

І.І. ГАПОНЮК, канд. техн. наук,
Національний університет харчових технологій

ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ВІТЧИЗНЯНИХ ЗЕРНОСУШАРОК

Наведено аналіз сучасного стану сушіння зерна та напрямки зменшення енергоємності сушіння зерна удосконаленням технології сушіння та вдосконалення конструкції зерносушарок і підвищення конкурентоспроможності зерносушарок вітчизняних конструкцій.

Ключові слова: зерно, волога, енергія, сушіння, режим, зерносушарка.

Приведен анализ современного состояния сушки зерна и направления уменьшения энергоёмкости сушки зерна усовершенствованием технологии сушки и конструкций зерносушилок, повышения конкурентоспособности отечественных сушилок.

Ключевые слова: зерно, влага, енергія, сушка, режим, зерносушилка.

Is given the analysis of the contemporary state of the drying of grain and direction of the decrease of the energy content of the drying of grain by the improvement of the technology of drying and constructions of grain dryers, increase in the competitive ability of domestic drying apparatuses.

Keywords: grain, moisture, energy, drying, regime, grain drying aggregate.

З огляду на те, що в структурі енерговитрат вирощування зерна частка на його сушіння складає 30...35 %, а в технології післязбиральної його обробки — 75...80 % [1, 3, 4, 6], тому зі зростанням вартості енергоносіїв все більше уваги приділяють зменшенню енерговитрат сушіння зерна.

Найбільшого практичного застосування знайшли такі енергозберігаючі заходи:

- заміна надміру енергоємних морально-застарілих зерносушарок вітчизняного виробництва енергоощадними іноземними аналогами;
- модернізація існуючих технологій сушіння і зерносушарок;
- застосування альтернативних технологій приведення зерна в стійкий стан зберігання.

Зважаючи на безальтернативність технології сушіння зерна для його тривалого зберігання і подальшого використання в суміжних зернопереробних галузях (борошномельній, круп'яній, комбікормовій, тощо) та експортних вимог щодо обмеженого вологовмісту зерна, напрямком удосконалення технології сушіння зерна є пріоритетним в заходах енергозбереження.

Сушити зерно можна різноманітними способами [1—6]. Найбільшого практичного застосування отримав конвективний спосіб із швидким перебігом тепло-масообміну в зерносушарках до заданої вологості зерна. Дещо рідше застосовують уповільнений спосіб, за допомогою систем вентилявання, та ще рідше комбінований спосіб.

У вітчизняній практиці майже все вологе зерно зібраного урожаю (ЗЗУ) сушать швидкісним способом [3, 4, 6]. Із загальної кількості зерносушарок вітчизняних зернозаготівельних підприємств (ЗЗП) найбільше, до 70 %, припадає на шахтні сушарки вітчизняного виробництва типу ДСП. Коефіцієнт корисної дії більшості цих сушарок не перевищує 40 — 45 %, а питомі витрати енергоносіїв на сушіння 1 планової тони становлять біля 12,2 кг_{у.п.}, що на 20 — 35 % перевищують цей показник аналогів провідних іноземних компаній, як Шмідт-Зінгер, Кембрія, Ріела, Метгюз-К, Фарм-Фанз, GSI, ME, тощо [3, 4, 6]. З огляду на надмірну енергоємність вітчизняної технології сушіння ЗЗУ річні втрати енергії в перерахунку на сушіння зерна зібраного

ТЕХНОЛОГІЯ

урожаю 44...46 млн т на 9...12 % можуть становити 150,5...259,4 т.т. у.п., або в перерахунку на природний газ — 138,8...239,2 млн м³.

За результатами наукових досліджень з удосконалення технології сушіння науковцями НУХТ, ОНАХТ і ПНВП «ЗЕНІД» та досвіду впровадження більшості із цих розробок на ЗПП, встановлено, що модернізацією існуючих сушарок можна зменшити їх питомі енерговитрати до 35...40 %, збільшити продуктивність на 45...55 % та кількразово зменшити рівень забруднення довкілля легкими домішками зерна. За показником разових капіталовкладень та терміну їх окупності модернізація сушарок кількразово доцільніша від придбання сушарок іноземного виробництва (див. табл.).

