

УДК 664.72:544.034

## НАУКОВО-ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ УДОСКОНАЛЕННЯ ВІТЧИЗНЯНИХ ТА ЗАКОРДОННИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗНЕВОДНЕННЯ

Гапонюк І.І., докт. техн. наук

*Національний університет харчових технологій, вул. Володимирська, 68, м.Київ-33, Україна*

Для задоволення вимог зернопереробних технологій та експорту зерно сушать до критичного вологовмісту. Найпоширенішим способом вітчизняної та закордонної практики є конвективні технології. Сучасний рівень досконалості сушильних технологій обумовлює втрати теплоти, що перевищують розрахунково необхідні витрати фазових перетворень вологи. Застосуванням інноваційних технологій управління внутрішньо капілярним опором дифузії вологи, волого поглинаючою спроможністю робочих газів, управління співвідношенням теплоти нагрівання та зневоднення тіла, прискореного попереднього нагрівання шару вологих тіл та рекуперацію теплоти можна суттєво зменшити втрати і збільшити швидкість перебігу зневоднення вологих тіл. Застосування цих технологій дозволяє удосконалити сучасні іноземні і вітчизняні сушильні агрегати, підвищити рівень конкурентоспроможності вітчизняних технологій.

Для удовлетворения требований зерноперерабатывающих технологий и экспорта зерно сушат до критической влажности. Самым распространенным способом отечественной и заграничной практики являются конвективные технологии. Современный уровень совершенствования сушильных технологий обуславливает потери теплоты, которые превышают теоретические расходы для фазовых превращений влаги. Применение инновационных технологий управления внутрикапиллярным сопротивлением диффузии влаги, влагопоглощающей возможностью рабочих газов, управлением соотношением теплоты нагревания и обезвоживания тела, ускоренным нагревания слоя влажных тел и рекуперацией теплоты можно существенно уменьшить потери и увеличить скорость сушки влажных тел.

To meet the requirements of the grain processing technologies and export of grain is dried to the critical moisture content. The most common method of domestic and foreign practice are the convection technology. The current level of perfection of the drying technology causes heat loss exceeds the estimated necessary expenses of phase transitions of moisture. Using innovative management technologies internally by capillary diffusion of moisture, the moisture absorbing capacity of the working gases, control of the ratio of heat of heating and dehydration of the body, rapid pre-heating of the layer of wet solids and the recovery of heat can significantly reduce the loss and increase the rate of flow of dewatering a wet phone these technologies to improve modern foreign and domestic safeguard units, to increase the level of competitiveness of domestic technology and drying technology.

Бібл. 5, рис. 4, табл. 3.

**Ключові слова:** теплота, сушарка, волога, зневоднення.

**Вступ.** Найбільш суттєвими факторами впливу на стан зберігання зерна є його вологість та вміст різноманітних домішок і за цими показниками зерно зібраного урожаю значно перевищує науково обґрунтовані [1 – 4]. Для доведення якості зерна зібраного урожаю до вимог вітчизняних та іноземних стандартів, а також приведення його в стійкий стан зберігання застосовують технологію післязбиральної обробки зерна. Післязбиральну обробку зерна зібраного урожаю більшою чи меншою мірою здійснюють впродовж всього періоду його зберігання різного стану засміченості, вологовмісту, структурно-механічних властивостей, хімічного складу та цільового призначення.

Оскільки для задоволення вимог зернопереробних технологій підприємств, транспортування й експорту використовують лише сухе зерно, тому із різноманітних технологій післязбиральної обробки зерна пріоритетною є технологія сушіння.

Попри те, що ємностей для зберігання зерна в Україні лише близько 35 млн. т, або лише половини від зібраного урожаю, агрохолдинги України за експортом зерна впевнено посідають третє місце в світі. Для

порівняння, загальна зернозаготівельна ємність одного із світових лідерів виробництва зерна США становлять близько 470 млн. т. при його щорічному вирощуванні понад 400 млн. т. Для сушіння зерна вітчизняні зернозаготівельні підприємства використовують за різними даними від 6,2 до 6,4 тис. зерносушарок різного технічного стану, моделей і виробників.

