

**Піддубний В.А.**

д.т.н., професор

**Осокіна М.Н.**

д.т.н., професор

**Ткаченко Г.В.****Уманський національний  
університет  
садівництва****Piddubny V.**Doctor of Technical Sciences,  
Professor**Osokina N.**Doctor of Technical Sciences,  
Professor**Tkachenko H.****Uman National University of  
Horticulture****УДК 664.7:665.3****DOI: 10.37128/2306-8744-2024-2-12****ОЦІНКА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ  
ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРОДУКТІВ  
ДРОБЛЕННЯ НАСІННЯ СОЇ  
ОЛІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Технологія виробництва олії пресовим способом з насіння сої передбачає його сушіння до вологості 8,0–8,5%. Витрати енергії на завершальних етапах зневоднення, можуть на 300–400% і більше перевищувати розрахунково необхідні для фазових перетворень. Незначний надріз оболонки насінини забезпечує швидке видалення надлишкової вологи і скорочує експозицію сушіння у 1,5 рази. Зерновий шар продуктів дроблення насіння сої створюють більший гідравлічний опір робочим газам, зменшуючи їх витрати. Повторне використання робочих газів (рекуперація) передбачає додаткове їхнє проходження крізь зерновий шар збільшуючи його висоту вдвічі.

Мета досліджень – визначення втрат тиску в малорухомому шарі продуктів дроблення насіння сої. Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання: розрахувати висоту шару продукту в зерносушарках типу ДСП-32 та BRICE-BAKER; дослідити гранулометричний склад продуктів дроблення; розрахувати гідравлічний опір шару продуктів дроблення насіння сої.

Продукти дроблення, отримані від молоткової дробарки та вальцьового верстата, за допомогою сит із круглими отворами діаметрами 3,0 та 1,0 мм розподіляли на фракції та зважували. Розраховували середній діаметр часточок. Визначали насипну масу продуктів дроблення. В програмному пакеті КОМПАС-3D розраховували висоту шару продуктів: для зерносушарок типу ДСП-32 – 0,25м, BRICE-BAKER – 0,325м. Співвідношення площі відвідних коробів до загальної площі зернового шару зерносушарки ДСП-32 складало 0,03917, BRICE-BAKER – 0,021373. Масова частка фракцій з розміром часточок менше 3 мм у випадку застосування вальцьового верстату становила лише 8,5%, що набагато менше ніж у випадку застосування молоткової дробарки – 41,4%.

Втрати тиску, розраховували в програмному середовищі Mathcad, за використання вальцьового верстату дещо нижчі порівняно з аналогічними варіантами з застосуванням молоткової дробарки. За максимальної товщини шару (0,65м) та максимальної фіктивної швидкості руху робочих газів (0,4м/с), гідравлічний опір становив 1450 та 1352Па відповідно. Дроблення насіння сої підвищує втрати тиску у шарі максимальної товщини та швидкості робочих газів у 2,1 рази за використання вальцьового верстату та у 2,2 рази – молоткової дробарки.

**Ключові слова:** насіння сої, олія, дроблення, сушіння, втрати тиску.

**Вступ.** Технологія виробництва олії попереднє очищення насіння, його сушіння до пресовим способом з насіння сої передбачає: вологості 12–14%, зберігання, досушування до



вологості 8,0–8,5%, первинне очищення, термічна обробка, екструзування, пресування, очищення олії та охолодження макухи [1, 2].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** На завершальному етапі сушіння насіння до вологості нижче критичної, частка теплоти робочих газів на випаровування вологи з внутрішніх шарів зернини суттєво зменшується, а частка теплоти на нагрівання зерна відповідно зростає. Із зменшенням частки теплоти на випаровування вологи з зерна, зростають втрати теплоти з відпрацьованими газами та зменшується їхній вологовміст і відносна вологість. Із цим пов'язано значне зростання питомих витрат теплоти для сушіння зерна на завершальних етапах його зневоднення, що можуть на 300–400% і більше перевищувати розрахунково необхідні для фазових перетворень. За вологості кукурудзи 12% додатковий опір внутрішньої дифузії на випаровування 1 кг вологи перевищує 9 кДж [3 с.125].

В лабораторних умовах встановлено, що підготовка насіння сої до сушіння у післязбиральному процесі обробки пошкодженням (руйнуванням) поверхні насінини є дієвим методом в плані зниження енерговитрат. Незначний надріз оболонки насінини забезпечує швидке видалення надлишкової вологи і скорочує експозицію сушіння у 1,5 рази [4; 5].

**Мета досліджень** є визначення втрат тиску в малорухомому шарі продуктів дроблення насіння сої. Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання: розрахувати висоту шару продукту в зерносушарках типу ДСП-32 та BRICE-BAKER; дослідити гранулометричний склад продуктів дроблення; розрахувати гідравлічний опір шару продуктів дроблення насіння сої.

**Методика дослідження.** Лабораторні дослідження проведені на кафедрі технологій зберігання і переробки зерна Уманського національного університету садівництва. Виробничі дослідження – на базі ТОВ "Відродження" с. Громада Любарського району Житомирської області.

Маса партії насіння сої для дроблення становила 50 т для повного завантаження зерносушарки ДСП-32. З метою отримання крупної фракції знято розвантажувальне сито молоткової дробарки ДКУ-1А. Дроблення насіння сої вальцювим верстатом відбувалося у спеціально побудованому цеху, що включав: скальператор А1-БЗО, магнітну колону, вальцювий верстат ЗМ-2 250\*1000, систему

аспірації та пневмотранспорту оболонки. З партій було відібрано зразок масою 2000 г. Продукти дроблення за допомогою сит із круглими отворами діаметрами 3,0 та 1,0 мм розподілили на фракції та зважували.