Показники роботи сушарок різних модифікацій

Витрати теплоти на сушіння зерна	Один. виміру	Існуюча ДСП-32от	Модернізована		Іноземного виробництва
			ДСП-32М	ДСП-32ММ	
1 пл.т.1 %	м ³ газу	1,88	1,51	1,25	0,95... 1,2
1 год роботи сушарки	м ³ газу	361	290	240	210
1 доба роботи сушарки	м ³ газу	7400	5945	4920	4305
1 сезон роботи сушарки (60 діб)	х 10 ³ м ³ газу	444	357	295	258
Економія газу за 1 сезон	х 10 ³ м ³ газу	—	65	149	186
	т.грн/сез	—	182	417	521
Затрати на модернізацію / придбання імпорт. сушарки	т.грн	—	95	145	> 1800
Термін окупності затрат	сезон	—	0,52	0,35	> 3,5

*) при ціні на природний газ 2,8 т.грн/1т.м³.

Напрямки модернізації сушарок вибрано із аналізу структури витрат теплоти сушіння зерна в шахтних зерносушарках. Так, із загальних витрат теплоти її частка на вилучення вологи із зерна в домінуючій більшості існуючих сушарок не перевищує 40...50 %. Решта 50...60 % — це втрати теплоти пов'язані із недосконалістю технології сушіння. Найбільші втрати теплоти із відпрацьованими робочими газами (РГ) (біля 30 %), на нагрівання зерна (близько 15 %), через поверхні нагрівання сушильних камер та комунікацій (близько 7 %) та недоспалювання палива в топці (близько 1 %).

Слід відмітити, що розмір цих втрат зростає із пониженням температури довкілля, зменшення вологовмісту ЗЗУ та збільшення розмірів зернин.

Зменшити енергоємність технології сушіння вітчизняних сушарок можна за такими напрямками:

1. Зміненням режимів сушіння:
 - 1.1. Встановлення низхідних режимів взамін висхідних;
 - 1.2. Переміною параметрів течії РГ відповідно для різних зернових культур.
2. Зменшенням втрат теплоти з відпрацьованими РГ:
 - 2.1. Після 2-ої сушильної зони;
 - а) підвищенням їх вологовмісту до 35...50 г/кг_{с.п.};
 - б) зменшенням їх температури до значень, що не перевищують довкілля більш як на 15...25 °С;
 - 2.2. Після зони охолодження зерна (3-ої зони):
 - а) повторним використанням їх теплоти для сушіння зерна;
 - б) зменшенням викидів у довкілля легких домішок зерна.
3. Зменшенням опору внутрішньої дифузії вологи в зерні на завершальному етапі його сушіння короткотривалим (до 4...8 хвилин) змінням градієнту температури.
4. Зменшенням пошарової в зернині і шару зерна неоднорідності сушіння.

ТЕХНОЛОГІЯ

5. Прискореним нагріванням вологого зерна із мінімальним вологообміном.

6. Застосуванням двох-етапного сушіння: швидкісне-уповільнене.

Найменш затратним напрямом модернізації є **змінення режиму сушіння**. Висхідні режими зерносушарок були встановлені на підставі аналізу досліджень термічної стійкості білково-вуглеводного комплексу зернини перемінного вологовмісту. З огляду на те, що при сушінні зерна конвективним способом, теплота РГ пріоритетно витрачається на фазові перетворення вологи поверхневих шарів зернин, тому на початковому етапі сушіння малорухомого шару зерна його температура дуже повільно зростає і цей етап може тривати від 20 до 120 хв. Оскільки за другим законом термодинаміки і формулою Ньютона (1) швидкість внутрішньої дифузії вологи в зернині та міжфазового вологообміну прямо пов'язані з температурою середовищ:

$$Q = \alpha \cdot (t_1 - t_2) \cdot F \cdot \tau \text{ звідки: } q = \alpha \cdot (t_1 - t_2) \quad (1)$$

тому для скорочення терміну нагрівання шару зерна слід змінити спосіб підведення теплоти (кондуктивний чи опроміненням), або при конвективному способі вологообміну підводити шару зерна із РГ більше теплоти від необхідної для фазових перетворень вологи поверхневих шарів зернин.

Таким чином, при сушінні зерна на початковому етапі РГ слід нагрівати до більш високих температур від встановлених існуючою «Інструкцією» [2] на 30...50 °С від температури РГ 2-ої сушильної зони.