Проте критичний стан технології і техніки сушіння зерна, дефіцит ємностей ускладнює по-даліше зростання зерновиробництва та погіршує конкурентну спроможність вітчизняних технологій. Із вищезазначеної кількості зерносушильних агрегатів більша їх частка фізично- і морально застаріли. Питомі енерговитрати цих сушарок на 40...60 % більші сучасних іноземних. За показниками продуктивності й рівня забруднення доквілля ці сушарки ще більше поступаються іноземним аналогам. Орієнтація вітчизняних машинобудівельних підприємств на виробництво ліцензованих іноземних сушарок, як показав досвід останніх 5...10 років, є маловиправданою.

З огляду на зазначене автори ставлять за мету довести економічну доцільність та технологічні пере-

ваги використання напрацювань школи вітчизняних науковців НУХТ, ОНАХТ, Інституту теплофізики НАНУ, тощо з удосконалення вітчизняних та закордонних технологій сушіння для їх практичного застосування вітчизняними зернозаготівельними та машинобудівельними підприємствами.

**Обґрунтування ідеї.** Як відомо, у вітчизняній практиці майже все вологе зерно зібраного урожаю сушать швидкісним способом. Із загальної кількості зерносушарок вітчизняних зернозаготівельних підприємств найбільша їх частка, до 70 %, припадає на шахтні зерносушарки вітчизняного виробництва типу ДСП. Решта – це сушарки інших способів сушіння та іноземних виробників. Коефіцієнт корисної дії більшості шахтних вітчизняних сушарок в межах 40 ... 45 %, а питомі витрати енергоносіїв сушіння перевищують на 20...35 % сушарок провідних іноземних компаній, як Шмідт-Зінгер, Кембріа, GH, Chief, Riela, MC, Ff, GSI, ME, Бріз-Бейкер, тощо.

Попри певні переваги нових іноземних технологій сушіння над застарілими вітчизняними, представники іноземних виробників досить часто допускають некоректне порівнювання технічних показників обладнання. Зокрема показники сучасних іноземних із 30...40 річними вітчизняними. Некоректно використовують різний діапазон сушіння сушарок, теплоутворюючу спроможність теплоносія, пошарову однорідність сушіння, обмеження експлуатації температури доквілля, тощо. Для прикладу в технічній характеристиці сушарок іноземного виробництва наведено показники питомих енерговитрат сушіння зерна зернових до кінцевої вологості 15 % проти аналогічних показників сушіння вітчизняними технологіями до менших значень 14 %. Однак відомо, що зі зменшення вологості зерна питомі витрати на його сушіння зростають в степеневій залежності і питомі витрати зневоднення одного відсотку вологи близько критичного вологовмісту зерна можуть перевищувати цей показник в 1,5...2,5 разів для вологого й ще більше сирого зерна.

Загальний вигляд більшості шахтних зерносушарок вітчизняного та закордонного виробництва, їх конструктивні особливості, спосіб зневоднення та управління показниками тепловологообміну є подібними. Проте завдяки конструктивним особливостям місця розташування пальника, форми і просторового розташування газорозподільчих коробів, особливостей аеродинамічних параметрів повітродувних машин, пристроїв автоматизованого керування, теплоізоляції й антикорозійних матеріалів – сучасні моделі зерносушарок провідних виробників Європи та США вигідно вирізняються порівняно більшою вирівненістю поля швидкостей робочих газів у вертикальних перетинах газорозподільної шахти та меншими втратами аеродинамічного опору й теплоти. Крім цього значно м'якші температурні режими сушіння робочими газами (до 120 °C (248 °F)) зменшують ризик нерівномірності міжфазового тепловологообміну в шарах зерна й втрат теплоти. Для прикладу сушіння зерна кукурудзи жовтої, температуру робочих газів в цих сушарках ре-

комендовано обмежувати діапазоном 93...110 °C, кукурудзи білої – 82...93 °C, фуражної пшениці – 82...93 °C, вівса – 71...88 °C, а соняшника насінневого лише 49...57 °C. Це на 25...40 % менше вітчизняних режимів.

