм, товщина – 4,4 мм. За результатами математичного аналізу відхилено нульову теорію нормального розподілення за геометричними розмірами. Площа зовнішньої поверхні насінини сої становить 117 мм<sup>2</sup>. Густина насінини – 1,33 г/см<sup>3</sup>. Більше половини зернової маси (58,6%) взагалі не дроблено або лише частково пошкоджено. Вихід основної фракції 1–3 мм становить 36,4%. Масова частка фракції розміром менше 1 мм, що може видалятися з відпрацьованими робочими газами з зерносушарки, у дробленому насінні сої становила 5%. Площа поверхні випаровування збільшується в три рази у фракції 1–3 мм та у 12 разів – фракції 0–1 мм.*

**Ключові слова:** насіння, соя, розміри, густина, дроблення, сушіння, олія.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.2.8>

**Вступ.** Технологія виробництва олії з насіння сої передбачає: попереднє очищення насіння, його сушіння до вологості 12–14% (Sharon, M., et al. 2016), зберігання, сушіння до вологості 8,0–8,5%, первинне очищення, екструджування, пресування, відділення фузу, очищення олії та охолодження макухи (Martsun O.M., et al. 2016).

В лабораторних умовах встановлено (Tsyz K.Ie., et al. 2013), що підготовка насіння сої до сушіння у післязбиральному процесі обробки пошкодженням (руйнуванням) поверхні насінини є дієвим способом в плані зниження енерговитрат. Незначний надріз оболонки насінини забезпечує швидке видалення надлишкової вологи і скорочує експозицію сушіння у 1,5 рази (Tsyz K.Ie., & Kirchuk R.V., 2012).

**Матеріали і методи досліджень.** Мета дослідження є дослідження деяких геометричних та фізичних

показників насіння сої та продуктів дроблення. Для досягнення мети були поставленні наступні завдання дослідження: провести технологічну оцінку цілого насіння сої; здійснити дроблення насіння сої молотковою дробаркою та визначити деякі показники продуктів дроблення.

Лабораторні дослідження проведені на кафедрі технології зберігання і переробки зерна Уманського національного університету садівництва. Виробничі випробування здійснено на базі ТОВ "Відродження" с. Громада Любарського району Житомирської області.

Аналіз насіння проводили відповідно до методик, описаних у стандартах. Використовували сита з круглими отворами діаметром: 6,0 мм, 5,0 мм, 4,0 мм, 3,0 мм, 2,0 мм, 1,0 мм, ваги, дільник, розбірна дошка, мікрометр (рис. 1).



Рис. 1. Мікрометр

Послідовність виконання досліджень. Відбір проб. Маса наважки для дослідів 2000 г (HOST 13586.4-83, 1983). Очищення насіння сої від крупної сміттевої домішки через сито діаметром 3 мм (DSTU 3355-96, 1996). Визначення вологості та засміченості, маси 1000 насінин.

Для визначення геометричних розмірів відібрали 60 насінин. Маса партії насіння сої для дроблення – 50 т, що необхідна для повного завантаження зерносушарки ДСП-32.

З метою отримання крупної фракції знято розвантажувальне сито молоткової дробарки ДКУ-1А. З партії відібрано зразок масою 2000 г. Продукти дроблення за допомогою сит із круглими отворами діаметрами 3,0 та 1,0 мм розподіляли на фракції та зважували.

Аналіз одержаних результатів. Під час проведення досліджень визначали наступні показники насіння: геометричні розміри (довжина, ширина, товщина), сферичність, об'єм, площу зовнішньої поверхні, густину; якісні показники (вологість, маса 1000 насінин, засміченість).

При проведенні досліджень керувалися стандартами. Відбір проб – ГОСТ 10852; ДСТУ 3355. Визначення запаху і кольору насіння – ГОСТ 27988. Визначення засміченості – ГОСТ 10854, ГОСТ 30483. Визначення маси 1000 насінин (ГОСТ 10842-89). Визначення вологості насіння (ГОСТ 10856; ГОСТ 29143 (ИСО 712–85); ГОСТ 29144 (ИСО 711–85); ДСТУ 4117).

