

**В. А. Піддубний**

доктор технічних наук, професор,  
в.о. директора,  
Український науково-дослідний інститут спирту  
і біотехнології продовольчих продуктів  
(м. Київ, Україна)  
E-mail: profpod@ukr.net

**Н. М. Осокіна**

доктор сільськогосподарських наук,  
професор кафедри харчових технологій,  
Уманський національний університет садівництва  
(м. Умань, Україна)  
E-mail: ninaosokina1953@gmail.com

**Г. В. Ткаченко**

E-mail: tkachenkogenady@ukr.net

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ПРОДУКТІВ ДРОБЛЕННЯ НАСІННЯ СОЇ ОЛІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Отримання олії з насіння сої екструзійно-пресовим способом передбачає його сушіння до вологості 8,0–8,5%. Витрати енергії для сушіння можуть на 300–400% і більше перевищувати розрахунково необхідні для випаровування вологи. 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. Мета досліджень – визначення швидкості руху робочих газів у відповідних коробах зерносушарки за сушіння дробленого насіння сої. Швидкість робочих газів у відповідних коробах зерносушарки моделювали у програмному середовищі SOLIDWORKS. Сушіння дробленого насіння сої проводили в режимі періодичної дії (порційному) зерносушарки ДСП-320Т. За контроль взяли ціле насіння сої. Зважування насіння сої до та після сушіння проводили на автомобільних вагах. За результатами моделювання побудовано рисунок показників тиску робочих газів в перерізі, що розташований у центральній площині повітропроводів та газорозподільчих камер. Спостерігався значний перепад тиску (200 Па) в середині газорозподільчих камер: зони підвищеного тиску – навпроти входів повітропроводів, найнижчого – у центральній частині. Поєднання високої швидкості та тиску робочих газів у верхній частині газорозподільчої камери стало причиною різкого збільшення швидкості у верхньому ряду відповідних коробів першої секції. Фактично середня, визначена анемометром, швидкість робочих газів становить 4,2 м/с, що підтверджує результати симуляції SOLIDWORKS Flow. Комп'ютерна симуляція дозволила виявити окремі ряди відповідних коробів, швидкість робочих газів у яких значно вища, за середні показники. Виявлена значна розбіжність у показниках швидкості робочих газів в межах однієї зони зерносушарки, що є наслідком несиметричного під'єднання повітропроводів. Зменшення перерізу підвідних газорозподільних коробів у зонах з високою швидкістю відпрацьованих робочих газів, дозволить її зменшити та знизити втрати маси продуктів дроблення насіння сої.

**Ключові слова:** соя, олія, сушіння, SOLIDWORKS Flow Simulation, швидкість робочих газів.

**V. A. Piddubny**

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Acting Director,  
Ukrainian Research Institute for Alcohol and Biotechnology Food Products (Kyiv, Ukraine)  
E-mail: profpod@ukr.net

**N. M. Osokina**

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Food Technologies,  
Uman National University of Horticulture (Uman, Ukraine)  
E-mail: ninaosokina1953@gmail.com

**H. V. Tkachenko**

E-mail: tkachenkogenady@ukr.net

**OPTIMIZATION DRYING PROCESS OF CRUSHED SOYBEAN FOR OIL PRODUCTION**

Obtaining oil from soybeans by the extrusion-pressing method involves drying it to a moisture content of 8.0–8.5%. Energy consumption for drying can be 300–400% or more than the estimated energy consumption for moisture evaporation.