Середньозважений діаметр часточок продуктів дроблення насіння сої розраховували за формулою:

$$d_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (1)$$

де:  $x_i$  – масова частка фракції з діаметром частинок  $d_i$ ;  $d_i$  – середній діаметр частинок кожної фракції.

Насипну густину продуктів дроблення насіння сої визначали пуркою за ДСТУ 10840:2019 «Зерно. Метод визначення натур». Вона становила: 706 кг/м<sup>3</sup> за використання молоткової дробарки та 711 кг/м<sup>3</sup> – вальцювального верстату.

**Основні результати дослідження.** Важливим показником процесу сушіння є швидкість фільтрації робочих газів у насінневі масі віднесена до загальної площі насінневого шару (фіктивна швидкість). Виміряти її у виробничих умовах досить важко, набагато простіше визначити швидкість робочих газів у відповідних коробах та розрахунковим способом знайти фіктивну швидкість. Однією з конструктивних особливостей шахтних зерносушарок є співвідношення площі відповідних коробів до загальної площі зернового шару:

$$k = f_{\text{ряду}} / f_{\text{секції}}, \quad (2)$$

де:  $f_{\text{ряду}}$  – площа вихідного перерізу одного ряду коробів, м<sup>2</sup>;

$f_{\text{секції}}$  – площа поперечного перерізу секції, м<sup>2</sup>.

Секція зерносушарки ДСП-32ОТ зображена на рисунку 1



Рис. 1 Зовнішній вигляд секції зерносушарки ДСП-32ОТ

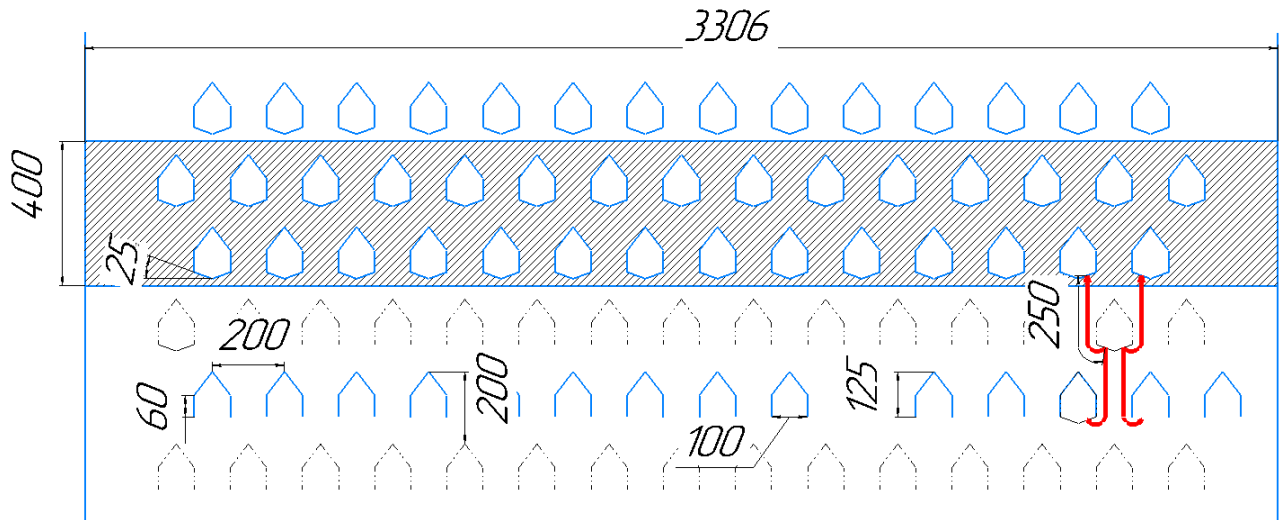
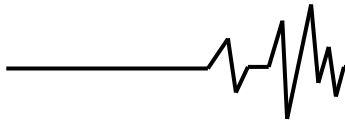


Рис. 2 Розміри секції зерносушарки ДСП-32ОТ

Площу одного відвідного короба даної форми (рис.2) розраховували як суму площ трикутника та прямокутника:

$$f = 100 \cdot 60 + 0,5 (100 \cdot 65) = 9250 \text{ мм}^2 = 0,00925 \text{ м}^2.$$

Площа вихідного перерізу одного ряду коробів (14 шт.):

$$f_{\text{ряду}} = 0,00925 \cdot 14 = 0,1295 \text{ м}^2.$$

Ширина секції становить 1 м, тому площа поперечного перерізу секції:

$$f_{\text{секції}} = 3,306 \cdot 1 = 3,306 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт співвідношення площі відвідних коробів до загальної площі зернового шару зерносушарки ДСП-32 визначали за формулою (2):

$$k = 0,1295 / 3,306 = 0,03917.$$

Зерносушарки шахтного типу модельного ряду BRICE-BAKER (рис. 3) складаються з 1–4 модулів, кожен з яких у висоту може містити від 3 до 21 секцій, залежно від продуктивності (10-300 т/год). Кожна секція має довжину – 2,4м, ширину – 2м та висоту – 1м, складається з двох рядів підвідних та відвідних коробів. Ряд відвідних коробів має два напівкороби. На відміну від зерносушарок типу ДСП відстань між коробами поблизу стінок достатня для безперешкодного проходження насінневої маси. Газорозподільчі коробки мають форму рівностороннього трикутника, рівномірне розподілення робочих газів за довжиною сушарки відбувається за допомогою горизонтальної перегородки всередині коробів. Середня товщина шару зерна більша ніж у зерносушарок ДСП-32 і складає – 0,325м (рис. 4). Збільшення товщини шару знижує втрати енергії з відпрацьованими робочими газами за

