

УДК 664.72.047,54:005.591.6

ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛОМАСООБМІНУ НЕРУХОМОГО ШАРУ ЗЕРНА ТОВЩИНОЮ 31 СМ

Гапонюк І.І., кандидат технічних наук, доц.
Одеська національна академія харчових технологій

Анотація: виконано аналіз відмінностей параметрів найбільш розповсюджених сушарок вітчизняного та іноземного виробництва, досліджено особливості тепловологообмінних процесів для нерухомого шару зерна товщиною 31 см, експериментально встановлено та математично описано вплив способу підведення робочих газів на кінетику зневоднення та нагрівання шару зерна.

Annotation: the analysis of differences in the most common drying apparatuses of domestic and imported production is executed, are investigated the special features of the [teplovlogoobmennykh] processes for the fixed bed of grain with a thickness of 31 cm, it is experimentally established and is mathematically described the influence of the method of the supply of working gases under the rarefaction on the kinetics of drying and heating of the layer of grain.

Ключові слова: сушарка, шар, зерно, робочі гази, тепловологообмін, кінетика, зневоднення, нагрівання

У вітчизняних господарствах все більше використовують зерносушильні агрегати іноземного виробництва провідних компаній, зокрема Шмідт-Зінгер, Фарм-Фанс, Метюз-Компані, Квед, Де-Люкс тощо. За рекламними проспектами фірм-виробників, питомі енерговитрати на зневоднення зерна в сушарках іноземного виробництва на 20...30 % менші від аналогічних показників сушарок вітчизняного виробництва.

Із найсуттєвіших, на нашу думку, техніко-технологічних відмінностей найпоширеніших сушарок іноземного виробництва від вітчизняних аналогів слід зазначити більшу товщину шару зерна і живий перетин тепло-вологообмінної камери, спадні режими сушіння за порівняно менших значень температури робочих газів, застосування високопродуктивних радіальних пилових вентиляторів, менші аеродинамічні втрати енергії течії робочих газів, використання корозійно-стійких матеріалів для виготовлення елементів сушарки, використання заданої форми газорозподільних коробів та підвідних і відвідних каналів, застосування часткової рециркуляції відпрацьованих газів, дотримання високого рівня вибухобезпеки та рівномірності сушіння, автоматизація сушарок, простота в обслуговуванні та наявність вимірювальних пристроїв поточних показників теплових параметрів процесу. В табл.1 наведено найсуттєвіші фактори, що обумовлюють кращі показники роботи сушарок іноземного виробництва над вітчизняного та приведено порівняльний аналіз їх роботи. За результатами виробничих досліджень нами встановлено також більша насиченість вологою відпрацьованих газів та менші втрати теплоти із ними в доквіллія.

До найсуттєвіших факторів впливу на це слід віднести більшу товщину шару зерна, більшу величину живого перетину та менші втрати енергії течії робочих газів.

У конструкціях вітчизняних шахтних прямотечійних зерносушильних агрегатів товщина шару в тепломасообмінній камері є не стабільна і коливається по висоті міжкоробного простору в межах $h=22...25$ см, а у більшості зарубіжних аналогів висота шару є незмінною і становить $h=31$ см.

Перемінна товщина шару зерна відображається на конвективному тепломасообміні в частині перемінних величин міжфазових тепломасообмінних коефіцієнтів, розрахунків параметрів фазових середовищ, вибору раціональних параметрів тепломасообміну [3, 4].

Приймаючи до уваги відмінність товщини шару зерна в тепломасообмінних камерах модульних зерносушарок імпортного виробництва, було досліджено тепломасообмінні процеси зневоднення нерухомого шару зерна товщиною $h=31$ см в стендових умовах для температурних режимів, наближених до виробничих [1]. На рис.1 представлено кінетику зневоднення зерна кукурудзи напівзубовидної різної вологості, а на рис.2 і 3 кінетичну характеристику нагрівання шару зерна.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз показників роботи зерносушарок вітчизняного та іноземного виробництва