Вміст домішок (олійної та сміттевої) у насінневій масі відповідав вимогам ДСТУ 4964:2008 «Соя. Технічні умови» (DSTU 4964:2008, 2008). Частка олійної та сміттевої домішки відповідно до діючого стандарту складала не більше 10%, сміттевої не більше 3,0%. У відібраних зразках насіння сої частка олійної та смітної домішки коливалася у межах 8,8–9,1%, сміттевої – 2,7–2,9%. Зразки, що досліджувалися, не містили істотної кількості домішок, які здатні ускладнювати технологічний процес переробки насіння сої. Вологість насіння – 12,5% на загальну масу.

Отримані результати геометричних розмірів аналізували за допомогою прикладної програми STATISTICA.

Критерій Shapiro–Wilk (позначається як  $W$ ) є критерієм на нормальність розподілення, оскільки його властивості у більшості випадків мають помітно більшу достовірність ніж альтернативні критерії. У програмному середовищі STATISTICA критерій Shapiro–Wilk обчислюють за формулою:

$$W = \frac{b^2}{S^2}, \quad (1)$$

$$\text{де } S^2 = x - \bar{x} \quad (2)$$

$$b = \sum a_{n-i+1}(x_{n-i+1} - x_i) \quad (3)$$

де  $\bar{x}$  – середня вибірки;

$a_{n-i+1}$  – табличні константи.

У прикладній програмі STATISTICA при виконанні перевірки розподілу на нормальність за критерієм Shapiro–Wilk розраховуються два показники: значення коефіцієнта  $W$  та рівень значущості  $p$ .

Тест на нормальність за критерієм Shapiro–Wilk є перевіркою нульової гіпотези про те, що емпіричний розподіл подібний до очікуваного теоретичного нормального розподілу. За таких умов показник  $W$  прагне наблизитися до одиниці за будь-яких рівнів значущості  $p$ . Чим ближче значення показника  $W$  наближається до одиниці, тим більша ймовірність нормальності розподілу. За альтернативною гіпотезою розподіл відрізняється від нормального. за таких умов значення показника  $W$  прагне наблизитися до нуля за рівня значущості.

Необхідно враховувати не тільки значення коефіцієнта  $W$ , але й статистичний рівень значущості  $p$ . Нульова гіпотеза характеризує нормальний розподіл, вона приймається, коли рівень статистичної значущості  $p > 0,05$ , а значення коефіцієнта  $W > 0,9$ . Інакше приймається альтернативна гіпотеза (Fetisov V.S., 2018).

**Результати досліджень.** Соя відноситься до крупнозернистих культур, її насіння має еліпсоподібну форму (Kostetska K.V., & Herasymchuk O. P., 2022), а тому створює мінімальний (гідравлічний) опір робочим газам в зерносушарці. Дроблення прискорює термовологообмінні процеси в окремій часточці продукту, проте є причиною деяких негативних явищ: зменшує об'єм робочих газів та збільшує аспіраційні відноси під час сушіння.

В програмному середовищі STATISTICA сформовано інтервальный статистичний ряд геометричних характеристик 60 насінин сої (табл. 1).

Діапазон розбіжності показників становив: за довжиною – 5,95...10,56 мм, шириною – 4,83...6,78 мм, товщиною – 2,73...5,34 мм. Середньоарифметичні значення: довжина – 8,48 мм, ширина – 5,45 мм, товщина – 4,4 мм.

За інтервальним рядом побудовані гістограми розподілу геометричних характеристик насіння сої (рис. 2).

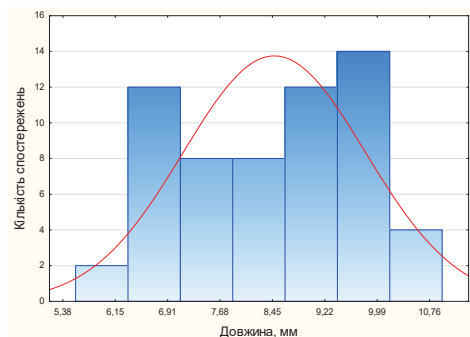
Індекс « $W$ » більший 0,9 лише за показниками розмірів дожини (0,93) та ширини (0,901), проте рівень статистичної значущості « $p$ » менший 0,05 за всіма показниками геометричних розмірів. Тому приймаємо альтернативну гіпотезу до нормального розподілу показників геометричних розмірів.