сушіння культур, що мають крупне насіння (кукурудза та соя). Зерновий шар сільськогосподарських культур з малими розмірами насіння, а також продукти дроблення насіння сої створюють більший гідравлічний опір робочим газам, зменшуючи їх витрати. Повторне використання робочих газів (рекуперація) передбачає додаткове проходження їх крізь насінневий шар. Компенсація додаткових втрат тиску відбувається за рахунок встановлення вентиляторів рекуперації з частотними перетворювачами.



Рис. 3 Зовнішній вигляд секції зерносушарки типу BRICE-BAKER

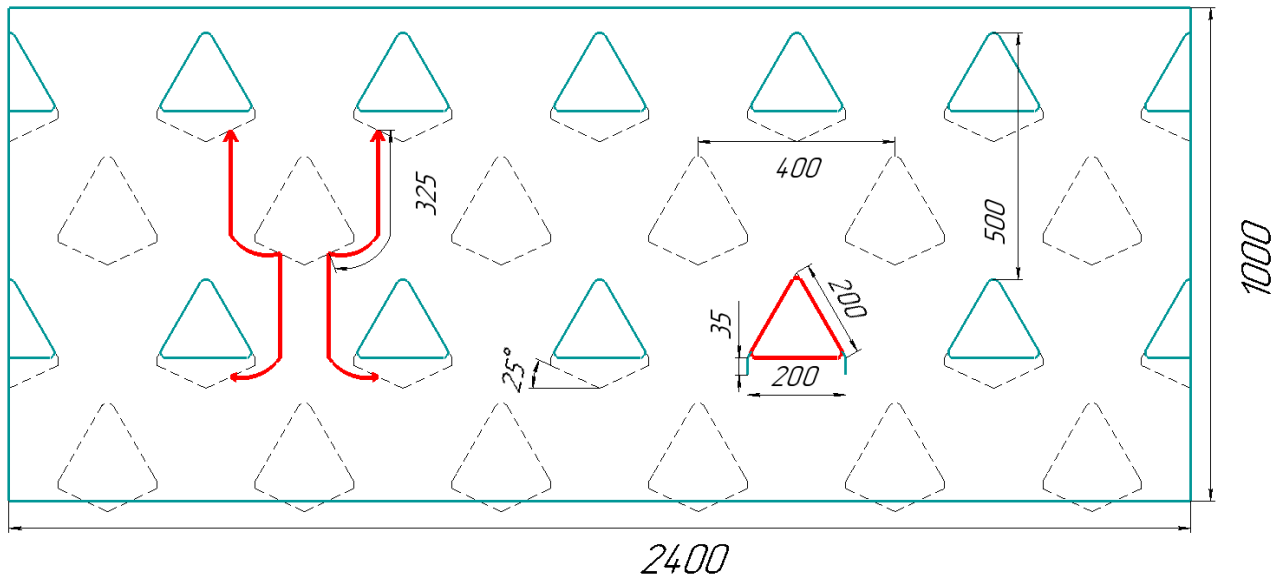


Рис. 4 Розміри секції зерносушарки BRICE-BAKER

Площу одного відвідного короба даної форми (рис. 4) розраховували за формулою площі рівностороннього трикутника :

$$f = \frac{a^2 \cdot \sqrt{3}}{4} = \frac{0,2^2 \cdot \sqrt{3}}{4} = 0,01732 \text{ м}^2, \quad (3)$$

де: а – сторона трикутника, м.

З урахуванням закруглень вершин трикутника площа одного відвідного короба порахована за допомогою прикладної програми КОМПАС-3D становить – 0,017099 м<sup>2</sup>

Площа вихідного перерізу одного ряду коробів секції сушарки типу BRICE-BAKER (6 шт.):

$$f_{\text{ряду}} = 0,017099 \cdot 6 = 0,102594 \text{ м}^2.$$

Ширина секції становить 2 м, тому площа поперечного перерізу секції:

$$f_{\text{секції}} = 2,4 \cdot 2 = 4,8 \text{ м}^2.$$

Співвідношення площі відвідних коробів до загальної площі зернового шару зерносушарки BRICE-BAKER розраховували за формулою (2):

$$k = 0,102594 / 4,8 = 0,021373.$$

Насіння сої має щільну оболонку з невеликою кількістю мікро- та макрокапілярів. На другому етапі сушіння підвищується частка фізико-хімічної вологи у найвіддаленіших від поверхні насінини капілярах, що досить повільно видаляється. Різниця між парціальним тиском водяної пари в капілярах насіння і робочих газів зменшується, швидкість сушіння також падає. Подрібнення насіння сої сприяє випаровуванню вологи безпосередньо з капілярів ендосперму, також суттєво зростає дійсна площа поверхні та скорочується довжина капілярів крізь які видаляється волога[6; 3].