Crushing accelerates thermo-moisture exchange processes in a separate product particle, but it causes some negative phenomena: it reduces the volume of hot air and increases aspiration mass loss during drying. The purpose of the research is to determine the speed of hot air movement in the outlet channels of the grain dryer during drying of crushed soybeans. The simulation of the speed of hot air movement carried out in the SOLIDWORKS software environment. Drying of crushed soybeans carried out in batch mode. A whole soybean taken as a control. Weighing soybeans before and after drying carried out on automobile scales. According to the simulation results, a diagram of hot air pressure indicators in the central plane of air ducts and gas distribution chambers was constructed. A significant pressure drop (200 Pa) observed in the middle of the gas distribution chambers: the zone of increased pressure – opposite the entrances of the ducts, the lowest – in the central part. The combination of high speed and hot air pressure in the upper part of the gas distribution chamber caused a sharp increase in speed in the upper row of the outlet channels of the first section. In fact, the average hot air speed determined by the anemometer is 4.2 m/s, which confirms the results of the SOLIDWORKS Flow simulation.

Computer simulation made it possible to identify separate rows of outlet channels, the speed of hot air in which is much higher than the average indicators. A significant difference in hot air speed indicators within one zone of the grain dryer revealed, which is a consequence of the asymmetric connection of air ducts.

Reducing the cross-section of the inlet channels in areas with a high speed of exhaust hot air will allow reduce it and reduce the mass loss of soybean crushing products.

**Key words:** soybean, oil, drying, SOLIDWORKS Flow Simulation, hot air velocity.

**Постановка проблеми.** Отримання олії з насіння сої екструзійно-пресовим способом передбачає його сушіння до вологості 8,0–8,5% [7, 8]. Витрати енергії для сушіння, можуть на 300–400% і більше перевищувати розрахунково необхідні для випаровування вологи. [1, 2].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Соя відноситься до крупнозернистих культур, її насіння має еліпсоподібну форму [4], а тому створює мінімальний гідравлічний опір робочим газам у зерносушарці [5]. Дроблення прискорює термовологообмінні процеси в окремій часточці продукту [3, 9, 10], але є причиною деяких негативних явищ: зменшує об'єм робочих газів та збільшує аспіраційні відноси під час сушіння [1].

**Метою досліджень** є визначення швидкості відпрацьованих робочих газів у відповідних коробах зерносушарки за сушіння продуктів дроблення насіння сої.

**Методика дослідження.** Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання: розробити 3D модель модернізованої зерносушарки ДСП-320Т, провести симуляцію розподілу повітряних потоків у програмному середовищі SOLIDWORKS, порівняти отримані дані з результатами натурного експерименту.

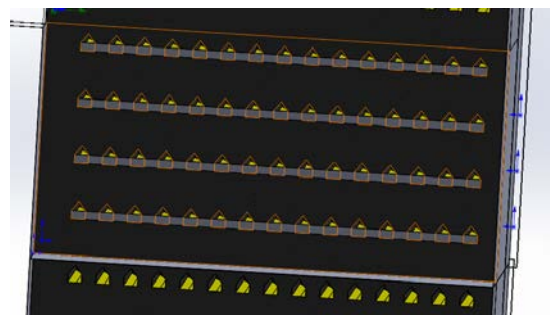
Швидкість робочих газів у відповідних коробах зерносушарки моделювали у програмному середовищі SOLIDWORKS [12]. Створено 3D модель модернізованої шахтної зерносушарки ДСП-320Т, що призначена для сушіння насіння сої.

На основі попередніх досліджень знижено витрати робочих газів шляхом заміни вентилятора першої зони Ц-4-70 № 12 на Ц-4-70 № 10, зниження

обертів робочого колеса до 1050 об/хв та встановленням додаткових дросель-клапанів, перегородок в топковому відділенні та шибєрних засувок.

Зона охолодження зерносушарки ДСП-320Т містить 18 рядів газорозподільних коробів. Необхідна для тривалого зберігання різниця температур у 5 °С насіння сої та повітря, спостерігалася за проходження зерновою масою 6–8 рядів коробів. Рівноважна вологість насіння сої за від'ємних температур значно вища оптимального значення 7–8% для отримання олії методом «сухої екструзії», оскільки відбувається зволоження зернової маси у зоні охолодження. Зону охолодження зменшено до 8 рядів (одна секція).