Прямі нормального розподілення на графіках (рис. 3) не співпадають з отриманими показниками геометричних розмірів насіння сої, відхилення найбільших показників товщини перевищують 100%, що свідчить про відсутність нормального розподілу. Відокремлення малого та невивпненого, а також травмування великого насіння сої під час збирання врожаю – ймовірно, є причиною відсутності нормального розподілення за геометричними розмірами.

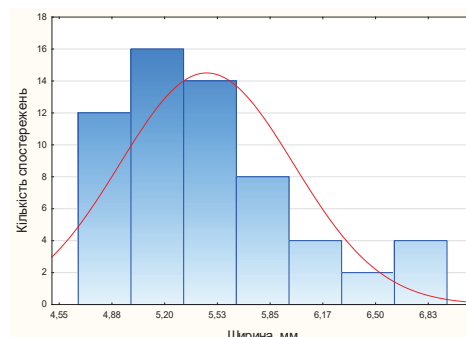
За отриманими геометричними показниками насіння провели розрахунок об'єму, сферичності, площі зовнішньої поверхні насіння.

## Інтервали групування показників довжини, ширини та товщини насіння сої

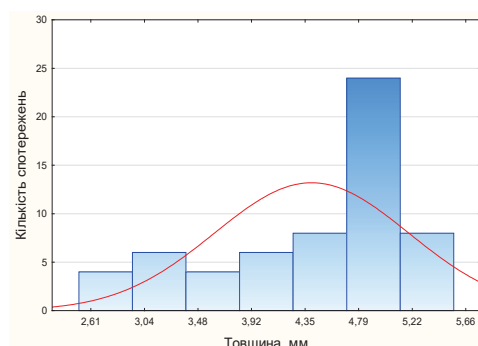
Межі групування	Експериментальні дані		Очікуваний результат	
	частота	%	частота	%
За показником довжина, l				
5,57<x≤6,33	2	3,33	2,38	4,16
6,33<x≤7,10	12	20	5,83	10,2
7,10<x≤7,87	8	13,33	10,37	18,14
7,87<x≤8,64	8	13,33	13,38	23,41
8,64<x≤9,40	12	20	12,52	21,9
9,40<x≤10,18	14	23,33	8,5	14,87
10,18<x≤10,94	4	6,67	4,18	7,31
За показником ширина, a				
4,67<x≤4,99	12	20	7,33	13,18
4,99<x≤5,32	16	26,67	12,22	21,97
5,32<x≤5,64	14	23,33	14,27	25,66
5,64<x≤5,97	8	13,33	11,67	20,99
5,97<x≤6,29	4	6,67	6,69	12,03
6,29<x≤6,62	2	3,33	2,68	4,82
6,62<x≤6,94	4	6,67	0,75	1,35
За показником товщина, b				
2,51<x≤2,95	4	6,67	1,46	2,64
2,95<x≤3,38	6	10	3,92	7,1
3,38<x≤3,82	4	6,67	7,87	14,26
3,82<x≤4,25	6	10	11,72	21,23
4,25<x≤4,69	8	13,33	12,98	23,51
4,69<x≤5,12	24	40	10,7	19,38
5,12<x≤5,56	8	13,33	6,55	11,87



а)



б)



в)

Рис. 2. Гістограми розподілу насіння сої:  
а – за довжиною; б – за шириною; в – за товщиною