Соя відноситься до крупнозернистих культур, її насіння має еліпсоподібну форму, а тому створює мінімальний (гідралічний) опір робочим газам в зерносушарці. Дроблення

прискорює термовологообмінні процеси в окремій часточці продукту, але є причиною деяких негативних явищ: зменшує об'єм робочих газів та збільшує аспіраційні відноси під час сушіння.

Основним способом описання гідродинаміки руху газового потоку крізь стаціонарний пористий шар матеріалу є використання формули (4) Дарсі-Вейсбаха [7]:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{H}{d_e} \cdot \frac{\rho \cdot v_0^2}{2}, \quad (4)$$

де  $\Delta P$  – втрати тиску в шарі матеріалу, Па;

$\lambda$  – коефіцієнт опору шару;  $H$  – висота шару, м;  $d_e$  – еквівалентний діаметр, м;  $\rho$  – густина робочих газів, кг/м<sup>3</sup>;  $v_0$  – фіктивна швидкість руху робочих газів, м/с.

Густину робочих газів розраховували за формулою (5), що достовірна за температур: 50–1200 °С [8]:

$$\rho = \frac{348,4}{t + 1,7 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 273,15}, \quad (5)$$

де:  $\rho$  – густина робочих газів, кг/м<sup>3</sup>;

$t$  – температура робочих газів, ( 60 °С).

Розрахунки проводили для початкових етапів сушіння, де відбувається нагрів продуктів дроблення насіння сої, й необхідні значні витрати робочих газів ( $v_0 = 0,4$  м/с). На завершальних етапах сушіння зростають втрати теплоти з відпрацьованими робочими газами, за таких умов доцільно знизити фіктивну швидкість до 0,2 м/с. У зонах «відлежування» мінімальна фіктивна швидкість руху робочих газів – 0,1 м/с.

Температуру робочих газів приймали середньоарифметичну між значеннями надходження та видалення з шару продукту. Кінематичну в'язкість знаходили за формулою (6), що достовірна за температур: 0–1200 °С ( $\delta\mu = 1\%$ ) [8 с.37]:





$$\nu \cdot 10^3 = \exp [0,2068 - 8,64 \cdot 10^{-5} \ln^2(t + 100) - 1,435 \cdot 10^{-2} \ln(t + 100)]^{-1}, \quad (6)$$

де:  $\nu$  – кінематична в'язкість,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $t$  – температура робочих газів, ( $60^\circ\text{C}$ ).

За сушіння дисперсних матеріалів шляхом фільтрування робочих газів крізь малорухомий шар [9], поверхню тепло- і масопередачі розраховували за формулою (7):

$$a = f_{\text{ум}} \cdot k_e, \quad (7)$$

де:  $a$  – питома поверхня шару,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ ;  $k_e$  – коефіцієнт взаємного екранування ( $k_e=0,7$ ) [10, с.87],  $f_{\text{ум}}$  – умовна питома поверхня шару дисперсного матеріалу,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ .

Умовна питома поверхня залежить від форми та розміру часточок, а також від шпаруватості[9]:

$$f_{\text{ум}} = \frac{6 \cdot (1-\varepsilon)}{d_{\text{ч}} \cdot \Phi}, \quad (8)$$

де:  $\Phi$  – коефіцієнт форми частинок ( $\Phi=0,7$ ) [10].

Малорухомий шар продуктів дроблення насіння сої утворений з часточок кутастої форми. Між частинками існують канали, крізь які фільтруються робочі гази. Еквівалентний діаметр таких каналів є одним із визначальних показників малорухомого шару продукту [9]. Еквівалентний діаметр шпарин між часточками продукту визначали за формулою (9):

$$d_e = \frac{4\varepsilon}{a}, \quad (9)$$

де:  $\varepsilon$  – шпаруватість шару;  $a$  – відношення загальної площі поверхні часточок, що містяться в певному об'ємі.

Число Рейнольдса розраховували за формулою (10):

$$Re = \frac{\nu \cdot d_e}{\nu}, \quad (10)$$

де:  $\nu$  – кінематична в'язкість,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\nu$  – фіктивна швидкість робочих газів,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$d_e$  – еквівалентний діаметр, який дорівнює сумарному поперечному перерізу всіх каналів у дисперсному шарі.

Коефіцієнт гідравлічного опору шару, що складається з частинок сферичної форми однакових за розміром визначали за формулою (11) [7]:

$$\lambda = \frac{A}{Re} + B, \quad (11)$$

Коефіцієнт гідравлічного опору шару складається з частки ламінарного опору –  $A/Re$  та турбулентного –  $B$ .  $A$  та  $B$  – коефіцієнти, що залежать від гранулометричного складу. Найбільш подібний до продуктів дроблення насіння сої гранулометричний енергетичної верби ( $A=1800$ ,  $B=9,6$ ) [8].