Використання теплоти відпрацьованих РГ. При розгляді можливості використання теплоти відпрацьованих РГ необхідно приймати до уваги вплив їх підвищеного вологовмісту на тепло-вологообмінні процеси. Якщо з підвищенням вологовмісту відпрацьованих РГ (d_2), внаслідок зростання густини цих газів (c_g) і зменшення різниці парціальних тисків середовищ ($p_n - p_g$), міжфазовий теплообмін інтенсифікується (q_f), то вологообмін (q_m), або процеси сушіння зерна — суттєво погіршуються. Оскільки вологовміст відпрацьованих РГ може змінюватися в широкому діапазоні ($d_2 = 15...60$ г/кг_{с.п.}), тому в залежності від їх вологовмісту ці гази можна використовувати:

менш насичені вологою РГ — для підмішування з РГ;

більш насичені вологою РГ — для підмішування з РГ після спеціальної їх обробки (зневоднення);

різного вологовмісту — для підігрівання зерна;

Якщо порівняно невисокий вологовміст відпрацьованих РГ після зони охолодження ($d_2 < 15$ г/м³) дозволяє використовувати теплоту цих газів для подальшого їх повторного використання без значного порушення балансу вологи зерносушильного агрегату, то підвищений вологовміст відпрацьованих РГ після сушильних зон ($d_2 > 30$ г/м³) ускладнює їх повторне використання та ставить під сумнів економічну доцільність рекуперацію теплоти цих газів без їх зневоднення або використання в складних теплоутилізуючих пристроях.

В ряді публікацій наведено розрахунок вологоємнісного балансу РГ за умов повернення відпрацьованих РГ в сушильні зони або топкове відділення [1, 3, 4, 6]. За цими розрахунками при поверненні відпрацьованих РГ в зерносушильний агрегат починаючи із третього — четвертого циклу, а для роботи сушарки осінньо—зимовий період із другого, суттєво зменшиться потенціал міжфазового вологообміну і відповідно зменшиться продуктивність зерносушарки. Тому використовувати теплоту відпрацьованих РГ із підвищеним вологовмістом ($d_2 > 30...45$ г/кг_{с.п.}) поверненням їх в тепломасообмінну камеру зерносушарки без спеціальної підробки (зневоднення) технологічно недоцільно.

Підвищення потенціалу використання РГ. Відповідно Інструкції [2] параметри течії РГ для сушіння зерна різних культур, вологості і періоду роботи сушарок суттєво не відрізняються, тому очевидно, що використання потенціалу цих газів буде різним. Дослідженнями [1, 3, 4, 6] встановлено, що потенціал РГ найбільш повно використовується на початковому етапі сушіння при сушінні крупнозернистих культур із підвищеним вологовмістом. За таких умов відносна вологість відпрацьованих газів є найвищою ($u_2 = 85 - 95$ %). Із зменшенням вологовмісту поверхневих шарів зернини (поглибленням зони сушіння), зменшенням розміру зернин та підвищенням температури довкілля, відносна вологість відпрацьованих газів суттєво знижується, до $u_2 = 35...45$ %, а це основний, найбільш тривалий процес вологообміну.

Очевидно, що зміненням вхідних параметрів течії РГ (t_p, x_p) можна суттєво підвищити потенціал цих газів до 70...80% і відповідно зменшити питомі витрати теплоти сушіння зерна.

Інтенсифікація сушіння. Відомо, що рушійним потенціалом в міжфазових вологообмінних процесах є різниця парціальних тисків пари РГ і на поверхні зернини. Для умов сушіння зерна в шахтних зерносушарках рушійний потенціал збільшують підвищенням температури РГ, збільшенням швидкості пошарового переміщення вологого зерна і РГ, зміненням тиску в шпаринах шару зерна та капілярах зернини, тощо. Розрахунки та дослідження показують, що за незмінних енергії течії РГ сушіння малорухомого шару зерна в шахтній зерносушарці типу ДСП зміненням умов міжфазової взаємодії та заданих параметрів течії міжзернового простору шару зерна можна підвищити рушійний потенціал на 30...45 % . А із збільшенням розмірів зернин шару зерна ефективність нового способу вологообміну зростає.

Зменшити енергоємність до 25 % із одночасним збільшенням швидкості сушіння до 3 5 % можна також зменшенням опору внутрішньої дифузії вологи в зерні на завершальному етапі його сушіння, або (та) збільшенням вмісту заземлених в капілярах зернини газів. На основі теоретично-обґрунтованому механізмові внутрішньо-капілярної дифузії вологи капілярно-шпаруватих тіл нами розроблено спосіб управління градієнтом внутрішньо-капілярного тиску і тим самим опором дифузії вологи. Оскільки опір внутрішньої дифузії вологи на завершальних етапах сушіння зерна зростає до 6,5...8,5 кДж/кг_{вологи}, тому зміненням градієнту температури можна суттєво (до 25...35 %) зменшити усереднені питомі витрати енергії сушіння шару зерна. Обґрунтовані для виробничих умов режими сушіння зерна із застосуванням короткотривалого (до 3...8 хв) змінення параметрів РГ при зменшенні вологості зерна до 6—8 % від критичних значень (кінцевої вологості) перевірені в наближених до виробничих стендових умовах і частково апробовано для двох-етапного сушіння насіння ріпаку та зерна кукурудзи на модернізованих зерносушарках типу ДСП (див. рис. 1...5).