Нижче ми спробуємо розібрати особливості технології та конструкції іноземних зневоджувальних агрегатів сучасного виробництва, навести теоретично обґрунтовані способи та окремі апробовані з них удосконалення вітчизняних та закордонних технологій і конструкцій сушарок. На рис.1 наведено аналіз структурної схеми вітчизняних та іноземних технологій сушіння з зазначенням їх відмінностей в правій колонці рисунка 1.

Із наведеного аналізу рис. 1 видно, що за технологічними показниками вітчизняні та закордонні технології є подібними не лише за структурою, а й відсутності інноваційних способів управління енергоємністю, пошаровою однорідністю та швидкістю перебігу процесів міжфазової взаємодії. Зокрема управління внутрішнім опором дифузії вологи, пошаровою рівномірністю тепловологообміну, управління співвідношенням теплоти нагрівання зневоджуваного тіла й фазових перетворень, волого поглинаючою спроможністю газів, тощо.

Аналіз особливостей технології й конструкції зерносушарок нижче наведено на прикладах Європейських Шмідт-Зінгер (рис.2.а) й Chief (рис.2.б) та американської (США) GH (рис.2.в) сушарок. Для перевірки відповідності показників роботи цих сушарок зазначеним в технічному паспорті до неї, нами були виконані відповідні теплові, аеродинамічні та технологічні розрахунки, в тому числі у виробничих умовах. Як видно із представлених на рис.2 виглядів, європейські сушарки (рис. 2, а) і б)) виконані одношахтними в укритті з подачею робочих газів в сушильну камеру "під розрідженням", а американська сушарка (рис. 2, в) двошахтна, без укриття із подачею робочих газів в камеру "під тиском". В європейських сушарках для переміщення сушильних газів використано вістові повітродувні машини, американської – діаметральні. Вивантажуючий пристрій сухого зерна із сушильної камери європейських сушарок виконано періодичної дії (хоча також є й неперервної), американської – неперервної. Всі сушарки не укомплектовано системами знепилення.

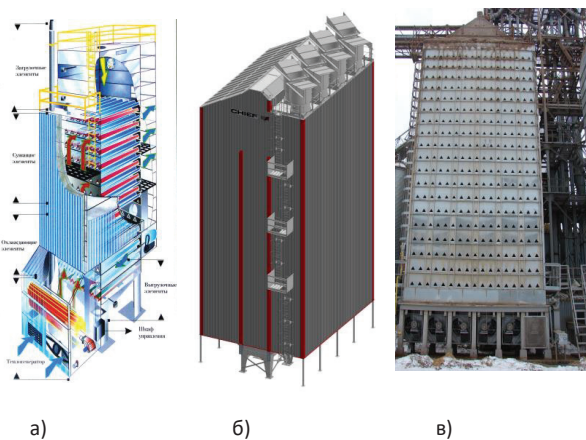
З врахуванням особливостей теплоутворюючої спроможності природного газу вітчизняних поставок, зазначених в технічному паспорті сушарки, показники представлено вірно. Розрахункова потреба теплоти для сушіння зерна пшениці планової продуктивності 80 т/г на 5 % однієї зерносушарки складає близько 21·10<sup>3</sup> МДж. В перерахунку на теплоутворюючу спроможність природного газу вітчизняних поставок ця кількість теплоти відповідає близько 675 м<sup>3</sup>/год газу.

З огляду на конструктивні особливості пальника сушарки (670 отворів Ø2,25 мм по всій його довжині) та тиск в газопроводі (0,4 кг/см<sup>2</sup>), потенціал пальника повністю задовольняє потреби сушарки.

