

В.І.; заявник та патентовласник Сумський НАУ. – заявл. 07.12.15; опубл. 11.07.16, Бюл. №13, 2016.

13. Пат. UA 90332, МПК А23 В 9/00, Пристрій для мікронізації бобів сої / Плавинський В.І.; заявник та патентовласник Сумський НАУ. – заявл. 25.11.13; опубл. 26.05.14, Бюл.№10, 2014.

14. Пат. UA 78817, МПК А21 В 2/00, Мікронізатор насіння зернобобових культур / Плавинський В.І.; заявник та патентовласник Сумський НАУ. – заявл. 07.09.11; опубл. 10.04.13, Бюл. №7, 2013.

#### **Plavynskyy V.I., Plavynska S.V., Plavynska O.V. Problems of micronization soybeans**

*Soy protein is a valuable component of the diet of forage production. Inactivation of anti-nutrients in soy beans is the biggest challenge of obtaining high quality protein. The most effective modern inactivation methods include micronization - heat treatment of soybeans under the influence of infrared rays with a wavelength of 1500 ... 3500 nm. Proposed micronizator design different from other high uniformity micronization, high performance and the ability to fully automate the process. The main problem of the heat treatment of soybeans. It proposed several energy-efficient technologies and devices for inactivating anti-nutrients in soybeans.*

**Ключевые слова:** бобы сои, микронизация, термическая обработка, анти питательные вещества, трипсин, уре-аза, высокотемпературная микронизация.

#### **Плавинский В.И., Плавинская С.В., Плавинская А.В. Проблемы микронизации бобов сои**

*Соевый белок является ценным компонентом рациона кормопроизводства. Инактивация антипитательных веществ в бобах сои является самой большой проблемой получения белка высокого качества. К наиболее эффективным современным методам инактивации относится микронизация - термическая обработка бобов сои под влиянием инфракрасных лучей с длиной волны 1500 ... 3500 нм. Предложенные конструкции микронизатора отличаются от других высокой равномерностью микронизации, высокой производительностью и возможностью полной автоматизации технологического процесса. Приведены основные проблемы термической обработки соевых бобов. Предложено несколько эффективных энергосберегающих технологий и устройств для инактивации антипитательных веществ в бобах сои.*

**Keywords:** soy beans, micronization, heat treatment, anti-nutrients, trypsin, ur-ase, high micronization.

Стаття надійшла в редакцію: 27.08.2016

Рецензент: д.т.н., проф. Саарела Йоко

УДК 631.362.7:633.2/3:63

### **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВТРАТ ТИСКУ ПОВІТРЯ**

**А. В. Спірін**, кандидат технічних наук, доцент

**О. В. Солона**, кандидат технічних наук, доцент

**О. О. Труханська**, кандидат технічних наук, ст. викладач

Вінницький національний аграрний університет

**В. В. Деркач**, викладач

Уманський національний університет садівництва

*Отримана універсальна математична модель, що дозволяє визначити втрати тиску повітря в шарі зернистих, волокнистих і стеблових матеріалів. Важливою особливістю даної моделі є те, що вона включає відносний коефіцієнт газопроникності, застосування якого виключає визначення всього комплексу фізико-механічних і аеродинамічних характеристик матеріалу.*

**Ключові слова:** математична модель, втрати тиску, післязбиральна обробка, сушильне обладнання, внутрішня задача гідродинаміки, питома поверхня, ворох насіння.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Основною технологічною операцією післязбиральної обробки вороху насіння багаторічних трав є його сушка, оскільки в період збирання врожаю обмолочувальна маса має зазвичай підвищену вологість, а ворох, навіть при невеликій вологості 20-27%, швидко самозігрівається, що призводить до зниження посівних якостей насіння [1].

Однак, режими сушіння вороху насіння багаторічних трав вивчені недостатньо. Відсутні

науково-обґрунтовані дані для розрахунку технологічних параметрів сушильного обладнання.

Одним із важливих технологічних параметрів сушильного устаткування є опір шару руху повітря, що нагнітається вентилятором крізь цей шар. Вивчення процесу руху повітря крізь шар зернистих і стеблових матеріалів, до яких відносяться ворох насіння багаторічних трав - одне з найбільш складних завдань гідродинаміки. Його складність обумовлюється різноманітністю форми частинок, надто складною структурою їх взає-

много розташування [2, 3].

