



# Зберігання та переробка продукції

УДК 633.15:631.53.026

© 2017

*М.Я. Кирпа,*  
доктор сільсько-  
господарських наук

*В.О. Кулик*  
Державна установа  
Інститут зернових  
культур НААН

## СПОСОБИ ЗНИЖЕННЯ ТЕПЛОВИТРАТ У ТЕХНОЛОГІЯХ СУШІННЯ НАСІННЯ КУКУРУДЗИ

**Мета.** Проаналізувати відомі способи зниження тепловитрат та розробити принципово нові, які б замінювали традиційні види палива під час сушіння і забезпечували високу якість насіння. **Методи.** Аналіз літературних даних, експериментальні, лабораторні та польові досліді.

**Результати.** Визначено способи зниження тепловитрат у процесі сушіння насіння кукурудзи в камерних кукурудзосушарках. Проведено випробування енергоощадного комплексу, який містив сушарки СКП-10, СКПМ-15, визначено його вплив на посівні якості та врожайні властивості насіння гібридів кукурудзи. **Висновки.** Для зниження тепловитрат у типових сушарках рекомендовано застосовувати реверсування і рециркуляцію теплоносія, що знижує витрату палива на 20 – 26%, повністю зберігає якість насіння. Запропоновано принципово інший напрям енергозаощадження на основі спалювання біомаси та використання нових теплогенераторів.

**Ключові слова:** сушіння насіння, сушарка камерна, енергозаощадження, посівні якості, врожайні властивості.

Сушіння насінневої кукурудзи потребує значно більших тепловитрат порівняно з іншими зерновими культурами, тому потрібен пошук і створення нових енергоощадних способів сушіння.

Відомі різні техніко-технологічні способи, спрямовані на зниження тепловитрат. До них належать двостадійне сушіння качанів із досушуванням у зерні, імпульсний режим

сушіння з чергуванням нагрівання та охолодження, сушіння за максимально допустимої температури [1–5]. На рівень тепловитрат також впливають конструкція і технічний стан топки, завантаження камер і герметизація. Однак не всі способи зниження енерговитрат забезпечують високу якість насіння.

Спосіб сушіння насіння кукурудзи в камерних сушарках, унормований чинною

інструкцією, є також досить енерговитратним [6]. Його техніко-технологічні параметри такі: температурний режим — 35–50°C залежно від вологості зерна, послідовне включення камер у роботу, безциклічний графік сушіння, зміна напрямку продування камер [5, 6]. За таких параметрів витрати енергії на випаровування 1 кг вологи становлять 8,56 МДж, а тепловий коефіцієнт корисної дії кукурудзосушарок – 35–40% від теоретично можливого.

Проблема енергозбереження в сушінні насіння кукурудзи стає дедалі актуальнішою в зв'язку з постійним зростанням вартості всіх видів енергоресурсів — дизельного палива, скрапленого і газоподібного, електроенергії. Проблема посилюється ще й тим, що виробництво насіння кукурудзи поступово переміщується в північну частину України — зону Лісостепу і Полісся, де створюються кращі гідротермічні умови вирощування, але зерно збирається надто вологим і потребує обов'язкового сушіння. З огляду на це актуальними є дослідження, спрямовані на пошук ефективних способів зниження тепловитрат у технологіях сушіння насіння кукурудзи [7–9].

**Мета досліджень** — проаналізувати відомі способи зниження тепловитрат та розробити принципово нові, які б замінювали традиційні види палива під час сушіння і забезпечували високу якість насіння.

**Методика досліджень.** Проаналізовано відомі способи зниження тепловитрат і досліджено нові на основі застосування альтернативних видів палива. Енергоощадні способи сушіння вивчали в камерних сушарках типу СКП-10 та СКПМ-15, обладнаних теплогенераторами, які працюють на твердому паливі (стрижні кукурудзи). У процесі сушіння відбирали зразки насіння для визначення його посівних якостей за методиками Державних стандартів і додатково рекомендованих Інститутом [10, 11]. Сушіння розпочинали за вологості 25–28% залежно від гібридів кукурудзи, закінчували за вологості 10–13%. Окремі зразки насіння висівали в полі для визначення його польової схожості та продуктивності за методикою проведення польових дослідів із кукурудзою [12].