Таблиця 1

Характеристики шару цілого насіння сої

$\rho_{\text{ст}}$	$\rho_{\text{н}}$	$d_e$	$d_{\text{ч}}$	$a$	$\varepsilon$
1330 $\text{кг}/\text{м}^3$	742, $\text{кг}/\text{м}^3$	$3,2 \cdot 10^{-3}$ , м	$6,01 \cdot 10^{-3}$ , м	555, $\text{м}^2/\text{м}^3$	0,44, $\text{м}^3/\text{м}^3$

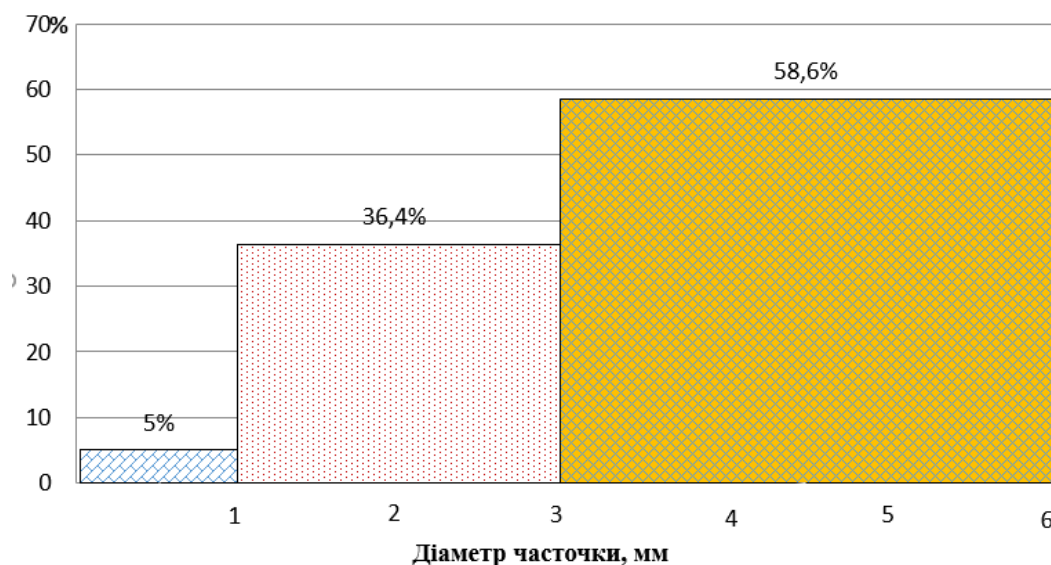


Рис. 5 Гранулометричний склад продуктів дроблення насіння сої за допомогою молоткової дробарки ДКУ-1А.

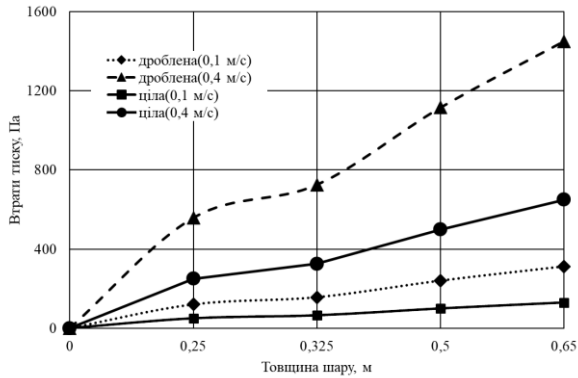
Таблиця 2

Характеристики шару продуктів дроблення насіння сої за допомогою молоткової дробарки

$\rho_{\text{ст}}$	$\rho_{\text{н}}$	$d_e$	$d_{\text{ч}}$	$a$	$\varepsilon$
1330 $\text{кг}/\text{м}^3$	706, $\text{кг}/\text{м}^3$	$2 \cdot 10^{-3}$ , м	$3,43 \cdot 10^{-3}$ , м	926, $\text{м}^2/\text{м}^3$	0,47, $\text{м}^3/\text{м}^3$



Досліджена гідродинаміка фільтрації робочих газів крізь малорухомий шар продуктів дроблення насіння сої за різних висот шару (0,25м –ДСП-320Т, 0,325м – BRICE-BAKER, 0,5м–ДСП-32\*2М [11], 0,65м –BRICE-BAKER SCN-18/48 [12 ]) відповідно до фіктивної швидкості потоку робочих газів (0,1; 0,2; 0,4 м/с).

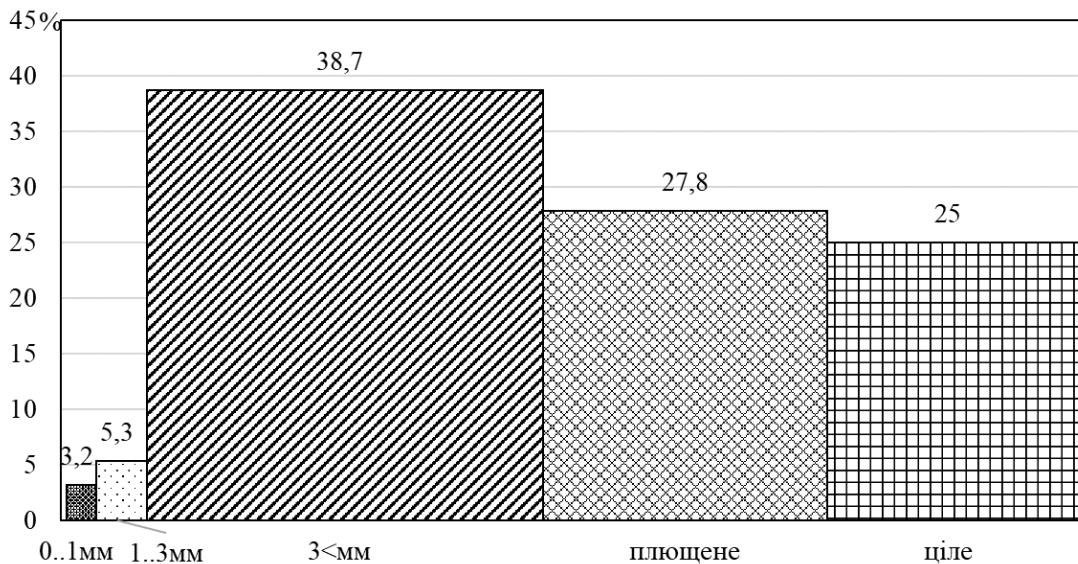


**Рисунок 6. Залежність втрат тиску в малорухомому шарі цілого насіння сої та продуктів молотковою дробаркою від фіктивної швидкості руху робочих газів.**