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Потік повітря, що потрапляє в шар, рухається за складними траєкторіями, обтікаючи поверхні окремих частинок. У такому шарі не можна намітити головний напрям руху по відношенню до якого, обтікання повітрям поверхонь частинок можна вважати явищем другорядним. Передбачається змішане завдання гідродинаміки звести до вирішення внутрішньої задачі, аналогічної випадку руху по прямим шорстким трубам [4].

**Мета дослідження.** Пошук науково-обґрунтованих даних для розрахунку технологічних параметрів сушильного обладнання.

#### Результати досліджень.

Із врахуванням вибраної моделі руху повітря, для розрахунку опору шару досліджуваних матеріалів використовують залежність [5]:

$$\Delta P = \lambda_T \frac{L}{d_e} \cdot \frac{\rho_{\text{п}} V_T^2}{2}, \quad (1)$$

де  $\lambda_T$  – коефіцієнт тертя повітря об шорсткі стінки еквівалентної труби;

$d_e$  – діаметр еквівалентної труби, опір повітря в якій дорівнює опору в шарі матеріалу, м;

$L$  – довжина еквівалентної труби, м;

$V_T$  – середня швидкість повітря в трубі, м/с;

$\rho_{\text{п}}$  – щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>.

Для переходу до моделі процесу введемо наступні співвідношення:

$$V_T = V_{\text{ш}} = \frac{V_{\text{сп}}}{m}, \quad (2)$$

$$L = H; \quad (3)$$

$$d_e = \frac{4m}{F_e}, \quad (4)$$

$$\lambda_T = \lambda_{\text{ш}}, \quad (5)$$

де  $V_{\text{ш}}$  – швидкість повітря в каналах шару, м/с;

$V_{\text{сп}}$  – середня швидкість повітря в шарі, м/с;

$m$  – коефіцієнт пористості шару;

$H$  – висота шару, м;

$F_e$  – питома ефективна поверхня шару, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;

$\lambda_{\text{ш}}$  – загальний коефіцієнт опору шару.

Підставивши в рівняння (1) значення  $V_T$ ,  $L$ ,  $d_e$ ,  $\lambda_T$  і, врахувавши (2-5), отримаємо:

$$\frac{\Delta P}{H} = \frac{\lambda_{\text{ш}}}{8} \cdot \frac{F_e}{m^3} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot V_{\text{сп}}^2. \quad (6)$$

Для зернистих матеріалів, у тому числі для очищеного насіння багаторічних трав, питома ефективна поверхня шару може бути виражена через середній розмір часток за формулою [1]:

$$F_e = \frac{6(1-m)}{\Phi d_1}, \quad (7)$$

де  $\Phi$  – коефіцієнт несферичності частинок.

$d_1$  – середній розмір частинок, м

$$\Phi = \frac{F_k}{F_2}, \quad (8)$$

де  $F_k$  – поверхня кулі, що має той же об'єм, що і дане тіло з поверхнею  $F_2$ , м<sup>2</sup>;

$F_2$  – площа геометричної поверхні тіла, м<sup>2</sup>.

Для матеріалів, що ущільнюються (конюшинова пижина, ворох насіння конюшини із значним вмістом домішок) питома ефективна поверх-

ня шару відрізняється від сумарної геометричної поверхні окремих частинок через значну поверхню контакту між ними. Для таких матеріалів питома ефективна поверхня шару визначалася за допомогою емпіричних виразів [6]:

- для вороху насіння конюшини з вмістом домішок 45...48 %:  $F_e = 1408m^{-0.36}$ ,

- для конюшинової пижини:  $F_e = 475m^{-0.23}$ .

Середній діаметр зерен можна визначити виходячи з їх об'єму і щільності, враховуючи формулу (3):

$$d_e = \sqrt{\frac{6M}{\pi n' \rho_M}}, \quad (9)$$

де  $M$  – маса одиниці об'єму шару, кг/м<sup>3</sup>;

$n'$  – кількість частинок в одиниці об'єму, 1/м<sup>3</sup>;

$\rho_M$  – щільність часток шару, кг/м<sup>3</sup>.