Структурна схема технології сушіння

Технологічні операції	Компоненти технології	Відмінності технологій (вітчизняних - закордонних)	
Компоненти Нагрівання	Сушильні гази	Зневоджувальний продукт	Подібні
Подача в сушильну камеру	Продуктами спалювання, опроміненням, кондуктивний обмін	Без попереднього нагрівання / із попереднім нагріванням	Подібні
Змішування компонентів	Різницею тисків (+ΔН; - ΔН)	Механічним, гравітаційним, комбінованим	Подібні
Управління швидкістю дифузії вологи	Газорозподільними коробами, станом рухомості шару зерна		частково подібні
Управління внутрішнім опором дифузії	Температурою тіла та рушійним потенціалом		частково подібні
Управління пошаровою рівномірністю тепло-вологообміном	Відсутнє		
	Відсутнє		
Відведення компонентів	Різницею тисків (+ΔН; - ΔН)	Гравітаційним (неперервно, комбіновано)	частково подібні
Рециркуляція компонентів	Рекуперация теплоти (охолоджувальних газів)	Рециркуляція – досушування надміру вологого	частково подібні

**Рис. 1. Структурна схема вітчизняних та закордонних технологій сушіння зерна для встановленого режиму сушіння його потужність використовується лише на третину. Розрахункова вологопоглинаюча спроможність робочих газів нагрітих до заданих в технічній характеристиці температур ( $t_1 = 73 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_1=90 \text{ }^\circ\text{C}$  і  $t_1=120 \text{ }^\circ\text{C}$ ) при сушійній тій же кількості зерна на 5 % (від 20 до 15 %), із врахуванням тепловологообміну в зоні охолодження, дозволяє висушити:**  
 - в зимову пору року: 55, 80 і 125 тон зерна за годину, відповідно до вказаних температур газів;  
 - в літню пору року: 35, 65 і 110 тон зерна за годину, відповідно до вказаних температур газів.



**Рис. 2. Зерносушарки: а) Шмідт-Зінгер та б) Chief та в) GH.**

Дещо менша продуктивність сушарок в літню пору року, порівняно із зимовою, пояснюється кількратною відмінністю вологовмісту повітря довкілля цих пор року.

Зерносушарки прямотечійні, одноконтурні шахтного типу, розраховані на сушіння більшості плодів зернових, бобових та олійних культур широкого діапазону вологості та різного цільового використання. Стан рухомості шару зерна в шахтах, подібно як і в більшості зерносушарок вітчизняного виробництва, малорухомий. Швидкість його коливається від 0,1 до 0,7 м/с та перебуває в зворотній залежності від початкової вологості, хімічного складу, розмірів тіла зернин та цільового використання (насінневого призначення, продовольчого чи на фуражні потреби) зерна. Широкий діапазон продуктивності від 10 до

240 пл.т за годину забезпечується переминою розмірів (висоти) тепловологообмінної камери та кількості й продуктивності повітродувних машин. Технологічні схеми та принцип роботи й управління сушарками модельного ряду є подібні.

Більша площа поперечного перетину газовідвідного/підвідного коробів на 35 %, менша їх довжина на 24 % та майже вдвічі більше відношення площі перетину короба до його довжини ( $1,73 \cdot 10^{-2}$  м) (рис. 3) порівняно із вітчизняними аналогами ( $9,8 \cdot 10^{-3}$  м) обумовлюють значно більшу тривалість між фазової взаємодії, менші втрати енергії течії робочих газів, кращу пошарову рівномірність тепловологообміну, менші швидкості витоку робочих газів із газовідвідних коробів та рівень забруднення довкілля (табл. 1).

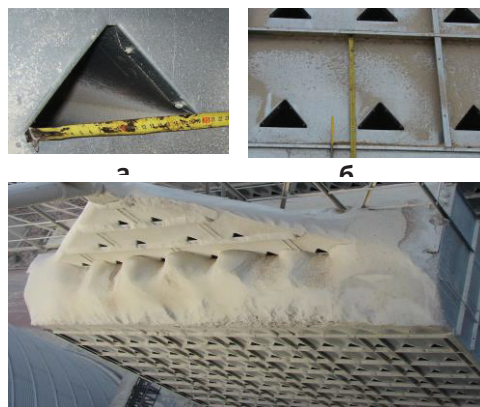


Рис. 3. Зовнішній вигляд: а) –короба, б) – ряди коробів та в) – екологія GH-2419.