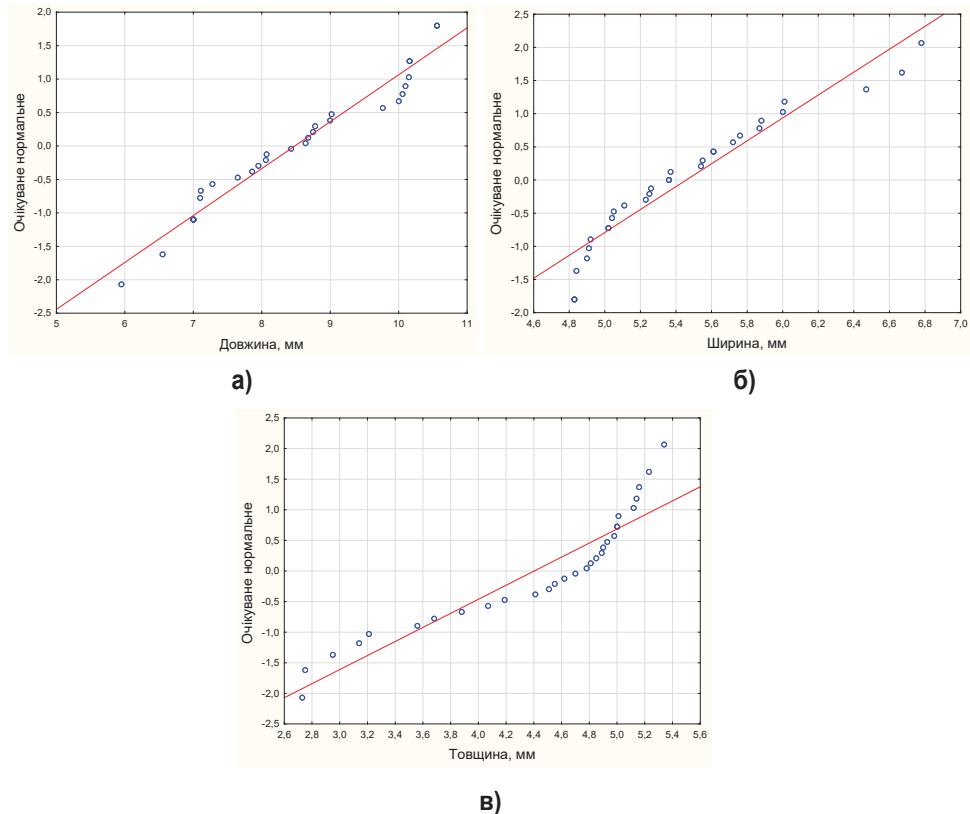


Рис. 3. Графіки відхилень від очікуваного нормального розподілення:  
а – за довжиною; б – за шириною; в – за товщиною

Площу зовнішньої поверхні насінини сої визначають за формулою:

$$F_3 = 0,35 \cdot (a + b + l)^2, \text{ мм}^2 \quad (4)$$

де: l, a, b – довжина, ширина та товщина насінини.

$$F_3 = 0,35 \cdot (8,48 + 5,46 + 4,4)^2 = 117 \text{ мм}^2$$

Об'єм насінини визначають за формулою:

$$V = k \cdot l \cdot a \cdot b, \text{ мм}^3 \quad (5)$$

де: k – коефіцієнт, що для насіння для сорго, проса, гороху, сої рівний 0,56;

$$V = 0,56 \cdot 8,48 \cdot 5,46 \cdot 4,4 = 114 \text{ мм}^3$$

Показник сферичності  $\psi$  – це відношення площі рівновеликої за об'ємом кулі до площі зовнішньої поверхні насінини

Сферичність визначають за формулою 6:

$$\psi = F_k / F_3 \quad (6)$$

де:  $F_k$  – площа зовнішньої поверхні кулі;

$F_3$  – площа зовнішньої поверхні насінини.

Площу зовнішньої поверхні кулі визначають за формулою 7:

$$F_k = 4 \cdot \pi \cdot (R_v)^2 \quad (7)$$

де:  $R_v$  – радіус кулі.