З метою узагальнення результатів досліджень по визначенню втрат тиску повітря в шарі зернистих, стеблових і волокнистих матеріалів, для спрощення розрахункових залежностей, помножимо праву частину рівняння (6) на добуток  $\lambda_0$ ,  $F_e''$ ,  $m_0^3$ , де  $\lambda_0$ ,  $F_e''$ ,  $m_0$  – відповідно, загальний коефіцієнт опору, питома ефективна поверхня та коефіцієнт пористості шару матеріалу, прийнято за базу. В результаті отримаємо:

$$\frac{\Delta P}{H} = A \varepsilon \lambda_0 \rho_{\text{п}} V_{\text{сп}}, \quad (10)$$

де  $\varepsilon$  – відносний коефіцієнт газопроникності шару;

$A$  – постійна базового шару.

Як базовий шар, доцільно вибирати матеріал, коефіцієнт несферичності зерен якого дорівнює одиниці, а коефіцієнт пористості шару для найбільш вірогідного (ромбовидного) укладання зерен  $m = const$  [5]. До цих матеріалів можна віднести шар насіння гороху, або скляних чи металевих кульок. Із рівняння (10):

$$A = \frac{F_e''}{8m_0^3}, \quad (11)$$

$$\varepsilon = \frac{\lambda_{\text{ш}} \cdot F_e}{\lambda_0 \cdot F_e'' \cdot m_0^3}, \quad (12)$$

Відносний коефіцієнт газопроникності шару – фізична величина, яка показує у скільки раз опір шару досліджуваного матеріалу більше або менше опору шару базового матеріалу, для якого цей коефіцієнт дорівнює одиниці.

Величину  $\lambda_{\text{ш}}$  у рівнянні (12) можна виразити через критерій Рейнольдса [7]:

$$\lambda_{\text{ш}} = K Re^{\alpha}, \quad (13)$$

де  $K$  і  $\alpha$  – постійні які визначені експериментально.

Критерій Рейнольдса  $Re = \frac{v_{\text{ш}} d_e}{\nu}$ , де  $\nu$  – кінематична густина повітря, м<sup>2</sup>/с.

Експериментальні дослідження по визначенню втрат тиску повітря в шарі досліджуваних матеріалів проведені на спеціальній установці, що включає вентилятор ВВД № 8, нагнітальний повітропровід, аеродинамічну трубу. Верхня частина труби роз'ємна і є кожухом сітчастого контейнера, заповненого досліджуваним матеріалом.

**Вісник Сумського національного аграрного університету**

лом.

Швидкість повітря, що продувається через шар в прямолинійній ділянці регулювали шибровою заслінкою. Контроль витрати повітря здійснювали камерною діафрагмою з відліком показів мікроманометра.

Об'єктом дослідження були: насіння гороху і конюшини червоної; ворох із співвідношенням насіння конюшини до домішок 1:1; ворох конюшини червоної при збиранні всього біологічного урожаю та конюшинова пижина. За базовий був прийнятий шар скляних кульок. Досліджувані матеріали завантажували в сітчастий контейнер і встановлювали в аеродинамічну трубу.

Щільність вороху конюшини із співвідношенням насіння до домішок 1:1 в дослідах складала 140-150, 155-160, 165-170, 175-180, 195-200 кг/м<sup>3</sup> в перерахунку на відносну вологість 14-17 %, а для вороху при збиранні насінників зі збором всього біологічного урожаю, щільність зразків в дослідах була 85-90, 110-115, 170-175 кг/м<sup>3</sup> в перерахунку на відносну вологість 14-17%. Швидкість повітряного потоку в шарі змінювали в межах 0,05-1,5 м/с з інтервалами 0,02 м/с. Для кожного дослідження заміряли температуру, витрату повітря, що продувається через шар і статичний тиск в шарі.

Дослідженнями встановлено, що вирішальний вплив на величину втрат тиску чинить пористість шару і швидкість повітря, що проходить по звивистих каналах (рис. 1). Так, наприклад, для насіння конюшини при швидкості потоку, що змінюється в межах 0,25-0,5 м/с, втрати тиску збільшуються з 1650 до 4500 Па, тобто в 2,7 рази. Для вороху із співвідношенням насіння конюшини до домішок 1:1, що укладається на сушку без підпресовування (об'ємна маса шару 150-160 кг/м<sup>3</sup>) при тих самих межах швидкостей повітряного потоку, втрати тиску збільшуються з 620 до 1450 Па, тобто в 2,3 рази.