Табл. 1. Теплофізичні показники роботи зерносушарки Grain Handler 2419 (соя)

Показники	Од.вим	Зона охолодження зерна,						Сушильна зона,													Всього, кг		
		(№ рядів коробів)						(№ рядів газорозподільчих коробів)															
		1	2	3	4	5	6	разом, кг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13	разом
$t_0$	°C	0,9						0,9															
$t_1$	°C	0,9						73															
$t_2$	°C	0,9	1,5	1,7	7,5	11	17,5		31	35	34	32	31	28	27	25	23	22	18	13	12		
$\varphi_0$	%	59						59															
$\varphi_2$	%	63;	65;	65;	65;	67;	67		65;	65;	63;	68;	69;	80;	79;	78	80;	85;	95;	95;	95;		
$d_2$	г/кг.с.н.	3,8	4,1	4,2	4,7	7,6	9,4	79	16	20	20	22	22	22	20	18	18	16	14	12	10	1245	1324
$K = d_2/d_0$		1,0	1,1	1,1	1,3	2,1	2,5		4,3	5,4	5,4	5,9	5,9	5,9	5,4	4,9	4,9	4,3	3,8	3,2	2,7		
$K = t_2 - t_0$		0	1	1	7	10	17		30	34	33	31	30	27	26	24	22	21	17	12	11		

Геометричне виконання коробів (кути нахилу  $55^\circ \times 55^\circ \times 70^\circ$ ) та перекриття їх нижньої площини (заглиблення) на 0,02 м від нижнього рівня газовідвідного отвору суттєво зменшують ризик куполоутворення в міжкоробному просторі шахти та винесення зерна із сушильної камери разом із робочими газами.

На показники питомих витрат теплоносія суттєво впливає траєкторія руху робочих газів в шарі зерна, яка обумовлена товщиною шару і опосередковано може характеризуватися коефіцієнтом  $\kappa_v$ , що виражає співвідношення об'єму газорозподільчих коробів до об'єму тепловологообмінної камери. Товщина шару зерна в зернозведжувальній шахті перевищує подібні значення вітчизняних сушарок і становить 0,170...0,220 м. А коефіцієнт  $\kappa_v$  сушарок модельного ряду ГН, що обумовлює тривалість міжфазової взаємодії та впливає на потенціал використання робочих газів, становить  $\kappa_v = 10,0\%$ , що вдвічі менше від аналогічного показника сушарок типу ДСП ( $\kappa_v = 24,4\%$ ).

Зважаючи на відмінність температури доквілля в різні пори року, для нагрівання цієї кількості робочих газів в зимову пору року до  $73^\circ\text{C}$ ,  $90^\circ\text{C}$  і  $120^\circ\text{C}$  необхідно витратити більше теплоти порівняно із літнім періодом роботи сушарки,  $530\text{ м}^3$ ,  $655\text{ м}^3$  та  $860\text{ м}^3$  природного газу за годину відповідно. Проте вологопоглинаюча спроможність робочих газів нагрітих до однієї ж і тієї самої температури в літню та зимову пору року є відмінна. Оскільки вологовміст повітря доквілля  $d_0$  взимку у кілька разів менший від літнього повітря. Тому перевитрати пального на нагрівання робочих газів в зимову пору року частково компенсуються їх більшою вологопоглинаючою спроможністю на  $6...8\text{ г/кгс.п.}$  ( $d_0^3 - d_0^{\text{л}} = (6...8), \rho / \kappa_{\text{г.п.}}$ ).