Результати розрахунків, за вихідними даними з таблиць (1-3), виконані за допомогою прикладної програми Mathcad і представлені у вигляді кривих, зображених на рисунку 6. Аналіз отриманих даних показує на те, що із

збільшенням товщини шару продуктів дроблення з 0,25м до 0,65м його гідравлічний опір зростає з 1186 Па до 3083 Па за швидкості руху теплового агенту 0,4 м/с. Компенсація додаткових втрат тиску відбувалася за рахунок встановлення додаткових вентиляторів рекуперації в зерносушарках ДСП-32\*2М та BRICE-BAKER SCN-18/48. Дроблення насіння сої підвищує втрати тиску у 2,2 рази з 649 до 1450 Па за максимальної товщини шару та швидкості робочих газів.

Фракції з маленькими часточками легко виноситься з зерносушарки відпрацьованими робочими газами, що є причиною втрат маси. Масова частка фракцій з розміром часточок менше 3 мм у випадку застосування вальцювого верстату становила лише 8,5% (рис.7), що набагато менше ніж у випадку застосування молоткової дробарки – 41,4% (рис5). Для виходу більш однорідної крупної фракції за розміром краще застосовувати механізми робота яких базується на принципах стиснення продукту – плющильних верстатів. З організаційно-економічних міркувань довелося зупинити вибір для проведення дослідів на молотковій дробарці, що була на виробничій базі ТОВ «Відродження», а цех подрібнення насіння сої обладнати вальцювим верстатом 3М-2 250\*1000.



**Рис. 7. Гранулометричний склад продуктів дроблення насіння сої за допомогою вальцювого верстату 3М-2 250\*1000**

Таблиця 3

Характеристики шару продуктів дроблення насіння сої за допомогою вальцювого верстату

$\rho_{\text{ст}}$	$\rho_{\text{н}}$	$d_e$	$d_ч$	$a$	$\epsilon$
1330 кг/м <sup>3</sup>	711, кг/м <sup>3</sup>	$2,11 \cdot 10^{-3}$ , м	$3,62 \cdot 10^{-3}$ , м	884, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	0,47, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>

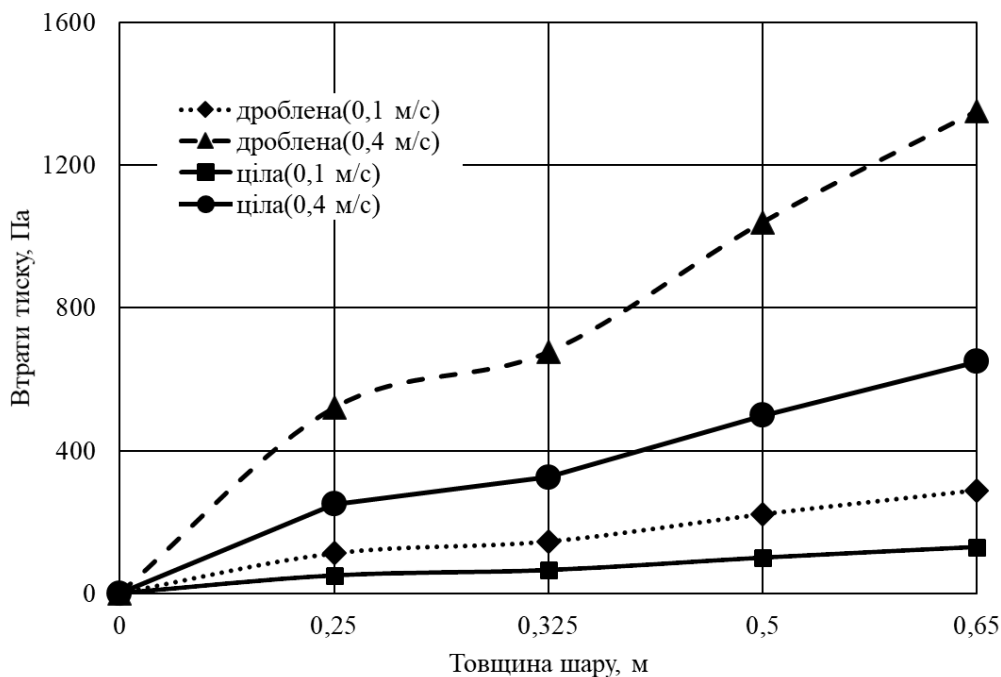


Рис. 8. Залежність втрат тиску в малорухомом шарі цілого насіння сої та продуктів дроблення вальцьовим верстатом від фіктивної швидкості руху робочих газів.

Втрати тиску за використання вальцьового верстату (рис.8) дещо нижчі порівняно з аналогічними варіантами з застосуванням молоткової дробарки (рис. 6). За максимальної товщини шару (0,65м) та максимальної фіктивної швидкості руху робочих газів (0,4м/с) гідравлічний опір становив 1450 та 1352Па відповідно. Дроблення насіння сої підвищує втрати тиску у 2,1 рази з 649 до 1352 Па за максимальної товщини шару та швидкості робочих газів.