Істотний вплив на величину втрат тиску повітря має пористість шару. Так, для вороху із співвідношенням насіння конюшини до домішок 1:1 при швидкості руху повітря 0,2 м/с із зменшенням коефіцієнта пористості від 0,65-0,67 до 0,57-0,58 втрати тиску збільшуються від 480 Па до 1760 Па, тобто в 3,6 разів. Для вороху конюшини червоної при збиранні всього біологічного урожаю для тієї ж швидкості, із зменшенням коефіцієнта пористості з 0,692 до 0,410, втрати тиску

збільшуються з 80 до 400 Па (у 5 разів).

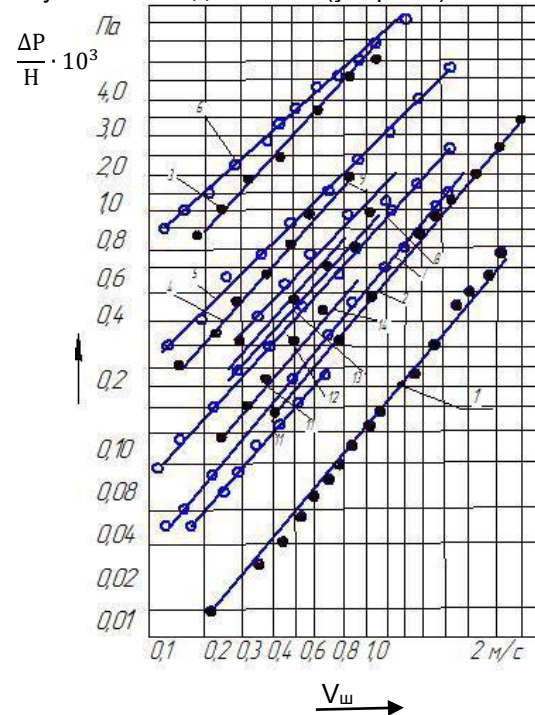


Рис. 1. Втрати тиску повітря в шарі матеріалу, прийнятого за базу (1); насіння гороху (2); насіння конюшини (3); ворох насіння конюшини з вмістом домішок 45-48 % при  $m = 0,65-0,67$  (4);  $m = 0,61-0,63$  (5);  $m = 0,58-0,57$  (6); ворох конюшини червоної при збиранні всього біологічного урожаю при  $m = 0,692$  (7);  $m = 0,608$  (8);  $m = 0,410$  (9); конюшиною пижиною при  $m = 0,696$  (10);  $m = 0,646$  (11);  $m = 0,595$  (12);  $m = 0,545$  (13);  $m = 0,494$  (14).

Отже, при обґрунтуванні технології сушки і виборі конструкції сушильних установок необхідно прагнути до того, щоб процес сушки проходив без істотного підпресовування вороху [8]. Якщо для відповідних значень швидкостей повітряного потоку і коефіцієнтів пористості шару з експериментальних даних взяти значення втрат тиску, згідно рівняння (6), визначити загальний коефіцієнт опору і отримані результати нанести на графік в логарифмічних координатах  $\lambda_{ш} - Re$  (рис. 2), тоді для кожного виду матеріалу отримаємо пряму, тангенс кута нахилу якої до осі  $Re$  чисельно дорівнює показнику ступеня  $\alpha$  в рівнянні (13). Після обробки експериментальних даних методом найменших квадратів за (13) отримаємо числові значення постійних  $\alpha$  і  $K$  (табл. 1).

Таблиця 1. Експериментальні значення постійних  $\alpha$  і  $K$  для різних матеріалів

Вид матеріалу	$K$	$\alpha$	Примітка
Кульки скляні	50,12	0,48	$100 \leq Re \leq 600$
Горох Уладівський Ювілейний	20,40	0,44	$20 \leq Re \leq 350$
Насіння конюшини червоної	49,20	0,70	$4 \leq Re \leq 15$
Ворох насіння конюшини червоної із вмістом механічних домішок 45-48% такоєфіцієнтом пористості 0,65-0,56	364,40	0,78	$10 \leq Re \leq 100$
Пижина конюшини з коефіцієнтом пористості 0,7-0,49	364,40	0,78	$10 \leq Re \leq 150$
Ворох конюшини червоної із збором всього біологічного урожаю	7,61	0,34	$5 \leq Re \leq 60$