Радіус рівновеликої за об'ємом до насінини кулі визначають за формулою 8:

$$R_v = 0,62 \times \sqrt[3]{V} \quad (8)$$

де: V – об'єм насінини.

$$R_v = 0,62 \times \sqrt[3]{114} = 3 \text{ мм}$$

$$F_k = 4 \cdot 3,14 \cdot 3 = 113 \text{ мм}^2$$

Підставивши отримані значення площі поверхні рівновеликої за об'ємом кулі в формулу 6, визначили коефіцієнт сферичності:

$$\psi = 113 / 117 = 0,97$$

Масу 1000 насінин визначали за ГОСТ 10842-89. Масу однієї насінини розраховують за формулою 9:

$$m = M_{1000} / N \quad (9)$$

де: N – кількість насінин;  $M_{1000}$  насінин – маса 1000 насінин, г.

$$m = 151,3 / 1000 = 0,151 \text{ г}$$

Насипна маса, густина насіння та шпаруватість безпосередньо впливають на розподіл повітряного потоку в зерновій масі. Науковці (Shatskyi, V.V. et al., 2015) встановили залежність між цими властивостями і вмістом вологи. Густина насіння сої тісно пов'язана

з натурою – чим більше густина, тим більше натура (Ovsiannykova, L.K., & Lopatkin, V.H., 2017).

Густину насінини визначають за формулою 10:

$$\rho = m / V, \text{ г/см}^3 \quad (10)$$

де:  $m$  – маса насінини,  $V$  – об'єм насінини (114 мм<sup>3</sup> або 0,14 см<sup>3</sup>), см<sup>3</sup>.

$$\rho = 0,151 / 0,114 = 1,33 \text{ г/см}^3$$

Враховуючи, що насіння сої крупнозернисте, має щільну оболонку з невеликою кількістю мікро- та макрокапілярів, на другому етапі сушіння підвищується частка фізико-хімічної вологи у найвіддаленіших від поверхні зернини капілярах, що досить повільно видаляється (Kopets K. Ye., 2016). Різниця між парціальним тиском водяної пари в капілярах насіння і робочих газів зменшується, швидкість сушіння також падає (Наропіук І.І., 2009).

Нами встановлено подрібнення насіння сої сприяє випаровуванню вологи безпосередньо з капілярів ендосперму, також суттєво зростає дійсна площа поверхні та скорочується довжина капілярів крізь які видаляється волога (Sapelnikova Yu.S., & Tkachenko H.V., 2019).

Мілка фракція легко виноситься з зерносушарки відпрацьованим агентом сушіння, що є причиною втрат маси. Використання плющильних верстатів дозволяє отримати більший вихід крупної фракції. Молоткова дробарка на час проведення досліду була змонтована у цеху на виробничій базі ТОВ «Відродження» тому з організаційно-економічних міркувань довелося використовувати її.

Технологічні властивості насіння сої та їх порівняння із контрольним зразком наведено у таблиці 2. За контроль було взято ціле насіння сої, що надходило до молоткової дробарки ДКУ-1А (рис. 4).

Більше половини зернової маси (58,6%) взагалі не дроблено, або лише частково пошкоджено. Вихід основної фракції 1–3 мм становить лише 36,4%.

Масова частка фракції розміром менше 1 мм, що може видалятися з відпрацьованими робочими газами з зерносушарки, у дробленому насінні сої становила 5%. Встановлення розвантажувального сита значно збільшувало вихід мілкої фракції, за умов сушіння в ДСП-320Т без осаджувальних камер може призвести до значних втрат маси, а тому дроблення для виробничого експерименту проводили без розвантажувального сита.

Розраховано геометрично-масові показники продуктів дроблення, припустивши що часточки мають сферичну форму, окремо за кожною фракцією. Найбільша фракція складається з недробленого зерна, що має середні розміри:

$$(l + a + b) / 3 = (8,48 + 5,45 + 4,4) / 3 = 6,11 \text{ мм}$$

Діаметр часточки в розрахунках приймали середній: 0,5 мм для фракції 0–1 мм, 2 мм для фракції 1–3 мм та 4,56 мм для фракції 3–6,11 мм.

За отриманими геометричними показниками продуктів дроблення провели розрахунок об'єму та площі зовнішньої поверхні часточок.

Площу зовнішньої поверхні сферичної часточки визначають за формулою:

$$F_k = 4 \cdot \pi \cdot R_k^2 \quad (11)$$

де:  $R_k$  – радіус кулі.