**Результати досліджень.** Аналіз літературних джерел показує, що найбільш значні

дослідження щодо розроблення способів зниження тепловитрат під час сушіння насіння кукурудзи було проведено в Інституті зернових культур НААН України та Одеській національній академії харчових технологій [1–3, 5, 11]. Проте переважну кількість розробок було спрямовано на техніко-технологічну модернізацію камерних кукурудзосушарок без заміни виду палива.

До відомих способів енергоощадження належать: двостадійне сушіння, попереднє прогрівання качанів перед основним сушінням, повернення відпрацьованого теплоносія в зону сушіння (рекуперацію), застосування гранично допустимих температур, диференційований тепловий режим, реверсування (зміна напрямку теплоносія). Усі вони по-різному впливали на витрату енергоресурсів та якість сушіння.

Попереднє прогрівання ґрунтувалося на використанні підвищеної температури теплоносія на початку сушіння. Дослідами встановлено, що прогрівання за температури 50°C упродовж 6-ти год скорочує час сушіння на 7 год, збільшує швидкість вологовіддачі зерном на 10,9%, підвищує продуктивність сушарки на 22,5% порівняно з контролем — типовою технологією в звичайному режимі з поступовим підвищенням температури.

Виявлено також, що температура качанів у насипу під час прогрівання не перевищувала 39°C, а нагрівання зерна — 35°C. Тому якість насіння зберігалася — показники його лабораторної і польової схожості, урожайності були рівнозначні звичайному режиму сушіння за типовою технологією.

Інший спосіб сушіння містив диференційовані режими залежно від вологості насіння, зокрема поступово наростаючий і ступінчастий. Суть наростаючого режиму полягає в тому, що швидкість підвищення температури має відповідати вологовіддачі зерна. За ступінчастого режиму температуру теплоносія встановлюють залежно від вологості зерна качанів у крайніх шарах насипу — верхньому чи нижньому. Температуру змінюють через кожні 5–6% зниження вологості зерна.

Дослідження показали, що за допомогою диференційованих режимів можна підвищити середню температуру сушіння на 2–3°C,

**1. Питоме теплоутворення під час спалювання різних матеріалів**

Енергоматеріал	Теплоутворення, МДж/кг	Перевідний коефіцієнт до умовного палива
Паливо:		
дизельне	40–42	1,37–1,44
газоподібне	33–36	1,13–1,24
Вугілля (Донецький басейн)	26–28	0,89–0,96
Паливо рослинних матеріалів:		
качани кукурудзи	10–12	0,35–0,41
солома	12–14	0,41–0,48
лушпиння соняшникове	13–15	0,45–0,52

не погіршуючи при цьому якість насіння. Унаслідок цього продуктивність сушарки підвищується на 18–20% і більше, ніж за типових постійних режимів, рекомендованих для камерних кукурудзосушарок.

Для інтенсифікації сушіння і зниження тепловитрат рекомендували також максимально допустиму температуру теплоносія разом з його реверсуванням. За рахунок цього температуру теплоносія в камерних кукурудзосушарках можна підвищити до 50–55°C, але за умови реверсування через кожні 30 хв [4].

Загалом застосування інтенсивних температурних режимів збільшувало середню швидкість сушіння насіння кукурудзи на 20–27%, продуктивність сушильної камери — 15–21%, забезпечувало високі посівні та врожайні властивості насіння порівняно з типовим режимом. Однак режим інтенсифікації можна застосовувати лише для насіння більш термостійких гібридів кукурудзи зі збиральною вологістю зерна до 30–32%.

Істотним резервом зниження тепловитрат є також рециркуляція відпрацьованого агента сушіння, тобто його повторне повернення в зону сушіння. При цьому рециркуляцію здійснюють залежно від режиму роботи сушарки — циклічного (з одночасним сушінням та зупиненням усіх камер) та безциклічного (у режимі постійної роботи сушарки).

Сушіння в режимі рециркуляції зменшувало споживання енергоматеріалів на 26% і не погіршувало якості насіння. Його схожість і врожайність залишалися на високому рівні.