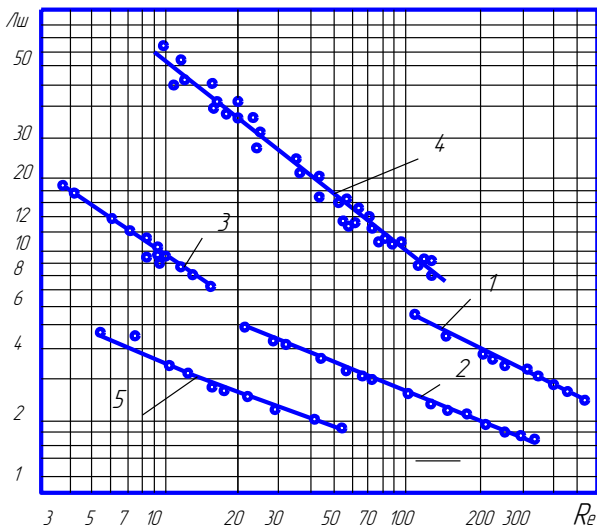


Рис. 2. Залежність загального коефіцієнта опору  $\lambda_{ш}$  від числа Рейнольдса  $Re$ : 1 – скляні кульки:  $d_{ч} = 21,28 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ,  $m = 0,3793$ ; 2 – горох;  $d_{ч} = 6,65 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ,  $m = 0,334$ ; 3 – насіння конюшини:  $d_{ч} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ,  $m = 0,288$ ; 4 – ворох насіння конюшини з вмістом домішок 45-48 % конюшинової пижини; 5 – ворох конюшини червоної при збиранні всього біологічного урожаю.

Підставивши у (12) вираз  $\lambda_0$  і  $\lambda_{ш}$  з (13), та значення з (табл. 2), отримаємо рівняння для розрахунку відносного коефіцієнта газопроникності досліджуваних матеріалів:

$$\text{- насіння гороху: } \varepsilon_1 = 3,30 \left(\frac{v_{шп}}{v}\right)^{0,04} \quad (14)$$

- насіння конюшини:  $\varepsilon_2 = 912,0 \left(\frac{v_{шп}}{v}\right)^{-0,22}$  (15)  
 - ворох конюшини червоної з вмістом домішок 45-48 % :

$$\varepsilon_3 = 50,34 m_{ш}^{-3,64} \left(\frac{v_{шп}}{v}\right)^{-0,30} \quad (16)$$

- ворох конюшини червоної зі збором всього біологічного урожаю:

$$\varepsilon_4 = 0,84 m_{ш}^{-3} (1 - m_{ш})^{1,34} \left(\frac{v_{шп}}{v}\right)^{0,14} \quad (17)$$

- пижина конюшини:  $\varepsilon_5 =$

$$7,28 m_{ш}^{-3,41} \left(\frac{v_{шп}}{v}\right)^{-0,3} \quad (18)$$

З рівнянь (14–18) видно, що для зернистих матеріалів коефіцієнт газопроникності залежить лише від швидкості повітряного потоку, а для матеріалів, що ущільнюються, величина цього коефіцієнта залежить від щільності шару і швидкості повітряного потоку.

З (табл. 2) видно, що значний вплив на величину коефіцієнта газопроникності має лише щільність шару матеріалу. Швидкість повітряного потоку не робить істотного впливу. Так, наприклад, для вороху насіння конюшини з вмістом домішок 45-48 % при швидкості повітряного потоку в шарі 0,2 - 0,3 м/с, які зазвичай застосовуються на практиці при сушці вороху, із збільшенням щільності від 139 до 231 кг/м<sup>3</sup>, відносний коефіцієнт газопроникності шару збільшується від 9,50 - 10,73 до 31,99 - 36,53, тобто в 3,0 - 3,5 рази. У стільки ж раз збільшуються втрати тиску повітря в шарі.