Показники	Переваги		
	вітчизняних		іноземних прямотечійних
	прямотечійних	рециркуляційних	
Стан рухомості шару зерна	нерухомий/малорухомий	малорухомий/рухомий	малорухомий
Спосіб підведення газів	під нагнітанням		комбінований
Попереднє підігрівання зерна	відсутнє	частково	відсутнє
Використання теплоти відпрацьованих газів	відсутнє	частково	частково
Режим сушіння	спадний		висхідний
Товщина шару зерна, см	22		31
Вологонасиченість відпрацьованих газів	неповна		повна
Стабільність роботи (АСУ)	не висока		висока
Поєднання методів та способів сушіння при:			
а) нагріванні зерна (конвект, кондук, опромін)	відсутнє	частково	відсутнє
б) сушінні зерна (швидкісні, повільні, відлеж)	відсутнє		частково
в) охолодження зерна (відлежування, повільні)	відсутнє		частково
Рівень пожежовихубезпеки	не високий		
Екологічний рівень безпеки	не високий		по потребі
Енергоємність сушіння: МДж/кг вол. питоми витрати природного газу (м ³ /1т1%)	5,4...6,8		3,2...6,1
	1,5...1,9		0,9...1,7
Швидкість течії робочих газів (фіктивна), м/с	0,42		0,4...0,44
Питоми витрати робочих газів, м ³ /1т1%	530...590		600...650
Живий перетин тепломасообмінних камер, %	6...9		30...35
Енергоємність сушіння	висока		невисока
Експлуатаційні затрати	невисокі		високі

За однакової енергії потоку обох для способів підведення робочих газів до шару зерна, швидкість його нагрівання до температури 40 °С в обох випадках майже однакова (рис. 4), проте швидкість зневоднення відрізняється від 20 до 30 % на користь способу підведення газів під розрідженням (рис. 1).

Отримані результати кінетики сушіння зерна кукурудзи для способу підведення газів під тиском не відрізняються, а під розрідженням – суттєво (до 20 % і більше) відрізняються від теоретично отриманих за відомими формулами впливу параметрів тиску на швидкість масообмінних процесів [2, 4]. Крім цього, із-за обмеженості досліджень та спірності встановлених авторами впливу тиску міжзернового простору на конвективний масообмін [2, 3], нами було досліджено вплив способу підведення робочих газів на тепломасообмінні процеси.

За експериментальними даними отримано кінетичні рівняння тепломасообміну нерухомого шару зерна кукурудзи вологістю $W_0=30 - 40$ % для обох способів підведення робочих газів при температурі $t_f=100$ °С та $t_f=120$ °С відповідно (рис. 1, 4):

а) динаміка вологообміну та теплообміну для традиційного способу підведення газів – «під нагнітанням»:

$$W_{100}^{+H} = -6,61 \cdot \tau + 45,1 \quad , \quad (1)$$

$$W_{140}^{+H} = 0,93 \cdot \tau^2 - 14,4 \cdot \tau + 52,8 \quad , \quad (2)$$

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial \tau}\right)_{100}^{+H} = -2,38 \cdot \tau^2 + 30,23 \cdot \tau - 9,1 \quad , \quad (3)$$

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial \tau}\right)_{120}^{+H} = -0,696 \cdot \tau^2 + 23,99 \cdot \tau - 2,9 \quad , \quad (4)$$

б) динаміка вологообміну та теплообміну при різних температурах робочих газів для дослідного способу підведення газів – «під розрідженням»:

$$W_{100}^{-H} = -8,15 \cdot \tau + 47,15, \quad (5)$$

$$W_{120}^{-H} = 2,28 \cdot \tau^2 - 22,49 \cdot \tau + 59,36, \quad (6)$$

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial \tau}\right)_{100}^{-H} = -2,57 \cdot \tau^2 + 32,86 \cdot \tau - 13, \quad (7)$$

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial \tau}\right)_{120}^{-H} = -0,63 \cdot \tau^2 + 25,06 \cdot \tau - 4,9, \quad (8)$$

Зважаючи на підвищені вимоги експортерів до вмісту зернової домішки та тріщинуватості зерен кукурудзи, було розроблено удосконалені режими зневоднення при зменшених швидкостях теплообміну за рахунок понижених температур робочих газів (рис.2, 3).

Переміна способу підведення робочих газів із традиційного на «під розрідженням» дозволяє частково компенсувати зменшення швидкості масообмінних процесів.

Зменшення температури робочих газів від $t_1=120^\circ\text{C}$ до $t_1=75^\circ\text{C}$ в сушарці МС-3580 дозволило зменшити тріщинуватість зерен напівзубовидної жовтої кукурудзи від 80...90% до 8...12%, а із подальшим зменшенням температури до $t_1=55^\circ\text{C}$ – вміст тріщинуватих зерен та зернової домішки після зневоднення змінився не суттєво.