Між другою зоною сушіння та зоною охолодження створено зону стабільної швидкості вологовіддачі «відлежування» (рис. 1) у якій зменшена площа вікон чотирьох рядів підвідних газорозподільних коробів (одна секція).



**Рис. 1.** Зона стабільної швидкості вологовіддачі «відлежування»

Сушіння дробленої сої проводили в режимі періодичної дії (порційному) зерносушарки ДСП-320Т. За контроль взяли ціле насіння сої. Зважування насіння сої до та після сушіння проводили на автомобільних вагах.

Погодні умови були майже однаковими, сушіння дробленої сої відбувалося вранці, а цілої – ввечері того ж дня. Температуру робочих газів встановлювали однаково, період часу між відкриттями розвантажувальних пристроїв шахт був також однаковим (2 хв. 30 с) для висушування насіння за один пропуск.

Рециркуляцію зерна в сушарці розпочинали одночасно з подачею робочих газів у першу та другу зони сушіння. Очікували одну годину, для нагріву топкового відділення, вмикали вентилятор зони охолодження та починали визначення показників роботи зерносушарки починаючи з першої зони сушіння. Період часу для визначення показників у другій зоні сушіння та зоні охолодження встановлювали розрахунковим методом відповідно до швидкості переміщення зернової маси в зерносушарці.

Температуру зерна визначали ртутним термометром методом відбору проб, відносну вологість та температуру відпрацьованих робочих газів у відповідних коробах – аспіраційним психрометром Ассмана МВ-4М (рис. 2).



Рис. 2. Аспіраційний психрометр Ассмана МВ-4М



Рис. 3. Чашковий анемометр МС-13

Швидкість робочих газів у відповідних коробах визначали чашковим анемометром МС-13 (рис. 3).

Визначення швидкості температури та відносної вологості відпрацьованих робочих газів проводили у другому ряду кожної секції, в центральному та передостанніх з обох боків газовідвідних коробах. Прохідні галереї суттєво спростили проведення таких досліджень (рис. 4).



Рис. 4. Вимірювання швидкості відпрацьованих робочих газів

**Основні результати дослідження.** Швидкість відпрацьованих робочих газів залежить від втрат тиску в насінневі масі. На основі проведених досліджень [4, 5] у прикладній програмі SOLIDWORKS Flow Simulation задано властивості пористого середовища, що імітує шар продукту сушіння (рис. 5).

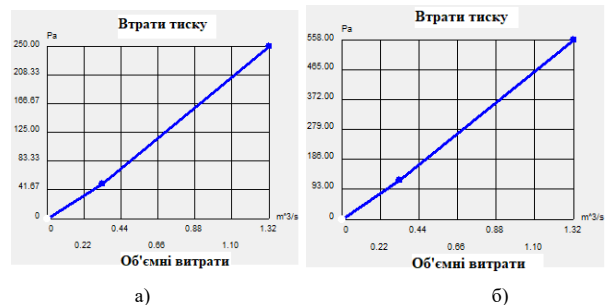
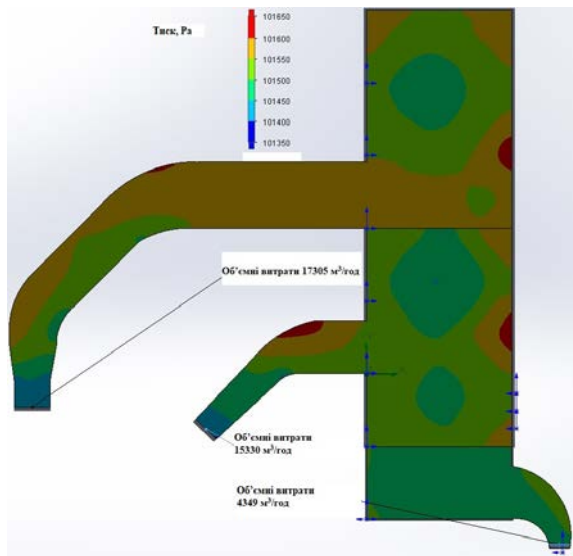