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

1. Співвідношення площі відвідних коробів до загальної площі насінневого шару зерносушарки ДСП-32 становить 0,03917, BRICE-BAKER – 0,021373.

2. Середня товщина шару насіння зерносушарок ДСП-32 складає 0,25м, BRICE-BAKER – 0,325м.

3. Масова частка фракцій з розміром часточок менше 3 мм у випадку застосування вальцьового верстату становить лише 8,5%, що майже у п'ять разів менше ніж у випадку застосування молоткової дробарки – 41,4%.

4. Втрати тиску за використання вальцьового верстату дещо нижчі порівняно з аналогічними варіантами з застосуванням молоткової дробарки. За максимальної товщини шару (0,65м) та максимальної фіктивної швидкості руху робочих газів (0,4м/с), гідравлічний опір становить 1450 та 1352Па відповідно.

5. Дроблення насіння сої підвищує втрати тиску у шарі максимальної товщини та швидкості робочих газів у 2,1 рази за використання вальцьового верстату та у 2,2 рази – молоткової дробарки.

#### Список використаних джерел

1. Спосіб підготовки насіння сої плющенням для вилучення олії екструзією з наступним пресуванням: пат. 110507 Україна, МПК С11В 1/04 А23Р 30/20 / Марцун О.М., Осокіна Н.М., Янюк Т.В., Ярошенко В.В., Ткаченко Г.В. – № у 2016 04102; заявл. 14.04.2016; чинний з 10.10.2016, Бюл. № 19

2. Спосіб підготовки насіння сої дробленням для вилучення олії екструзією з наступним пресуванням: пат. 110506 Україна, МПК С11В 1/04 А23Р 30/20 Марцун О.М. Осокіна Н.М. Янюк Т.В. Ярошенко В.В. Ткаченко Г.В. – № у 2016 04101; заявл. 14.04.2016 ; чинний з 10.10.2016, Бюл. № 19

3. Гапонюк І.І. Удосконалення технології сушіння зерна вітчизняних зерносушарок зменшенням опору внутрішньокапілярної дифузії вологи. Наукові праці ОНАХТ, Одеса, 2010. Випуск 38, т. 1, С.122–130.

4. Цизь К.Є., Кірчук Р.В. Дослідження процесу та пошук шляхів інтенсифікації сушіння насіння сої. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий науково-



технічний збірник. – Вип. 42. – Час. II. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – С. 75–78.

5. Цизь К.Є., Кірчук Р. В., Забродоцька Л.Ю. Визначення впливу деформації оболонки насінини сої на інтенсивність сушіння Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. - Вип. 25. – Луцьк: Ред.- вид. відділ Луцького НТУ, 2013. – С.160-165.

6. Копець К. Є. Розробка та обґрунтування параметрів пристрою підготовки зерен сої до сушіння: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11; Львів. нац. аграр. ун-т. - Львів, 2016. - 20 с.

7. Гапонюк І.І. Удосконалення технології сушіння зерна – Одеса, «Поліграф», 2009. –182с.

8. Федоров В.Г., Скарбовійчук О.М., Кепко О.І., Кравчук П.О. Теплофізичні характеристики продуктів і матеріалів АПК. Довідник Умань.: Редакційновидавничий відділ Уманського НУС, 2014. – 352 с.

9. Мосюк М. І., Атаманюк В. М., Кіндзера Д. П. Гідродинаміка стаціонарного шару подрібненої енергетичної верби під час фільтраційного сушіння. Наукові праці ОНАХТ, Одеса, 2011. Випуск 40, т. 1, С.197–202.

10. Атаманюк В. М., Гумницький Я. М. Наукові основи фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів: монографія - Львів, 2013. - 255 с.

11. Спарена шахтна зерносушарка з одним топковим відділенням: пат. 139774 Україна, МПК F26B 17/00 / Марцун О.М. , Осокіна Н.М., Скобленко В.П., Ярошенко В.В., Ткаченко Г.В. – № u 201905458; заявл. 21.05.2019; чинний з 27.01.2020, Бюл. № 2/2020

12. Шахтна зерносушарка з повторним використанням робочих газів: пат. 139775 Україна, МПК F26B 17/00 / Марцун О.М. , Осокіна Н.М., Улянич І.Ф., Ярошенко В.В., Ткаченко Г.В. – № u201905463; заявл. 21.05.2019; чинний з 27.01.2020, Бюл. № 2/2020

## Reference

1. Martsun O.M, Osokina N.M, Yaniuk T.V., Yaroshenko V.V., & Tkachenko H.V. inventors. *Sposib pidhotovky nasinnia soi plishchenniam dlia vyluchennia olii ekstruziieiu z nastupnym presuvanniam*[Method of preparation of soybean seeds by flattening for extracting oil by extrusion followed by pressing]. Ukrainian patent, no. 110507, 2016.

2. 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.

3. Haponiuk I.I. (2010) *Udoskonalennia tekhnologii sushinnia zerna vitchyznianskykh zernosusharok zmeshenniam oporu vnutrishnokapilarnoi dyfuzii volohy*. [Improving the grain drying technology of domestic grain dryers by reducing the resistance of intracapillary moisture diffusion]. Scientific works of ONAKHT, Odesa, Issue 38, vol. 1, pp. 122–130.