Зважаючи на викладене, для параметрів робочих газів наближених до виробничих для сушарок іноземного виробництва ($v_{\phi}=0,18$ м/с) при понижених температурах та дослідному способі підведення газів «під розрідженням» на підставі отриманих експериментальних даних отримано такі емпіричні залежності вологообміну для шару зерна товщиною $h=31$ см та вологості $W_0=24\%$:

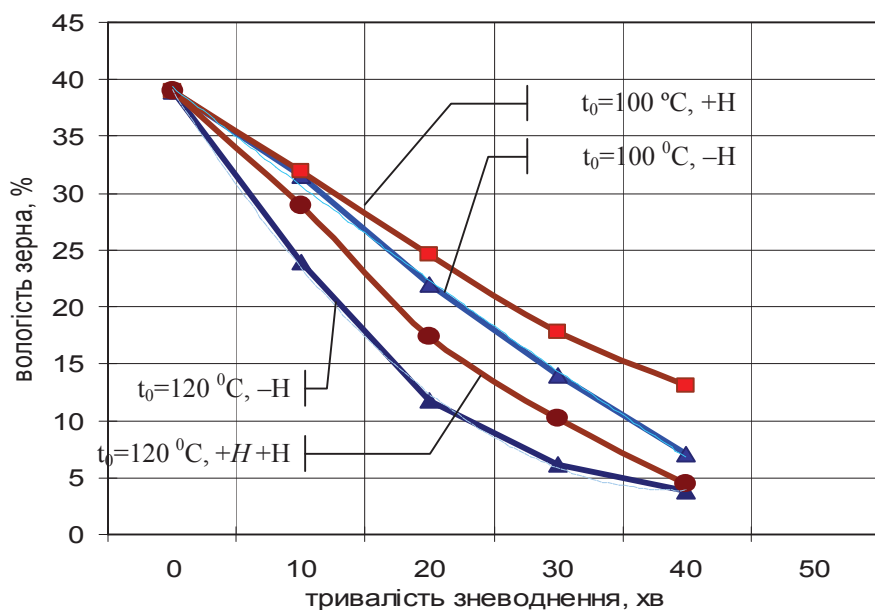


Рис.1. Кінетика сушіння шару зерна $h=31$ см ($W=39\%$) робочими газами (+H – під нагнітанням, -H – під розрідженням)

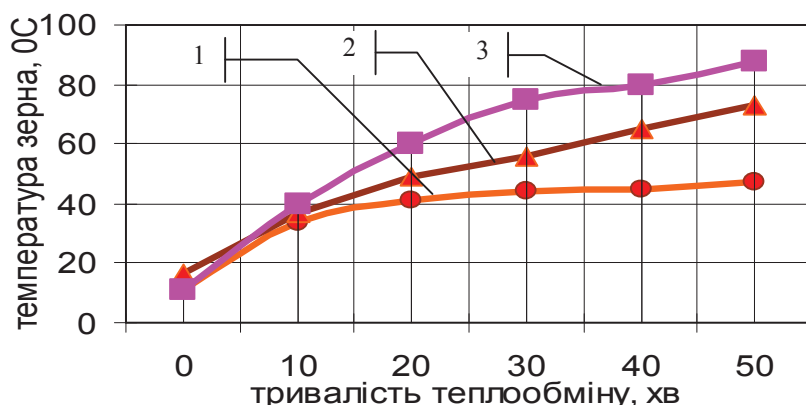


Рис. 2. Кінетика нагрівання шару зерна $h=31$ см ($W_0=24\%$) робочими газами під розрідженням: 1 – $t_1=50^\circ\text{C}$; 2 – $t_1=75^\circ\text{C}$; 3 – $t_1=95^\circ\text{C}$.

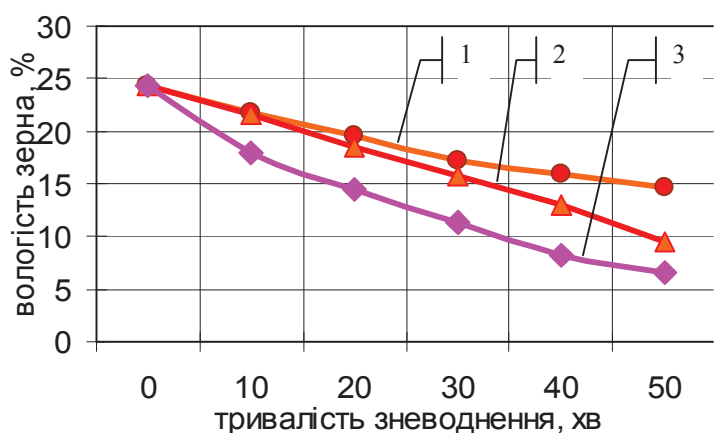


Рис. 3. Кінетика сушіння шару зерна $h=31\text{см}$ ($W_0=24\%$) робочими газами під розрідженням:
 1 – $t_1=50\text{ }^\circ\text{C}$; 2 – $t_1=75\text{ }^\circ\text{C}$; 3 – $t_1=95\text{ }^\circ\text{C}$.