Рис. 5. Втрати тиску в продукті сушіння: а) ціле насіння сої; б) дроблене насіння сої

З метою скорочення процесорного часу розрахунку, 3D модель містить лише одну шахту, а ширина газорозподільчих камер та повітропроводів зменшена у двічі. Продуктивність вентиляторів задана кривою залежності від втрат тиску і також зменшена вдвічі, враховані значні втрати тиску, що створюють додаткові дросельні клапани, перегородки в топковому відділенні та шибєрні засувки. Густину робочих газів першої та другої зони встановлено 1 кг/м³, зони охолодження – 1,2 кг/м³. Модель не враховує змін об'ємів робочих газів від падіння температури в пористому середовищі (продукті сушіння).

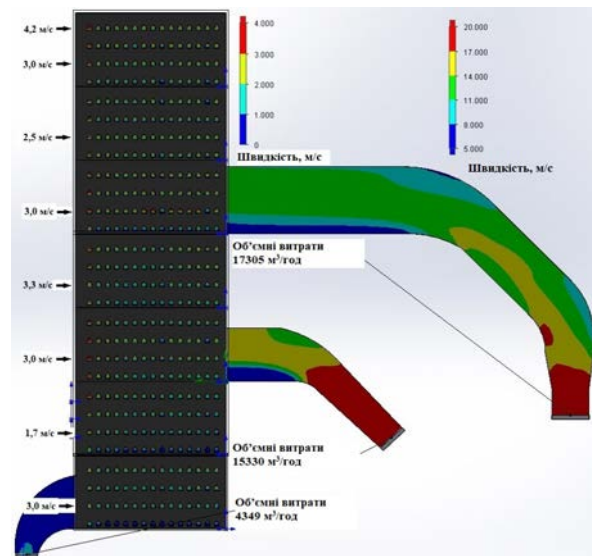




**Рис. 6. Розподіл тиску робочих газів в повітропроводах та газорозподільних камерах за сушіння цілого насіння сої**

В умовах розрахунку було задано атмосферний тиск на виході – 10325 Па. Кінцевою метою розрахунків було встановлення середньої швидкості робочих газів. Глобальна сітка розподілу проточного об'єму встановлена на четвертому рівні. За результатами моделювання побудовано рисунок показників тиску робочих газів в перерізі, що розташований у центральній площині повітропроводів та газорозподільних камер (рис. 6). Спостерігався значний перепад тиску (200 Па) в середині газорозподільних камер: зони підвищеного тиску – навпроти входів повітропроводів, найнижчого – у центральній частині.

Це стало причиною значної різниці у швидкості відпрацьованих робочих газів у відповідних коробах (рис. 7). Фактичні показники середньої швидкості відпрацьованих робочих газів зображені навпроти відповідного ряду. Найвищий тиск робочих газів був у газорозподільній камері третьої секції, у поєднанні з їхньою низькою швидкістю, у нижній частині виникали зони зворотних потоків, що є причиною низької швидкості у відповідних коробах нижнього ряду цієї секції. Поєднання високої швидкості та тиску робочих газів у верхній частині газорозподільної камери стало причиною різкого збільшення швидкості у верхньому ряду відповідних коробів першої секції. На рисунку 7 спостерігається зона червоного кольору у кожному коробі цього ряду, фактично середня, визначена анемометром, швидкість робочих газів становить 4,2 м/с, що підтверджує результати симуляції SOLIDWORKS Flow. Зниження середньої, що виміряна, до 2,5 м/с у другій секції є наслідком утворення зони низького тиску в газорозподільній камері (рис. 6). Найнижча виміряна швидкість (1,7 м/с) була в шостій секції зони постійної швидкості вологовіддачі «відлежування», що є додатковим підтвердженням результатів симуляції. На рисунку 7 видно,