Розрахункові питомі витрати природного газу зерносушарки становлять близько  $1,37\text{ м}^3/(1\text{т}\cdot 1\%)$  для вказаного діапазону сушіння зерна і зі збільшенням початкової вологи зерна  $W_0$ , вони зменшуються. Порівняно із аналогічними показниками роботи вітчизняних зерносушарок іноземні є менш енергоємними на  $25\%$ . Ще більш відчутно відрізняються питомі витрати електроенергії на переміщення робочих газів від подібного показника вітчизняних сушарок. В американській зерносушарки  $0,225\text{ кВт}/(1\text{т}\cdot 1\%)$ , вітчизняних аналогів втричі більше –  $0,6...0,8\text{ кВт}/(1\text{т}\cdot 1\%)$ .

До недоліків цих моделей американських сушарок, на нашу думку, слід віднести такі, як:

- одноступеневий режим сушіння;
- відсутність можливості управляти енергією течії робочих газів і інтенсивністю тепловологообміну по сушильним і охолоджувальним зонам тепловологообмінної камери;
- відсутність рекуперації теплоти відпрацьованих робочих газів, особливо після зони охолодження;
- конструктивно обумовлені втрати теплоти із відпрацьованими газами з поглибленням зони сушіння у внутрішні шари тіла зернини;
- високий ризик тріщиноутворення поверхні зернин, особливо великих за розміром (соя, кукурудза), внаслідок пошарової в тілі зернини нерівномірності во-

логи та температури, що дещо нівелюється низькотемпературними режимами сушіння;

- пилоутворення в зоні завантаження зерна в надсушильну ємність;
- централізований потік робочих газів для всіх сушильних та охолоджуючої зон сушарки;
- підведення робочих газів під тиском в сушильні та охолоджувальні зони;
- залежність рівномірності тепловологообміну в камері сушарки від умов доквілля (наявність та напрямок вітру, сонячна чи затемнена сторона, тощо);
- чутливість до забруднення зерна габаритними смітними домішками.

Застосування низькотемпературних режимів сушіння дещо нівелює вказані недоліки, проте й додатково обумовлюють дещо більші питомі витрати теплоти на сушіння зерна.

За результатами виконаних робіт з удосконалення сушарки було збільшено її продуктивність до  $20\%$ , по зерну пшениці та до  $30\%$  по зерну кукурудзи, від фактичних показників роботи зерносушарки у виробничих умовах.

Цього нам вдалося досягти за рахунок удосконалення тепло-кінетичної та тепло-аеродинамічної характеристики сушарки. Для цього нами було збільшено енергію течії робочих газів усіх діаметральних вентиляторів до  $3,62\text{ тис.м}^3/(1\text{ пл.т})$  по шару зерна кукурудзи, а обох крайніх вентиляторів ще додатково збільшили на  $3...5\%$ , порівняно із рештою. Фіктивну швидкість течії пронизування шару зерна робочими газами було збільшено до  $0,845\text{ м/с}$ , а температуру газів зменшено на майже  $15^\circ\text{C}$ .

За встановлених тепло-аеродинамічних параметрів сушарки фактична швидкість течії робочих газів газовідвідних коробів сушильної зони сушарки зростає, проте не перевищувала  $3,2...3,9\text{ м/с}$ . По зерну кукурудзи це вдвічі менше від необхідної енергії винесення цілих зернин із сушильної камери.

Що стосується європейських зерносушильних агрегатів з рекуперацією теплоти відпрацьованих газів чи без, то основним їх недоліком на нашу думку є нерівномірність поля швидкостей та щільності теплового потоку в горизонтальних та вертикальних перетинах шахти сушарки.

За нашими дослідженнями одно шахтної прямотечійної сушарки Chief (рис.2.6), щільність теплового поля в сушильній шахті сушарки суттєво змінюється в вертикальній площині (газовідвідні короби) до  $60\%$  і менш суттєво в горизонтальній – до  $5\%$ . Особливо відмінними є стрибкоподібні викривлення аеродинамічного поля швидкостей на межі зон сушіння та охолодження камери сушарки – до  $55\%$ . Другою особливістю, або справедливіше недоліком, було нами встановлено перевищення відхилень швидкостей між холодними та сушильними зонами секцій. Допустимими, з огляду на теплофізику залежності об'єму газів від температури, є діапазон перемінних значень вказаних швидкостей холодної та сушильної зони до  $30\%$ , в зимову пору року, та до  $25\%$  в літню.