однакових швидкостях підвищення температури обох зразків зерна, швидкість зневоднення дослідного зразка збільшується швидше. (рис.1 і рис. 3).

Вплив понижених значень температури робочих газів на характер міжфазового тепломасообмінного процесу для дослідного способу зневоднення зерна «під розрідженням», представлено на рис.2 і 3. На початковому етапі міжфазової взаємодії, із зменшенням температури робочих газів на кожні 20 – 25 $^\circ\text{C}$, швидкість тепловологообміну зменшується нерівномірно (рис. 2 і рис. 3). Так, при пониженні температури робочих газів від 95 $^\circ\text{C}$ до 75 $^\circ\text{C}$:

– швидкість зневоднення зерна (dW_1/dt) на початковому етапі нагрівання шару зерна (перші 15 хв) та незначній різниці температур обох зразків ($\theta_3 - \theta_2 < 10\text{ }^\circ\text{C}$) – зменшилися лише на 5 – 10%, а на етапі зростання відмінності температури обох зразків зерна ($\theta_3 - \theta_2 > 10\text{ }^\circ\text{C}$) – різниця швидкостей зневоднення ($W_3/dt - dW_2/dt$) зростає;

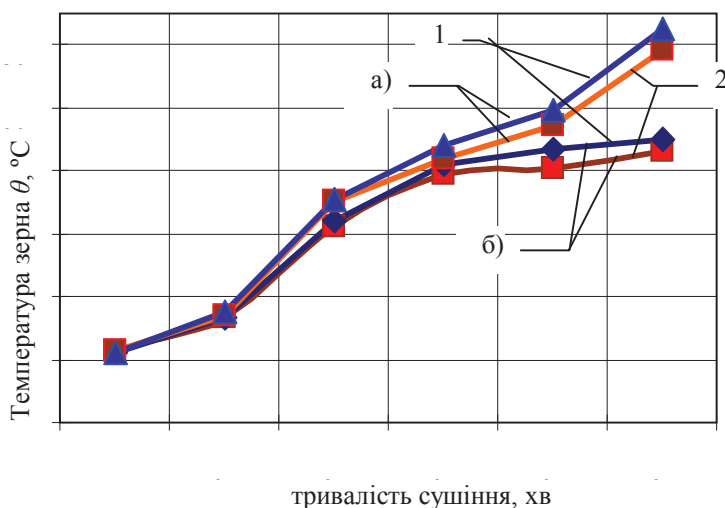


Рис. 4. Кінетика нагрівання зерна кукурудзи $W=39\%$ робочими газами температурою а) $t_1=120\text{ }^\circ\text{C}$ та б) $t_1=100\text{ }^\circ\text{C}$ різними способами їх підведення:
 1 – розрідженням; 2 – нагнітанням

$$W_{50}^{-H} = -1,95 \cdot \tau + 25,75, \quad (9)$$

$$W_{75}^{-H} = -2,92 \cdot \tau + 27,29, \quad (10)$$

$$W_{95}^{-H} = -3,45 \cdot \tau + 25,84, \quad (11)$$

Аналіз приведених рівнянь дозволяє констатувати, що із зменшенням температури робочих газів, для встановленого режиму вологообміну, кінетична залежність вологовмісту наближається до лінійного вигляду і при температурі робочих газів меншій від $t_1 < 100\text{ }^\circ\text{C}$ набуває лінійного вигляду. Це ж саме можна спостерігати на рис.1 і 3.

Щодо впливу способу підведення робочих газів на міжфазовий вологообмін, то як видно із рис.2 і 3, швидкість сушіння зерна обох зразків (дослідного та базового) впродовж всього періоду конвективного зневоднення змінюється неоднаково. При майже

– швидкість нагрівання зерна ($d\theta_1/dt$) в перші 10 хв міжфазового тепломасообміну зменшується несуттєво (до 10%), а із подальшим нагріванням шару зерна – суттєво (до 70% і більше).

При подальшому зменшенні температури робочих газів від 75 $^\circ\text{C}$ до 50 $^\circ\text{C}$ – міжфазовий тепловологообмін зменшується ще стрімкіше.

За результатами досліджень параметрів відпрацьованих робочих газів шару зерна різної товщини та способу підведення цих газів «під тиском» встановлено таке. Із збільшенням товщини шару зерна кукурудзи вологістю $W_0=24\%$ від $h = 25\text{ см}$ до $h = 31\text{ см}$ вологість відпрацьованих газів зростає від $\varphi_2=45\dots60\%$ до $\varphi_2=60\dots75\%$, а їх температура t_2 зменшується на 20 – 25 %.