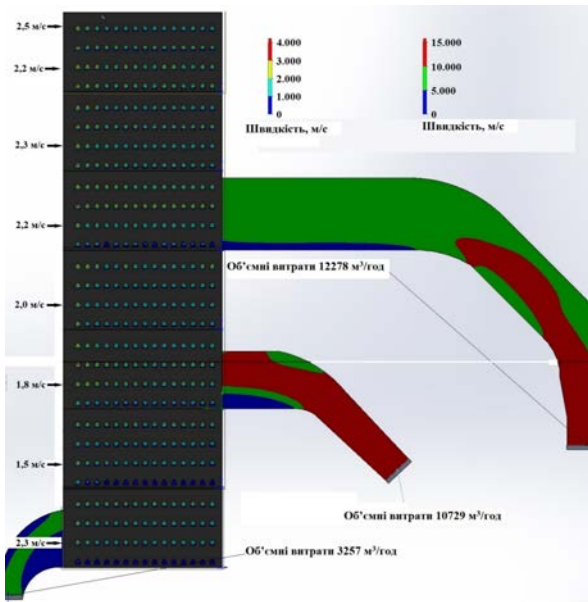
**Рис. 7. Розподіл швидкості робочих газів в повітропроводах та газорозподільних камерах за сушіння цілого насіння сої**

що переважна більшість коробів у шостій секції забарвлені у синій та блакитний колір, що відповідає швидкості робочих газів від 0 до 2 м/с.

За сушіння дробленого насіння сої у всій зерносушарці відбулося падіння фактичної швидкості відпрацьованих робочих газів найбільше (40%) у п'ятій секції з 3 до 1,8 м/с. Зменшення загальних витрат робочих газів призвело до більш рівномірного їхнього розподілу в першій зоні: 2,2–2,3 м/с. Як і за сушіння цілого насіння сої, спостерігалось збільшення швидкості у верхньому ряду першої секції. Одним з негативних явищ сушіння дробленого насіння, є видалення легкої фракції з відпрацьованими робочими газами. Нижча їхня швидкість за сушіння дробленого насіння частково компенсує цей недолік. Внаслідок пересушування оболонок відбувається їх відокремлення від насіння сої, тому найбільші аспіраційні виноси відбуваються у нижніх секціях зерносушарки, що мають низьку швидкість робочих газів 1,5–1,8 м/с.

Зона охолодження знаходиться найнижче, тому площа розлітання оболонок незначна, і більша частина їх легко збирається. В момент відкриття розвантажувального механізму відбувається розрідження зернового шару та підвищення швидкості робочих газів, що є причиною збільшення викидів.

Можливість їх збирання передбачена в проекті модернізованої зерносушарки ДСП-32\*2М [6], що містить осаджувальні камери та жалюзійні фільтри та модернізованій зерносушарці BRICE-BAKER SCN-18/48 [11], що має систему пневматичного закриття вентилятора рекуперації в момент відкриття розвантажувального механізму та систему очищення відпрацьованих робочих газів у циклофенах.



**Рис. 8. Розподіл швидкості робочих газів в повітропроводах та газорозподільних камерах за сушіння дробленого насіння сої**

Особливістю сушіння насіння сої до вологості (7–8%) нижче критичної є висока температура ( $t$ ) відпрацьованих робочих газів 30–54 °С (табл. 1) та їх низька відносна вологість ( $\phi$ ) 50–12%, що відповідає досить низькому вологовмісту: 10–28 г/кг, та передбачає доцільність повторного використання робочих газів (рекуперацію). Застосування рекуперації в зерносушарках ДСП-32\*2М [6] та BRICE-BAKER SCN-18/48 [11] дозволило скоротити витрати енергоресурсів.