Перевищення теоретично обґрунтованих відхилень

на  $(60 - 30 =) 30$  % свідчить про порушення аеродинаміки надходження робочих газів в сушильну зону.

Фактичними замірами в холодну пору року сушіння кукурудзи, нами було встановлено, що швидкість відпрацьованих газів холодної зони спадає від самого нижнього ряду холодної зони до верхнього, від  $v = 14,1$  м/с (самий нижній ряд) до 8,8 м/с (відхилення 60 %). Це досить суттєво впливає на швидкість й відповідно зростання габаритності сушильної зони. Однак дещо позитивно (несуттєво на нашу думку) відображається на рівномірності пошарової в тілі зернини температури і відповідно конформаційним змінам

каркасу зневоджуваного тіла.

Вказані відхилення теплофізичних та аеродинамічних параметрів є значними проте можуть бути усуненими за результатами усунення порушень і удосконалення конструкції сушарки.

На завершення нами подано в табл. 2 і 3 економічну доцільність застосування різних теплоносіїв, що найбільш часто використовують в практиці сушіння зерна у різні періоди.

Як видно із наведених в табл. 2 і 3 даних, зі зростанням вартості енергоносіїв співвідношен-я вартості між ними певною мірою дотримується.

Табл. 2. Економічна доцільність використання різних теплоносіїв (станом на 01.03.11)

Вид енергоносія	Вартість грн/...	Теплоутвор. здатність, МДж/...	Вартість енергоносія, грн/МДж	Витрати теплоносія на зневоднення		Витрати на переміщення РГ, %	Витрати на переміщення шару зерна, %
				(.....)/1т1%	грн/1т1%		
диз. паливо	12,80	42,3	0,303	1,44	18,47	2,1	0,3
природ.газ	3,40	32,4	0,105	1,88	6,41	5,9	0,9
електроенерг	0,75	3,6	0,208	16,96	12,72	3,0	0,5

Табл. 3. Економічна доцільність використання різних теплоносіїв (на 01.01.17)

Вид енергоносія	Вартість грн/...	Теплоутвор. здатність, МДж/...	Вартість енергоносія, грн/МДж	Витрати теплоносія на зневоднення		Витрати на переміщення РГ, %	Витрати на переміщення шару зерна, %
				(.....)/1т1%	грн/1т1%		
диз. паливо	29,30	42,3	0,69	1,44	42,2	1,33	0,2
природ.газ	8,40	32,4	0,26	1,88	15,8	3,54	0,7
електроенерг	1,94	3,6	0,54	16,92	32,8	1,71	0,3

Довідково : вартість переміщення сушильних і охолоджувальних газів 0,56 грн/(1т·1%).



Рис. 4. Приклади удосконалення технологій сушіння іноземних сушарок: а) – TORNUM ТК 8-28-4, б) Chief CD 20/96 і в) – GH 2419теплоносіїв (на 01.01.17).

І досі найдешевшим із вказаних в таблицях є використання природного газу. До переваг цього теплоносія слід також віднести те, що теплова потужність пальників може бути у десятки разів більшою альтернативних теплоносіїв (біопаливо, дерев'яні пелети, поживні рештки, лушпиння, тощо), значно менший вміст канцерогенів та комунікаційна зручність та стабільність подачі.

З урахуванням викладених по тексту зауважень щодо технології іноземних зерносушарок нами було розроблено науково-прикладні рішення з їх усунення. На рис. 4 представлено приклади удосконалення технологій європейських агрегатів (шведської *TORNUM TK 8-28-4* і англійської *Chief CD 20/96 №67*) та американського (*GH-2419*) відповідно.