Часточка з діаметром 0,5 мм має радіус 0,25 мм:

$$F_{0,5} = 4 \cdot \pi \cdot 0,25^2 = 0,79 \text{ мм}^2$$

$$F_2 = 4 \cdot \pi \cdot 1^2 = 12,57 \text{ мм}^2$$

$$F_{4,56} = 4 \cdot \pi \cdot 2,28^2 = 65,3 \text{ мм}^2$$

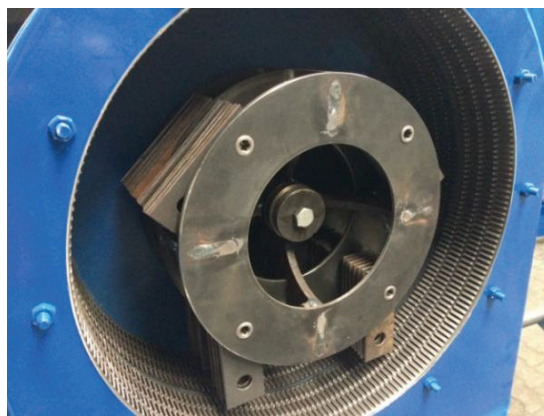


Рис. 4. Молоткова дробарка ДКУ-1А

Таблиця 2

**Фракційний склад насіння сої та продуктів дроблення молотковою дробаркою**

Фракція	Масова частка, %	
	ціле	дроблене
Залишок на ситі з отворами діаметром 3,0 мм	97,1	58,6
Залишок на ситі з отворами діаметром 1,0 мм	2,8	36,4
Прохід крізь сито з отворами діаметром 1,0 мм	0,1	5,0

Об'єм часточки визначають за формулою кулі:  

$$V = 4/3 \cdot \pi \cdot R_k^3, \text{ мм}^3 \quad (12)$$

де:  $R_k$  – радіус кулі

$$V_{0,5} = 4/3 \cdot \pi \cdot 0,25^3 = 0,065 \text{ мм}^3$$

$$V_2 = 4/3 \cdot \pi \cdot 1^3 = 4,19 \text{ мм}^3$$

$$V_{4,56} = 4/3 \cdot \pi \cdot 2,28^3 = 49,6 \text{ мм}^3$$

Порівняльна оцінка геометрично-масових показників насіння сої та продуктів дроблення наведена в таблиці 3.

Масу часточки розраховують за формулою 13:  

$$m_q = V_q \cdot \rho_q, \text{ г} \quad (13)$$

де:  $m_q$  – маса часточки,  $V_q$  – об'єм часточки,  $\rho_q$  – густина часточки.

$$\rho_q = \rho = 1,33 \text{ г/см}^3 = 0,00133 \text{ г/мм}^3$$

$$m_{q0,5} = 0,065 \cdot 0,00133 = 0,00008645 \text{ г}$$

$$m_{q2} = 4,19 \cdot 0,00133 = 0,0055727 \text{ г}$$

$$m_{q4,56} = 49,6 \cdot 0,00133 = 0,066 \text{ г}$$

Таблиця 3

Порівняльна оцінка геометрично-масових показників насіння сої та продуктів дроблення

Зразок	Довжина l, мм	Ширина a, мм	Товщина b, мм	Об'єм V, мм <sup>3</sup>	Сферичність $\psi$ , %	Площа зовнішньої поверхні F <sub>з</sub> , мм <sup>2</sup>
Ціла	8,48	5,46	4,4	114	0,97	117
Фракція 0–1 мм	0,5	0,5	0,5	0,065	1	0,79
Фракція 1–3 мм	2	2	2	4,19	1	12,57
Фракція 3–6,11 мм	4,56	4,56	4,56	49,6	1	65,3

З однієї насінини сої можна отримати таку кількість часточок:

$$n_{0,5} = m / m_{q0,5} = 0,151 / 0,00008645 = 1747 \text{ штук}$$

$$n_2 = m / m_{q2} = 0,151 / 0,0055727 = 27 \text{ штук}$$

$$n_{4,56} = m / m_{q4,56} = 0,151 / 0,066 = 2,3 \text{ штук}$$

Площа зовнішньої поверхні часточок, що утворилися з однієї насінини буде становити:

$$F_{n0,5} = F_{0,5} \cdot n_{0,5} = 0,79 \cdot 1747 = 1380 \text{ мм}^2$$

$$F_{n2} = F_2 \cdot n_2 = 12,57 \cdot 27 = 339 \text{ мм}^2$$

$$F_{n4,56} = F_{4,56} \cdot n_{4,56} = 65,3 \cdot 2,3 = 149 \text{ мм}^2$$

Збільшення зовнішньої поверхні розраховують як відношення площі зовнішньої поверхні насінини до площі поверхні часточок, що з неї утворилися:

$$K_{0,5} = F_{n0,5} / F_3 \cdot 100 = 1380 / 117 \cdot 100 = 1180\%$$

$$K_2 = F_{n2} / F_3 \cdot 100 = 339 / 117 \cdot 100 = 289\%$$

$$K_{4,56} = F_{n4,56} / F_3 \cdot 100 = 149 / 117 \cdot 100 = 128\%$$

Площа поверхні випаровування збільшується в 1,3 рази у фракції 3–6,11 мм, в 2,9 – у фракції 1–3 мм та майже у 12 разів – у фракції 0–1 мм.

**Висновки.** За результатами лабораторно-виробничих експериментів зроблено наступні висновки:

1. Середньоарифметичні значення цілого насіння сої: довжина – 8,48 мм, ширина – 5,45 мм, товщина – 4,4 мм.

2. За результатами математичного аналізу відхилено нульову теорію нормального розподілення за геометричними розмірами.

3. Масова частка фракції розміром менше 1 мм, що може видалятися з відпрацьованими робочими газами з зерносушарки, у дробленому насінні сої становить 5%.

4. Площа поверхні випаровування збільшується в 1,3 рази у фракції 3–6,11 мм, в 2,9 – у фракції 1–3 мм та майже у 12 разів – у фракції 0–1 мм.

#### Бібліографічні посилання:

1. DSTU 3355-96 (1997) *Produktsiia silskohospodarska roslynnna. Metody vidboru prob u protsesi karantynnoho ohliadu ta ekspertyzy*. [Agricultural plant products. Methods of sampling in the process of quarantine inspection and examination. Valid from 1997-07-01]. Kyiv: State standard Ukraine., 5 p. [in Ukrainian].

2. DSTU 4964:2008 (2008) *Soia. Tekhnichni umovy*. [Soy. Specifications. Valid from 2010-07-01]. Kyiv: State standard Ukraine, 4p. [in Ukrainian].

3. Fetisov V.S. (2018) *Paket statystychnoho analizu danykh STATISTICA* [Package of statistical analysis of data STATISTICA] Nizhyn, NDU im. M. Hoholia. 114. [in Ukrainian].

4. Haponiuk I.I. (2009) *Udoskonalennia tekhnolohii sushinnia zerna* [Improvement of grain drying technology] Odesa, «Polihraf», 182 p. [in Ukrainian].

5. HOST 13586.3-83 (1983) *Zerno. Pravyla pryimannia i metody vidboru prob*. [Grain. Methods for determining infestation and damage by pests. Valid from 1984-07-01]. Resolution of the State Committee of the USSR on Standards of 23-05-1983 [in Ukrainian].

6. Kopets K. Ye. (2016) *Rozrobka ta obgruntuvannia parametriv prystroiu pidhotovky zeren soi do sushinnia*. [Development and substantiation of the parameters of the device for preparing soybeans for drying]. Extended abstract of candidate's thesis. Lviv: nats. ahrar. un-t. 20 p. [in Ukrainian].

7. Kostetska K.V., & Herasymchuk O. P. (2022) *Pidvyshchennia yakosti soi fraktsionuvanniam nasinnia*. [Improving soybean quality by seed fractionation]. Bulletin of Uman national university of horticulture, (Vol.1), 70–76. [in Ukrainian].