Відносна вологість відпрацьованих робочих газів зони «відлежування» в обох дослідях була досить низькою 17 та 22%, тому необхідно зменшити об'єм робочих газів додатковим ущільненням підвідних коробів. Витрати робочих газів повинні забезпечувати їхню відносну вологість на рівні 80–90%, що запобігає утворенню конденсату.

Об'єм ( $V$ ) відпрацьованих робочих газів першої зони становить:  $11189+932+11189=31702 \text{ м}^3/\text{год}$ , що не значно відрізняється (+1%) від об'єму робочих газів, які нагнітаються – 31385. Попередні дослідження довели скорочення витрат палива на 1 кг. випареної вологи у випадку зменшення об'єму робочих газів з номінальних 80000 м<sup>3</sup>/год для першої зони ДСП-320Т [1]. У другій зоні зміна об'єму робочих газів становить +2,2%, в зоні охолодження: -34%. Оскільки дана модель SOLIDWORKS Flow Simulation не враховує ізобарних змін об'єму робочих газів, тому отриману швидкість у відвідних коробах зони охолодження необхідно на третину знизити.

Різниця фактичних та змодельованих показників об'єму робочих газів заходила в межах від 4,2 до 9,8% (друга зона за сушіння дробленого насіння). З врахуванням вказаних поправок розроблену модель SOLIDWORKS можна використовувати з метою симуляції майбутніх реконструкцій зерносушарок типу ДСП.

**Висновки.** Комп'ютерна симуляція дозволила виявити окремі ряди відвідних коробів швидкості робочих газів у яких значно вища за середні показники.

Виявлена значна розбіжність у показниках швидкості робочих газів в межах однієї зони зерносушарки, що є наслідком несиметричного під'єднання повітропроводів.

Таблиця 1

**Зведена таблиця розрахунку витрат робочих газів модернізованої зерносушарки ДСП-320Т**

Зона	№ секції	Відпрацьовані робочі гази					$L, \text{ кг/год}$	Робочі гази					
		$t, ^\circ\text{C}$	$\phi, \%$	$v, \text{ м/с}$	$V, \text{ м}^3/\text{год}$	$v, \text{ м}^3/\text{кг}$		$t, ^\circ\text{C}$	$\phi, \%$	$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	$V, \text{ м}^3/\text{год}$	Фактичний $V, \text{ м}^3/\text{год}$	Змодельований $V, \text{ м}^3/\text{год}$
Ціле насіння сої													
Нагріву	1	43	23	3	11189	0,9326	10435	86	2	1,0509	10966	31385	34610
	2	44	24	2,5	9324	0,9374	8740				9185		
	3	52	12	3	11189	0,9554	10690				11234		
Сушіння	4	51	15	3,3	12308	0,9555	11760	77	3	1,0251	12055	29190	30660
	5	51	15	3	11189	0,9555	10691				10959		
Відлеж.	6	49	17	1,7	6340	0,9501	6024	3	80	0,8029	6175	8337	8698
Охолод.	7	34	81	3	11189	0,9281	10384				8337		
Дроблене насіння сої													
Нагріву	1	30	50	2,2	8205	0,8951	7344	67	5,1	0,9970	7322	23093	24556
	2	43	23	2,3	8578	0,9327	8000				7976		
	3	50	16	2,2	8205	0,9528	7818				7795		
Сушіння	4	52	14	2	7459	0,9582	7147	72	4,9	1,0146	7251	19357	21458
	5	53	14	1,8	6713	0,9620	6459				6553		
Відлеж.	6	54	22	1,5	5594	0,9781	5472	4	80	0,8062	5552	5984	6514
Охолод.	7	25	14	2,3	8578	0,8654	7423				5984		

Зменшення перерізу підвідних газорозподільчих коробів у зонах з високою швидкістю відпрацьованих робочих газів, дозволить її зменшити та знизити втрати маси продуктів дроблення насіння сої.