Істотне зниження енерговитрат досягалося за двостадійного сушіння насіння

кукурудзи, за якого спочатку висушували качани, а потім після їх обмолоту — зерно. Унаслідок двостадійного сушіння значно поліпшувалися техніко-економічні показники камерної кукурудзосушарки: загальна тривалість сушіння скорочувалася майже вдвічі; витрата палива зменшувалася на 40%. Проте знижувалися енергія проростання і схожість насіння внаслідок значних механічних травмувань насіння в процесі обмолоту та досушування зерна.

Принципово іншим напрямом енергоощадження є сушіння з використанням теплогенераторів, які працюють на рослинних видах палива. Останнім часом пропонується чимало теплогенераторів на рослинних видах палива потужністю 0,5–5,0 мВт, проте не всі вони придатні для сушіння насінневої кукурудзи в качанах [7, 8].

Аналіз показує, що всі теплогенератори за принципом теплоутворення слід розділити на піролізні (із закритою системою спалювання біомаси) та прямої дії (із відкритою системою). Останні мають відкриту прямоточну систему спалювання, тому їх коефіцієнт корисної дії збільшується і становить 90–95%.

На основі аналізу різних теплогенераторів нами визначено основні вимоги до їх конструкції під час сушіння насіння кукурудзи: вид палива; теплову потужність; стабільність температурного режиму; санітарно-екологічні норми, чистоту продукції; протипожежну безпеку; коефіцієнт корисної дії; матеріально-технічну характеристику (марку металу, жаростійкість, футерівку); контроль за режимом сушіння; вартість відносно теплової потужності; механізм завантаження, видалення золи та шлаку.

**2. Техніко-технологічна характеристика кукурудзосушарки СКП-10 з твердопаливним теплогенератором ТПГ-1/25, 2015–2016 рр.**

Гібрид	Маса качанів, т	Вологість, %				Швидкість сушіння, %/год	Продуктивність камери, т-%/год
		зерна		стрижня			
		до сушіння	після сушіння	до сушіння	після сушіння		
Крос 254 М	4,2	24,7	11,0	30,8	10,2	0,25	1,2
Крос 251 Мст	9,6	26,8	11,4	34,3	10,0	0,29	3,1
Крос 255 Мст	9,5	25,2	11,6	32,7	11,0	0,25	2,7
Крос 222 С	3,9	25,8	10,2	31,4	9,5	0,29	1,3
ДН Зоряна	18,4	25,1	11,4	32,1	10,5	0,25	1,8

Розраховано також теплоутворювальну здатність різних енергоматеріалів, які можуть застосовуватися в технологіях енергоощадного сушіння (табл. 1). Під час спалювання біомаси (качани кукурудзи, солома, лушпиння соняшникового) їх кількість для отримання відповідної теплової енергії має збільшуватися в 3–4 рази порівняно з традиційними видами палива. Перевідний коефіцієнт біомаси до умовного палива становить 0,35–0,52. За умовне паливо слід вважати таке, що під час згорання виділяє 29,2 МДж теплоти. Установлені нами перевідні показники рекомендується враховувати в енергоощадних технологіях сушіння та конструюванні твердопаливних теплогенераторів прямої дії.

Також проведено дослідження роботи камерної кукурудзосушарки, яку обладнано твердопаливним теплогенератором

ТПГ–1/25. Базова модель теплогенератора має оригінальну конструкцію і працює в режимі прямого згорання палива — стрижнів кукурудзи. Теплова потужність дослідних зразків теплогенераторів становила 2,0–2,5 мВт залежно від об'єму теплоносія та місткості камерних кукурудзосушарок. Техніко-технологічну характеристику кукурудзосушарки, обладнаної такими теплогенераторами, наведено в табл. 2. Швидкість сушіння на такому енергоощадному комплексі становила 0,25–0,29%/год, продуктивність однієї камери — 1,2–3,1 т-%/год.