Таблиця 2. Основні фізико-механічні і гідродинамічні характеристики щільного шару різних сільськогосподарських матеріалів

Матеріал	Середній діаметр зерен, $d_{ч}$	Щільність частинок, $\rho_{ч}$ , кг/м <sup>3</sup>	Об'ємна маса шару, кг/м <sup>3</sup>	Коефіцієнт пористості, (м)	Ефективна поверхня частинок шару, $F_s$ , м <sup>2</sup>	Форм-фактор, $\phi$	Еквівалентний діаметр каналів шару, $d_{к}$	Відносний коефіцієнт газопроникності при $v_{св}$ , м/с					
								0,10	0,15	0,20	0,30	0,50	
Скляні кульки	21,28	2450	1631,3	0,3793	175,08	1	8,67	1	1	1	1	1	1
Горох Уладівський Ювілейний	6,65	1259	838,3	0,334	601,8	1,0	2,22	4,41	4,49	4,54	4,61	4,71	
Насіння конюшини червоної	1,40	1220	894,2	0,268	3248,5	0,92	0,33	131,23	120,00	11,74	103,06	92,12	
Ворох насіння конюшини з вмістом механічних домішок 45-48%	1,58	463	231,5	0,500	1805,13	0,2807	1,11	44,99	39,85	36,53	31,99	27,76	
	1,58	463	208,35	0,55	1738,27	0,2807	1,26	31,94	28,27	25,93	22,96	19,70	
	1,58	463	185,2	0,600	1696,38	0,2807	1,42	23,13	21,10	18,78	16,63	14,27	
	1,58	463	138,9	0,700	1600,00	0,2807	1,75	13,22	12,06	10,73	4,50	8,16	
Ворох конюшини червоної при збиранні всього біологічного урожаю	2,82	289	170,6	0,410	4823	0,2612	0,34	16,85	17,84	18,58	19,67	21,12	
	2,82	289	113,6	0,608	3379	0,2612	0,76	3,62	3,85	4,01	4,24	4,55	
	2,82	289	89,10	0,692	2516	0,2612	1,10	1,82	1,94	2,02	2,14	2,29	
Пижина конюшини	1,16	255	129,03	0,494	558,65	0,2118	3,54	5,82	5,16	4,73	4,19	3,59	
	1,16	255	116,13	0,545	546,16	0,2118	3,99	4,17	3,67	3,39	2,99	2,57	
	1,16	255	103,22	0,595	535,24	0,2118	4,45	3,09	2,73	2,50	2,22	1,90	
	1,16	255	90,32	0,646	525,00	0,2118	4,92	2,32	2,05	1,89	1,67	1,43	
	1,16	255	77,42	0,696	516,30	0,2118	5,39	1,8	1,59	1,46	1,29	1,11	

Підставивши в (10) значення  $\lambda_0$  та  $A$  для базового матеріалу, отримаємо:

$$\frac{\Delta P}{H} = 1,23 \cdot 10^5 \varepsilon \rho_v v_{шп}^{1,52} v^{0,48} \quad (19)$$

Таким чином, в результаті теоретичних і

експериментальних досліджень отримане рівняння (19) для визначення опору шару зернистих, стеблових і волокнистих матеріалів, при використанні якого немає необхідності визначати весь

комплекс фізико-механічних, гідродинамічних та інших характеристик матеріалів. Достатньо за співвідношеннями (14 – 18) визначити відносний коефіцієнт газопроникності шару.

За результатами досліджень процесу сушки конюшини із вмістом домішок 45-50 % побудована номограма (рис. 3) для визначення необхідної питомої продуктивності вентилятора, залежно від вихідної вологовмісту матеріалу, питомого навантаження, сушильного потенціалу повітря, що подається, і часу сушки.

Виходячи з необхідної продуктивності вентилятора, визначеної за номограмою і розрахованому за рівнянням (19) опору шару матеріалу і з врахуванням втрат тиску в повітродозподільних

каналів сушильного устаткування, що становлять 5-8 % опору в шарі, вибирають необхідний вентилятор. Приклад вибору вентиляторів наведений в (табл. 3). Розрахунки проведені для конвективної сушарки площею 20 м<sup>2</sup>.

Виробнича перевірка сушильних установок з вентиляторів, що вибрані за даною методикою, підтверджена можливістю практичного застосування розробленої методики, що дозволяє оптимізувати процес сушки вороху насіння багаторічних трав, раціонально використовувати електроенергію і отримати якісне насіння. Дану методику можна використовувати для розрахунків і вибору необхідного обладнання при активному вентиляванні інших пористих матеріалів.