**Висновки:**

1. Способи сушіння зерна та конструкція шахтних зерносушарок провідних іноземних компаній Європи, США та вітчизняного виробництва подібні.
2. Конструктивні елементи газорозподільних каналів американських сушарок порівняно із вітчизняними аналогами обумовлюють менші втрати енергії течії робочих газів, кращу рівномірність міжфазового тепловологообміну та вищий потенціал використання теплоти цих газів.
3. Зменшити енерговитрати вітчизняних зерносушарок збільшенням потенціалу використання робочих газів можна збільшивши площу поперечного перетину газорозподільних коробів в 1,7...1,8 разів та вдвічі зменшивши коефіцієнт об'єму газорозподільних каналів  $\kappa_v$ ;
4. Зменшити втрати теплоти зерносушарок модельного ряду GH можна усуненням вказаних за тек-

стом їх недоліків, в т.ч. й природного фактора впливу довкілля облаштуванням укриття і змінням способу підведення робочих газів із під нагнітанням на під розрідженням.

5. Зменшити енерговитрати вітчизняних зерносушарок можна удосконаленням їх технології та конструкції як в заводських умовах, так і меншою мірою у виробничих удосконаленням існуючих.

6. Конструкція вітчизняних зерносушарок дозволяє впровадити прогресивні напрацювання імпортних зерносушарок, в т.ч. розміщення пальника в між шахтовий простір, та зміння способу підведення робочих газів зони охолодження, застосовувати рекуперацію теплоти відпрацьованих газів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Флауменбаум Б.Л.* Основы консервирования пищевых продуктов / Б.Л. Флауменбаум, С.С. Танчев, М.А.Гришин // М.: Агропромиздат., – 1986. – 494 с.
2. *Останчук М.В.* Наукові основи процесів зберігання зерна // Наук.пр.ОНАХТ, вип.29.т.2.–С.58-62
3. *Гапонюк І.І.* Вдосконалення режимів та модернізація конструкцій шахтних зерносушарок// Зернові продукти та комбікорми. – 2007. – № 4 – С.41-44.
4. *Гапонюк І.І.* Інтенсифікація нагрівання зневоджуваних тіл газами підвищеного вологовмісту// Вісник ХНТУСГ, Вип.166 "Суч. напр. технол. та мех. пр. перер. і харч. Вир.", Харків–2015,-С.198–203.
5. *Chuanping Liu.* Size distribution in gas vibration bed and its application on grain drying / huanping Liu, Li Wang, Ping Wu, Fei Xiang// Powder Technology, Volume 221, May 2012, Pages 192-198.

**SCIENTIFIC AND APPLIED ASPECTS OF  
IMPROVEMENT OF NATIONAL  
FOREIGN TECHNOLOGY AND DRYING****Gaponyuk I.**

National University of Food Technologies in. Vladimir, 68,  
33, Kiev, Ukraine

The article presents the results of research of foreign and domestic technologies drying, weaknesses and ways to improve advanced foreign technology.

The article includes four features. Table three.

**Key words:** heat, drying, moisture dehydration.

1. *Flaumenbaum Konservyrovannya* ryschevyyh Fundamentals of products. B.Flaumenbaum, S.Tanchev, M.A.Hryshyn . M .: Agropromizdat. - 1986. - 494 p.

2. *Ostapchuk M.V.* Naukovi foundations of grain storage // Nauk.pr.ONAHT, vyp.29.t.2.-S.58-62

3. *Gaponyuk I.I.* Improving and upgrading structures regimes mine dryers // Grain and feed prod-ucts. - 2007. - № 4 - S.41-44.

4. *Gaponyuk I.I.* Intensyfikatsiya heating gases bodies znevodzhuvanyh high moisture content // Bulletin KNTUA, Vyp.166 "in present. Eg.Techn. And fur.Pr.Perera. And food. Whirlpool." Kharkov-2015-C.198-203.

5. *Chuanping Liu.* Size distribution in gas vibration bed and its application on grain drying / huanping Liu, Li Wang, Ping Wu, Fei Xiang// Powder Technology, Volume 221, May 2012, Pages 192-198.

*Получено 15.11.2017*

*Received 15.11.2017*