4. Tsyz K.le., & 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].

5. Tsyz K.le., Kirchuk R.V., & Zabrodotska L.lu. (2013) *Vyznachennia vplyvu deformatsii obolonky nasynny soi na intensyvnyist sushinnia* [Determining the effect of soybean seed coat deformation on drying intensity]: Agricultural machinery (Vol. 25) – Lutsk NTU. 160–165. [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. Haponiuk I.I. (2009) *Udoskonalennia tekhnologii sushinnia zerna* [Improvement of grain drying technology] Odesa, «Polihraf»,. 182 p. [in Ukrainian].

8. Fedorov V.H., Skarboviichuk O.M., Kepko O.I., & Kravchuk P.O. (2014) *Teplofizychni kharakterystyky produktiv i materialiv APK*. [Thermophysical characteristics of agricultural products and materials.] Directory of Uman.: Editorial and Publishing Department of the Uman National University of Science and Technology, 352 p.

9. Mosiuk M. I., Atamaniuk V. M., & Kindzera D. P. (2011) *Hidrodynamika statsionarnoho sharu podribnenoї enerhetychnoi verby pid chas filtratsiinoho sushinnia*. [Hydrodynamics of a stationary layer of crushed energy willow during filter drying.] Scientific works of ONAKHT, Odesa, Issue 40, vol. 1, pp. 197–202.

10. Atamaniuk V. M., & Humnytskyi Ya. M. (2013) *Naukovi osnovy filtratsiinoho sushinnia dyspersnykh materialiv*. [Scientific basis of filtration drying of dispersed materials] monograph - Lviv, 255 p.

11. Martsun O.M., Osokina N.M., Skoblenko V.P., Yaroshenko V.V., & Tkachenko H.V. inventors. *Sparena shakhtna zernosusharka*





z *odnym topkovym viddilenniam* [Paired mine grain dryer with one furnace compartment]. Ukrainian patent, no. 139774, 2020.

12. Martsun O.M., Osokina N.M., Ulianych I.F., Yaroshenko V.V., & Tkachenko H.V. inventors. *Shakhtna zernosusharka z povtornym vykorystanniam robochykh haziv* [Mine grain dryer with reuse of working gases]. Ukrainian patent, no. 139775, 2020.

#### ASSESSMENT OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE PRODUCTS OF CRUSHING SOYBEAN FOR OIL PRODUCTION

*Obtaining oil by pressing from soybean involves drying it to a moisture content of 8.0–8.5%. Energy costs can be 3-4 times higher than the costs of evaporation from the free surface of water. Damage to the soybean coat reduces drying time by 1.5 times. The hydraulic resistance to hot air of the grain layer of crushed soybean is greater than that of the whole grain. Reuse of hot air in the grain dryer (recuperation) doubles its path in the soybean layer.*

*The purpose of the article is to determine the hydraulic resistance to hot air in a grain dryer with crushed soybean. It is necessary to calculate the height of the product layer in grain dryers of the type DSP-32 and BRICE-BAKER, to*

*investigate the granulometric composition of crushing products.*

*Crushed soybean with a hammer mill and a roller mill were divided into fractions and weighed using sieves with round holes with diameters of 3.0 and 1.0 mm. The average particle diameter was calculated. The bulk mass of crushing products was determined. In the KOMPAS-3D software package, the height of the product layer was calculated: for grain dryers of the DSP-32 type - 0.25 m, BRICE-BAKER - 0.325 m. The ratio of the area of the outlet windows to the total area of the grain layer of the DSP-32 grain dryer is 0.03917, BRICE-BAKER – 0.021373. The mass share of fractions with a particle size of less than 3 mm in the case of using a roller mill was only 8.5%, which is much less than in the case of using a hammer crusher - 41.4%.*

*Hydraulic resistance to hot air in the grain dryer was calculated in the Mathcad software environment. At the maximum thickness of the layer (0.65 m) and the maximum grain of movement of hot air relative to the total area (0.4 m/s), the hydraulic resistance was 1450 (hammer mill) and 1352 Pa (roller mill). Crushing soybeans increases pressure loss by 2.1 times when using a roller mill and by 2.2 times when using a hammer mill.*

**Key words:** soybean, oil, crushing, drying, pressure loss.

#### Відомості про авторів

**Піддубний Володимир Антонович** – доктор технічних наук, професор кафедри ресторанних і крафтових технологій Державного торговельно-економічного університету (Корпус А, вулиця Кіото 19, м. Київ, 02156, E-mail: profpod@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1497-7133)

**Осокіна Ніна Максимівна** – доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри харчових технологій Уманського національного університету садівництва (корпус №4, Інститутська вулиця 1, Умань, Черкаська область, 20300, E-mail: ninaosokina1953@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2822-2989)

**Ткаченко Геннадій Володимирович** – Уманський національний університет садівництва (корпус №4, Інститутська вулиця 1, Умань, Черкаська область, 20300, E-mail: tkachenkogenady@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3438-938X)

**Piddubny Volodymyr** - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Restaurant and Craft Technologies of the State University of Trade and Economics (Building A, Kyoto Street 19, Kyiv, 02156, E-mail: profpod@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1497-7133)

**Osokina Nina** - doctor of agricultural sciences, professor of the Department of Food Technologies of the Uman National University of Horticulture (building #4, Instytutaska Street 1, Uman, Cherkasy Oblast, 20300, E-mail: ninaosokina1953@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2822-2989)

**Tkachenko Hennadii** – Uman National University of Horticulture (Building No. 4, Instytutaska Street 1, Uman, Cherkasy Oblast, 20300, E-mail: tkachenkogenady@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3438-938X)