Таблиця 3. Вибір вентиляторів

Вихідна вологість матеріалу, $W_n$ , кг/кг	Питома вага, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Висота шару, $H$ , м	Сушильний потенціал повітря, $\Delta d \cdot 10^{-3}$ , кг вологи/кг сухої речовини	Температура повітря, що подається, $K$	Заданий час сушки, $\tau$ , год	Витрати повітря, $L$ , м <sup>3</sup> /год м <sup>2</sup>	Продуктивність вентилятора, м <sup>3</sup> /год	Опір шару руху повітря, $Pa$	Швидкість повітря, $v_{ср}$ , м/с	Кінематична в'язкість повітря, $\nu \times 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	Коефіцієнт газопроникності, $\epsilon$	Марка і номер вибраного вентилятора	Частота обертання вентилятора, об/хв.	ККД вентилятора
0,5	60	0,37	2,3	293	6	1575	31500	849,6	0,44	15,02	11,05	Ц4-70№12	582,6	0,77
0,5	60	0,37	8,0	313	6	608	12160	270,0	0,17	16,54	15,23	Ц4-70№8	563,4	0,75
0,5	100	0,62	8,0	313	6	942	18840	758,6	0,26	16,84	13,40	Ц4-70№10	639,8	0,77
0,75	100	0,62	5,0	303	10	1253	25060	542,7	0,35	15,97	6,05	Ц4-70№10	611,2	0,76
0,75	100	0,62	5,0	303	6	1892	37840	1751,0	0,52	15,97	10,72	Ц4-70№12	811,7	0,76
0,75	100	0,62	11,0	323	4	1622	32440	1502,0	0,45	17,86	11,57	Ц4-70№10	955,0	0,80
1,0	80	0,49	5,0	303	10	1425	28500	890,6	0,36	15,97	12,06	Ц4-70№10	744,9	0,78
1,0	40	0,25	5,0	303	10	896	1792	287,5	0,25	15,97	13,35	Ц4-70№12	334,2	0,78

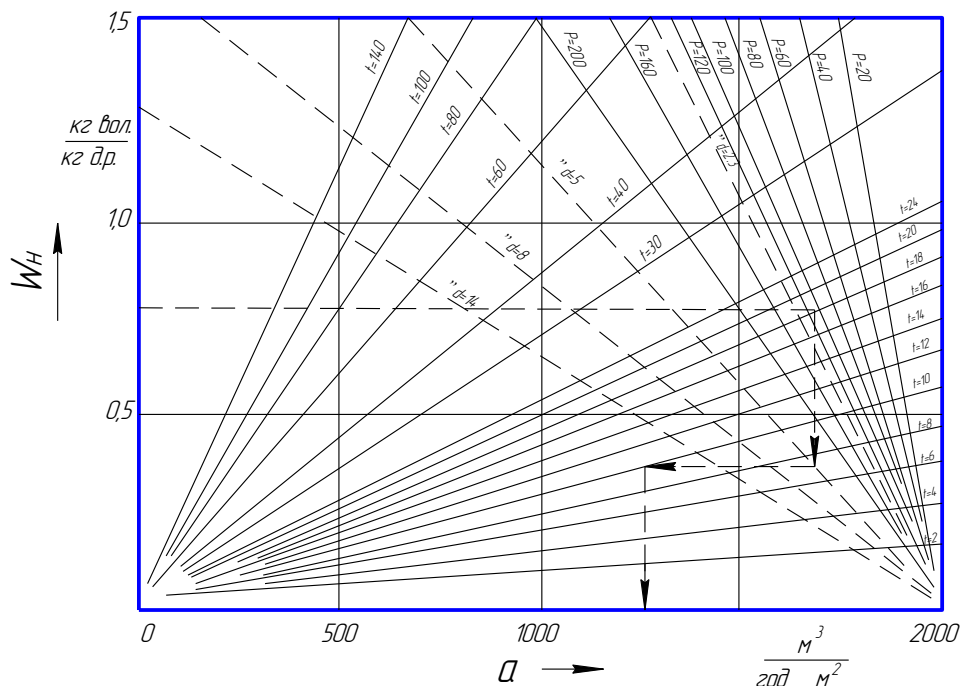


Рис. 3 - Номограма для визначення необхідної питомої продуктивності вентилятора в залежності від вихідного вологовмісту матеріалу  $W_n$ , питомого навантаження  $\rho$ , сушильного потенціалу повітря  $\Delta d \cdot 10^{-3}$  і часу сушки  $\tau$ .