Таким чином, за показником вологовмісту (d_2) та температури відпрацьованих газів (t_2) можна стверджувати про доцільність збільшення товщини шару зерна. Проте в цьому разі зростають втрати енергії течії робочих газів на подолання аеродинамічного опору. За наведеною Б.Є Мельником формулою розрахунку опору нерухомого шару зерна [5], для шару зерна пшениці товщиною 31 см додаткові втрати енергії течії робочих газів можуть становити близько 400 Па.

Приймаючи до уваги більш складний маршрут переміщення робочих газів в сушарках вітчизняного виробництва (топкове відділення – газопроводи – газорозподільна камера – підвідні-відвідні короби – шар зерна) порівняно із сушарками провідних іноземних компаній, додаткове збільшення товщини шару зерна може ускладнити тепловологообмін окремих культур з невеликими розмірами зернин, особливо ріпаку, гірчиці, сорго, тощо.

Висновки:

1. Зі збільшенням товщини шару зерна від 22 до 31 см насиченість вологою відпрацьованих робочих газів, за встановлених Інструкцією [1] параметрів, зростає, а температура зменшується на 15 – 20 % та 20 – 25 % відповідно.

2. Змінням способу підведення робочих газів із «під нагнітанням» на «під всмоктуванням» можна прискорити масообмінні процеси до 20 % і більше, а кінетика нагрівання шару зерна залишається незмінною.

3. Зі зменшенням швидкості масообмінних процесів зменшується тріщинуватість зерен кукурудзи.

4. Із зменшенням температури робочих газів зменшується нерівномірність пошарового волого- та тепловмісту зернини, що зумовлює зменшення мікротравмування її тіла.

Література

1. Інструкція по сушінню продовольчого, кормового зерна, насіння олійних культур та експлуатації зерносушарок. – Одеса-Київ, 1997. – 72 с.
2. Лыков А.В. Тепломассообмен (Справочник). – М.: Энергия. 1972. – 560 с.
3. Малин Н.И. Энергосберегающая сушка зерна. – М.: КолосС, 2004. – 240 с.
4. Гапонюк О.І. Активне вентилування та сушіння зерна / Навчальний посібник // О.І Гапонюк, М.В. Остапчук, Г.М. Станкевич, І.І. Гапонюк. – К.: 324 с. з табл.
5. Мельник Б.Е. Применение аэрожелобов и активное вентилирование зерна на хлебоприемных предприятиях. – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР – 1976. – 40 с.

УДК 632.7/.95:631.53.02

ОСНОВНІ ШКІДНИКИ ЗЕРНОПРОДУКЦІЇ ТА СПОСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ ЇХ ЧИСЕЛЬНОСТІ

Доля М.М., д-р с.-г. наук, професор, Бондарева Л.М., канд. с.-г. наук, Бортніцький О.В., магістр
Національний Університет біоресурсів і природокористування України

Описані біолого-екологічні особливості комірнього та рисового довгоносиків. Встановлена ефективність застосування новітнього препарату Ципервіт, 25 % к. е. (діюча речовина циперметрин, 250 г/л) проти шкідників запасів.

Biology and ecology of barn and rice curculio are studied. Efficacy of new insecticide cypervit (Cypermethrin, 250 g/l) to control storage products insects is shown.

Ключові слова: шкідники, запаси, зерно, контроль чисельності, норми внесення, ефективність дії, Ципервіт, к.е.

Найважливішим завданням всього циклу виробництва зерна і зернопродуктів є не лише вирощення пшениці, збирання її у строк і без втрат, але й збереження одержаного врожаю. Адже, не є таємницею, що шкідники запасів не тільки дуже сильно впливають на якість зерна, а й можуть повністю знищити запаси зернових, якщо вчасно і в належному обсязі не вживати заходів щодо їх знищення.

Живлячись зерном, шкідники забруднюють його шкірками від ліньок, загиблими особинами, екскрементами, павутиною. Пшениця, пошкоджена комірним довгоносиком, втрачає схожість на 92 %, рисовим довгоносиком – на 75 %, борошняним хрущаком – на 53 %. Із пошкодженого зерна виходить неякісне борошно, то ж і випечений хліб є поганим. Заселене шкідниками борошно змінює свій колір, запах і смакові якості. Прогризене й пошкоджене зерно набагато швидше заселяють плісняві гриби, які,