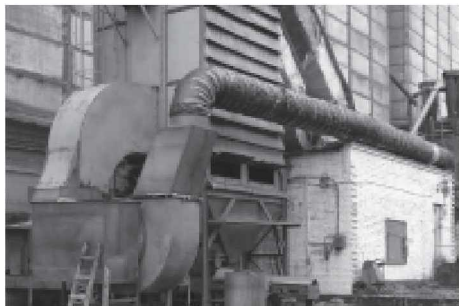


Рис.1. Зовнішній вигляд модернізованої зерносушарки ДСП-32от із рекуперацією теплоти

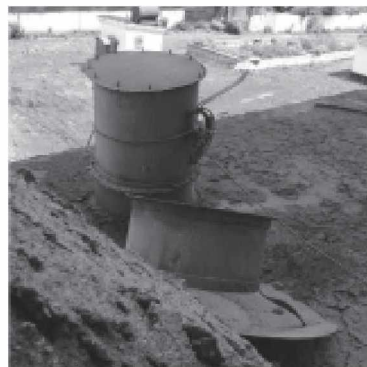


Рис. 2. Зовнішній вигляд регуляторів течії газів довкілля



Рис. 3. Модернізована зерно сушарка ДСП-32от із спадними режимами сушіння і реверсним сушінням

ТЕХНОЛОГІЯ

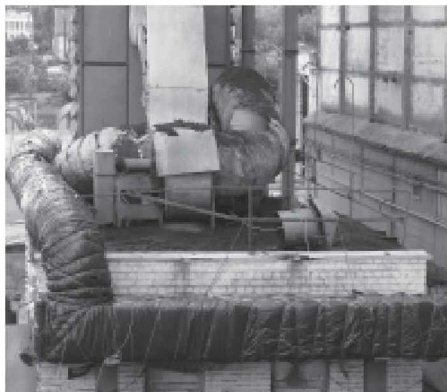


Рис. 4. Модернізована зерносушар-ка ДСП-320т із змінним способом підведення газів і рекуперацією теплоти



Рис. 5. Модернізована зерносушарка ДСП-320т із перемінними градієнтами температури

Висновки.

1. Потенціал РГ існуючих сушарок вітчизняного виробництва використовується до 40...50 %, а питомі енерговитрати перевищують аналоги зарубіжних зерносушарок сучасного виробництва на 30...45 %.
2. Модернізацією сушарок вітчизняного виробництва можна зменшити їх питомі енерговитрати на 35...40 %, збільшити продуктивність на 45...55 % та кількакратно зменшити викиди у довкілля легких домішок зерна.
3. Реверсним змінням градієнту температури та перемінними способами підведення РГ і їх параметрів можна на 20...25 % зменшити нергоємність прямотечійних зерносушарок.
4. Витрати на модернізацію сушарок вітчизняного виробництва кількакратно швидше окупуються від витрат на закупівлю сушарок іноземного виробництва.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жидко В.И. Зерносушение и зерносушилки / В.И.Жидко, В.А. Резчиков, В.С. Уколов. М.: —1982 —329 с.
2. Інструкція по сушінню продовольчого, кормового зерна, насіння олійних культур та експлуатації зерносушарок» (Одеса-Київ, 1997. — 72 с.
3. Малин Н.И. Теоретические основы технологических процессов // Хранение и переработка зерна / Н.И. Малин, Т.И. Веселовская — М.: Хлебпродинформ, 2001. — 100 с.
4. Остапчук Н.В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств: [Уч. пособие.]// — К.: Вища шк. — 1991. — 367 с.
5. Правила по организации и ведению технологического процесса на элеваторах. — М.: Министерства заготовок СССР, 1972. — 49 с.
6. Гапонюк І.І. Удосконалення технології сушіння зерна. [Монографія] — Одеса.: Поліграф, 2009. — 182 с.

Одержана редколегією 22.02.2011 р.