**Висновки**

Використання науково-обґрунтованих даних при розрахунку опору шару руху повітря, що

нагнітається вентилятором, дозволить на стадії проектування сушильного устаткування задовольнити вимоги до його компактності і економічності

доцільності, обґрунтувати параметри повітродозподільної системи, вентилятора і електроприводу, а при використанні існуючого устаткування –

вибрати оптимальний режим сушки вороху, що забезпечує високі посівні якості насіння при мінімальних енергозатратах.

#### **Список використаної літератури:**

1. Штоколов И. Т. Исследование технологии сушки семян эспарцета активным вентилярованием в условиях Центральной Нечерноземной полосы : Автореф. дис. канд. техн. наук. – Воронеж, 1973. – 17 с.
2. Гнеушев В.О. Вентиляція і пневматичний транспорт. Навч. посібник. – Рівне: НУВГП, 2010. – 138 с.
3. Жуков В.П., Панько В.В., Труханська О.О. Оцінка технологічних прийомів сухого фракціонування сіна природного сушіння для отримання гранул // Збірник наукових праць ВНАУ. – Вінниця, 2013.- Вип. 2(72) Том1. – С. 12-18.
4. Урханов Н.А., Цыдендоржиев Б.Д., Бужгеев А.С. Проектирование и монтаж вентиляционных и пневмотранспортных установок на предприятиях агропромышленного комплекса: Учебное пособие. – Улан-Удэ, 2005. – 160 с.
5. Кислов Н.В., Бакшанский В.И., Вакунов В.М. Основы пневмотранспорта сыпучих сред. – Минск : Наука и техника. 1981. – 182 с.
6. Кислов Н.В. Аэродинамика измельченного торфа // Под ред.И.И. Лиштвана – Минск : Наука и техника, 1987. – 175 с.
7. Дзядзю А.М., Кеммер А.С. Пневматический транспорт на зерноперерабатывающих предприятиях. – М.: Колос, 1967. – 295 с.
8. Tverdokhlib I.V., Spirin A.V. Theoretical studies on the working capacity of disk devices for grinding agricultural crop seeds / Inmaten. Agricultural Engineering. – Bucharest : National Institute of research – development for machines and installations designed to agriculture and food industry, 2016. – Pag. 43-52.

#### **Спирин А.В., Солон О.В., Труханська О.О., Коростель В.В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА**

*Получена универсальная математическая модель, что позволяет определить потери давления воздуха в слое зернистых, волокнистых и стебельковых материалов. Важной особенностью данной модели является то, что она включает относительный коэффициент газопроницаемости, применение которого исключает определение всего комплекса физико-механических и аэродинамических характеристик материала.*

**Ключевые слова:** математическая модель, потери давления, післязбиральна обробка, сушильное оборудование, внутрешня задача гідродинамики, удельная поверхность, ворох зерна.

#### **Spirin A.V., Solon O.V., Truhanska O.O., Crake V.V. MATHEMATICAL MODELING OF THE AIR PRESSURE LOSSES**

*An universal mathematical model to define the air pressure losses in the layer of grainy, fibred and raw materials is presented, The important feature of this model is that she includes the relative coefficient of gas-penetrability, application of that eliminates determination of all complex of aerodynamic characteristics of material. The basic technological operation of seed treatment is drying. However, the modes of drying under seed losses for long-term herbares are studied not enough/ One of important technological parameters of drying equipment there is resistance of seed layer under air motion. Also scientifically-reasonable data for the calculation of technological parameters of drying equipment is absent/ Experimental studies on determination of losses of pressure of air in the layer of the investigated materials are undertaken with the special setting.*

*On results researches of process of drying of clover with content of admixtures 45-50 %% and there is built the nomogram for determination of the necessary specific productivity of ventilator Support under choose a necessary ventilator taking into account of losses of pressure for air distribution channel was provided. Example of choice of ventilators is made an in the table 3. Calculations are conducted for a конвективної dryer by an area 20 м<sup>2</sup>. This methodology can be used for calculations and choice of necessary equipment at active aeration of other porous materials.*

**Key words:** raw materials, seed, drying, air pressure losses, technological parameters, methodology, calculation, ventilator.

Стаття надійшла в редакцію: 01.10.2016

Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Кузема О.С.