Насіння гібридів кукурудзи, зібране з вологістю 25–28% і просушене сушаркою, укомплектованою новим теплогенератором, мало високу лабораторну і польову схожість та врожайність (табл. 3). Установлено також вплив пересушування, виявлено, що сушіння

**3. Посівні якості та врожайні властивості насіння гібридів кукурудзи після різних способів сушіння, 2015–2016 рр.**

Гібрид	Спосіб сушіння	Схожість, %			Урожайність зерна, т/га
		стандартний метод	холодний тест	польова	
Крос 267 Сст	Контроль (природний)	99	98	86	3,49
	Термічний до W-9%	99	94	79	3,53
	Термічний до W-6%	97	95	79	3,50
	Енергоощадний	97	96	85	3,54
НІР <sub>05</sub>					0,16
Крос 307 Мст	Контроль (природний)	100	98	89	3,86
	Термічний до W-9%	98	98	86	4,27
	Термічний до W-6%	98	90	87	3,66
	Енергоощадний	99	97	92	4,67
НІР <sub>05</sub>					0,24

насіння гібридів Крос 267 Сст та Крос 307 Мст до вологості 6–9% знижувало польову схожість на 2–7% залежно від гібрида. Урожайність насіння гібрида Крос 267 Сст

достовірно знижувалася лише за вологості 6%. Енергоощадне сушіння в усіх випадках забезпечувало найвищу польову схожість і врожайність.

## **Висновки**

*Визначено способи енергоощадного сушіння насіння кукурудзи в камерних сушарках типу СКП, до яких належать диференційований тепловий режим, максимумально допустима температура, реверсування і рециркуляція теплоносія, двостадійний спосіб сушіння. Із зазначених способів найбільше практичне значення мають реверсування і рециркуляція теплоносія, які знижують витрату палива на 20–26%, повністю зберігають якість насіння, не потребують*

*значного техніко-технологічного переобладнання камерних кукурудзосушарок.*

*Виявлено принципово інший напрям енергоощадження на основі спалювання біомаси та використання нових теплогенераторів, сформовано основні вимоги до їх конструкції. За сушіння на новому енергоощадному комплексі отримано кондиційне насіння гібридів і самозаплених ліній кукурудзи з високою польовою схожістю та продуктивністю.*

## **Бібліографія**

1. *Атаназевич В.И.* Сушка зерна/В.И. Атаназевич. — М.: Агропромиздат, 1989. — 240 с.
2. *Жидко В.И.* Зерносушение и зерносушилки/В.И. Жидко, В.А. Резчиков, В.С. Уколов. — М.: Колос, 1982. — 239 с.
3. *Алейников В.И.* Комплексное совершенствование процесса сушки в шахтных и камерных зерносушилках/В.И. Алейников//Наукові праці ОДАХТ. — Одеса, 2002. — Вип. 24. — С. 28–31.
4. *Науменко А.И.* Новый способ сушки семян кукурузы/А.И. Науменко, Н.Я. Кирпа, В.И. Алейников//Доклады ВАСХНИЛ. — 1986. — № 11. — С. 43–45.
5. *Кирпа М.Я.* Енергоощадні прийоми у технології сушіння насіння кукурудзи/М.Я. Кирпа, В.О. Кулик//Бюл. Ін-ту сіл. госп-ва степової зони НААН України. — Дніпро, 2016. — № 11. — С. 82–87.
6. *Инструкция по обработке гибридных и сортовых семян кукурузы на заводах.* — М.: ЦНИИТЭИ, 1971. — 83 с.

7. *Пруцький А.* Альтернатива для зерносушіння/А. Пруцький//The Ukrainian farmer. — К., 2015. — № 10 (70). — С. 100–101.
8. *Станкевич Г.* Тренди вітчизняних сушарок/Г. Станкевич//Там само. — № 11 (71). — С. 88–89.
9. *Mühlerbauer W.* Entwicklungstendenzen bei der Trocknung Kühlkonservierung und Lagerung von Getreide und Mais/W. Mühlerbauer//Die Mühle. — 1986. — Bd. 123. — № 6. — S. 266–270.
10. *Насіння сільськогосподарських культур.* Методи визначення якості: ДСТУ 4138–2002. — [Чинний від 2000-01-01]. — К.: Держспоживстандарт України, 2003. — 173 с. (Національний стандарт України).
11. *Насінництво кукурудзи:* науково-методичні рекомендації/В.Ф. Петриченко, Б.В. Дзюбецький, А.В. Черенков та ін.; за ред. Б.В. Дзюбецького. — Дніпропетровськ: Роял Принт, 2012. — 184 с.
12. *Методика проведення дослідів з кукурудзою:* метод. реком./Є.М. Лебідь, В.С. Циков, Ю.М. Паченко та ін. — Дніпропетровськ, 2008. — 27 с.

*Надійшла 3.04.2017.*