### Література

- Гапонюк І.І. Удосконалення технології сушіння зерна. Одеса: Поліграф, 2009. 182 с.
- Гапонюк І.І. Удосконалення технології сушіння зерна вітчизняних зерносушарок зменшенням опору внутрішньокапілярної дифузії вологи. *Наукові праці ОНАХТ*, 2010. № 38, т. 1. С. 122–130.
- 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., 2016. 20 с.
- Піддубний В. А., Осокіна Н. М., Ткаченко Г. В. Визначення фізико-механічних властивостей насіння сої як сировини олійного виробництва. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів*. 2024. №2(56). С. 60–66. <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.2.8>
- Піддубний В. А., Осокіна Н. М., Ткаченко Г. В. Оцінка фізико-механічних властивостей продуктів дроблення насіння сої олійного виробництва. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2024. № 2(113). С. 110–118. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2024-2-12>
- 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. – № у 201905458; заявл. 21.05.2019; чинний з 27.01.2020, Бюл. № 2/2020
- Спосіб підготовки насіння сої дробленням для вилучення олії екструзією з наступним пресуванням: пат. 110506 Україна, МПК C11B 1/04 A23P 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
- Спосіб підготовки насіння сої плющенням для вилучення олії екструзією з наступним пресуванням: пат. 110507 Україна, МПК C11B 1/04 A23P 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
- Цизь К.Є., Кірчук Р. В., Забродоцька Л.Ю. Визначення впливу деформації оболонки насіння сої на інтенсивність сушіння. *Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст.* – №25. Луцьк: Ред.- вид. відділ Луцького НТУ. 2013. С. 160–165.
- 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*. № 42 (2). Кировоград: КНТУ. 2012. С. 75–78.
- 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. – № у 201905463; заявл. 21.05.2019; чинний з 27.01.2020, Бюл. № 2/2020
- Matsson, J. (2023). An Introduction to SOLIDWORKS Flow Simulation 2023. SDC publications. 381 p.

### References

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

2. Haponiuk I.I. (2010) *Udoskonalennia tekhnolohii sushinnia zerna vitchyzniannykh zernosusharok zmeshenniam oporu vnutrishnokapiliarnoi 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. [in Ukrainian].

3. 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].

4. Pidubny, V. A., Osokina, N. M., & Tkachenko, H. V. (2024). *Vyznachennia fizyko-mekhanichnykh vlastyvostei nasinnia soi yak syrovyny oliinoho vyrobnytstva*. [Determination of physical and mechanical properties of soybean seeds as a raw material for oil production] Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Mechanization and Automation of Production Processes, (2 (56)), P. 60–66. <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.2.8> [in Ukrainian].

5. Pidubny V., Osokina N., & Tkachenko H. (2024). *Otsinka fizyko-mekhanichnykh vlastyvostei produktiv droblennia nasinnia soi oliinoho vyrobnytstva*. [Assessment of the physical and mechanical properties of the products of crushing soybean for oil production.] Vibrations in engineering and technology. Issue 2(113), P. 110–118. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2024-2-12> [in Ukrainian].

6. 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.

7. Martsun O.M., Osokina N.M., Yaniu 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.

8. Martsun O.M., Osokina N.M., Yaniu T.V., Yaroshenko V.V., & Tkachenko H.V. inventors. *Sposib pidhotovky nasinnia soi pliushchenniam 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.

9. Tsyz K.Ie., Kirchuk R.V., & Zabrodotska L.Iu. (2013) *Vyznachennia vplyvu deformatsii obolonky nasynny soi na intensyvniat sushinnia* [Determining the effect of soybean seed coat deformation on drying intensity]: Agricultural machinery (Vol. 25) – Lutsk NTU. 160–165. [in Ukrainian].

10. 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].

11. 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.

12. Matsson J. (2023). An Introduction to SOLIDWORKS Flow Simulation 2023. SDC publications. 381 p.