8. Martsun O.M, Osokina N.M, Yaniuk T.V., Yaroshenko V.V., & Tkachenko H.V. inventors. *Sposib pidhotovky nasinnia soi droblenniam dlia vyluchennia olii ekstruziieiu z nastupnym presuvanniam*[Method of preparation of soybean seeds by crushing for extracting oil by extrusion followed by pressing]. Ukrainian patent, no. 110506, 2016.
9. Ovsianynkova, L.K., & Lopatkin, V.H. (2017) *Pidvyshchennia efektyvnosti ochyshchennia soi* [Improving the efficiency of cleaning soybeans.]. Zbirnyk tez dopovidei 77 naukovoi konferentsii vykladachiv akademii ONAKhT (Vol. 77. 1), 30–32[in Ukrainian].
10. Sapelnikova Yu.S., & Tkachenko H.V. (2019) *Sposib pidhotovky nasinnia soi dlia vyluchennia olii metodom sukhoi ekstruzii* [Method of preparation of soybean seeds for oil extraction by dry extrusion method UNUS. Uman. (Vol. 4) 55–56 [in Ukrainian].
11. Sharon, M., Priya E., & Subhashini. S. (2016) Thin layer and deep bed drying basic theories and modelling: A review. *Int. J. Agric. Eng.* 18: 314–325.
12. Shatskyi, V.V., Demianenko, D.V., & Chaplynskyi A.P. (2015) *Zminy fizyko-mekhanichnykh vlastyvoستي zernovykh materialiv v protsesi teplovoi obrobky*. [Changes in physical and mechanical properties of grain materials during heat treatment.] *Tavri State Agro-Technological University. Technical sciences*, (Vol. 15. 4), 47–52. [in Ukrainian].
13. Tsyz K.Ie., & Kirchuk R.V. (2012) *Doslidzhennia protsesu ta poshuk shliakhiv intensyfikatsii sushinnia nasinnia soi*. [Studying the process and finding ways to intensify the drying of soybean seeds.] *Design, production and operation of agricultural machines* (Vol. 42. 2) Kirovohrad: KNTU. 75–78. [in Ukrainian].
14. Tsyz K.Ie., Kirchuk R.V., & Zabrodotska L.Iu. (2013) *Vyznachennia vplyvu deformatsii obolonky nasynny soi na intensyvnist sushinnia* [Determining the effect of soybean seed coat deformation on drying intensity]: *Agricultural machinery* (Vol. 25) – Lutsk NTU. 160–165. [in Ukrainian].

**Poddubny V. A.** Doctor of Engineering, professor, State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

**Osokina N. M.** Doctor of Agricultural Sciences, professor, Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

**Tkachenko H. V.** Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

#### **Determination of physical and mechanical properties of soybean seeds as a raw material for oil production**

The article presents a study of some geometric and physical parameters of soybean seeds and crushing products. To achieve the goal, the following research tasks were set: to carry out a technological evaluation of whole soybean seeds; carry out crushing of soybean seeds with a hammer crusher and determine some parameters of the crushing products (particle volume and outer surface area). The subject of our research was depersonalized soybean seeds that were sent for processing to the oil press plant of "Vidrodzhennia" LLC. The object of the study is the technological indicators of soybean seeds and the products of its crushing with a hammer crusher. To determine the geometric dimensions, 60 seeds were selected. The mass of the batch of soybean seeds for crushing was 50 tons. For the output of a more homogeneous large fraction in size, it is better to use mechanisms whose operation is based on the principles of product compression – flattening machines. For organizational and economic reasons, it was necessary to stop the choice on the hammer crusher, which was at the production base of "Vidrodzhennia" LLC. Crushing products were divided into fractions using sieves with round holes with diameters of 3.0 and 1.0 mm and weighed. Arithmetic average values of whole soybean seeds: length – 8.48 mm, width – 5.45 mm, thickness – 4.4 mm. According to the results of the mathematical analysis, the null theory of normal distribution by geometric dimensions was rejected. The area of the outer surface of a soybean seed is 117 mm<sup>2</sup>. The seed density is 1.33 g/cm<sup>3</sup>. More than half of the grain mass (58.6%) was not crushed at all, or only partially damaged. The yield of the main fraction of 1–3 mm is only 36.4%. The mass fraction of the fraction smaller than 1 mm, which can be removed with the spent working gases from the grain dryer, in crushed soybean seeds was 5%. The evaporation surface area increases by 289% in the 1–3 mm fraction and almost 12 times in the 0–1 mm fraction.

**Key words:** seed, soybean, size, density, crushing, drying, oil.