

Енергозаощаджувальні способи сушіння насіння кукурудзи

М.Я. Кирпа, доктор сільськогосподарських наук

Л.І. Рева, кандидат сільськогосподарських наук

М.О. Стюрко, аспірант

Дніпропетровський державний аграрний університет–Інститут сільського господарства степової зони НААНУ, м. Дніпропетровськ

Досліджено техніко-технологічні особливості сушіння насіння кукурудзи в камерних кукурудзосушарках, встановлено способи, які знижують витрати палива, підвищують продуктивність сушарок та забезпечують високу якість насіння. З метою модернізації існуючих, а також під час проектування нових зерносушарок рекомендується їх оснащувати їх системою рециркуляції та реверсування агента сушіння.

Кукурудза належить до пізньостиглих культур, тому її збирають з підвищеною вологістю зерна. Навіть в умовах суттєвого потепління клімату, як це спостерігається останнім часом, вологість кукурудзи при збиранні значно перевищує допустиму норму. У зв'язку з цим зібране зерно підлягає обов'язковому сушінню і якнайшвидшому доведенню до сухого безпечного стану.

Сушіння кукурудзи, як більш пізньостиглої культури порівняно з іншими зерновими культурами, потребує і більших енерговитрат, особливо тоді, коли обробляється насіння. При його сушінні мають витримуватись особливі умови: м'які температурні режими, повільне вологовипаровування, що також підвищує витрату енергоматеріалів, але вони необхідні для збереження якості насіння.

Відомі різні техніко-технологічні способи сушіння, залежно від яких змінюється рівень і структура енерговитрат. До таких способів слід віднести двостадійне сушіння качанів із досушуванням у зерні, імпульсний режим сушіння із чергуванням нагріву і охолодження, сушіння за максимально допустимої температури [1–4]. До прийомів, які побічно сприяють зниженню енерговитрат, відносяться ще й герметизація сушарок, більш повне завантаження їхніх камер. Однак не всі способи, які спрямовані на енергозаощадження, забезпечують водночас основну техніко-технологічну умову сушіння – збереження високої якості насіння.

Основний спосіб сушіння насіння кукурудзи в камерних сушарках теж є доволі енерговитратним у зв'язку з особливими умовами виконання. Його техніко-технологічні параметри такі: температурний режим 35–50 °С залежно від вологості зерна, послідовне включення камер у роботу, безциклічний графік сушіння, реверсування, тобто зміна напрямку продувки камер [5]. З урахуванням відмічених параметрів було встановлено норму споживання палива умовного до 3,36 кг на один тонно-відсоток вологи, або до 20 кг на одну

планову тонну. Розрахунки показують, що за такої норми техніко-експлуатаційні показники роботи камерної сушарки становитимуть: витрати енергії, яка потрібна на випаровування 1 кг вологи, 8,56 МДж; тепловий коефіцієнт корисної дії – 30–35 % від теоретично можливого і 55–60 % по відношенню до кращих зразків шахтних зерносушарок [6].

Проблема енергозбереження сушіння кукурудзи стає дедалі актуальнішою у 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 у північну частину України – зону Лісостепу і Полісся, де складаються кращі гідротемпературні умови вирощування, але зерно збирається надто вологим і потребує обов'язкового сушіння. Із важливості і актуальності викладеної проблеми витікає й **мета нашої роботи**: дослідити, розробити й випробувати способи сушіння кукурудзи, які б знижували витрати теплової енергії і забезпечували високу якість насіння.

Методика і методи досліджень. Робота включала проведення лабораторних, польових і експериментально-виробничих дослідів.

Посівні й врожайні властивості насіння – схожість польову, показники росту і розвитку рослин, врожайність зерна – вивчали за методикою, викладеною в рекомендаціях [9]. Досліди проводили з гібридами різної групи стиглості районованими і вирощеними в роки досліджень: Дніпровський 181СВ, Кремінь 200МВ, Любава 279 МВ, Розівський 311 СВ та інші.

У лабораторних дослідах визначали показники якості насіння – енергію проростання, схожість і силу росту за методиками, встановленими Держстандартом та рекомендованими додатково [7, 8].

В експериментально-виробничих дослідах обчислювали параметри різних способів сушіння – вологість зерна і швидкість сушіння, температурний режим, продуктивність сушарки, витрати палива і електроенергії.

Сушарки – камерного типу серії СКП-6 та СКПМ-18, вид палива – рідке та газоподібне.

Вологість зерна кукурудзи в дослідах становила 28–35 %, залежно від року вирощування і строків збирання.

Результати дослідження та їх обговорення. До заходів, які б знижували витрату палива в процесі сушіння насіння кукурудзи в дослідах, відносили попереднє прогрівання качанів, паралельну продувку камер, диференційований тепловий режим, максимально допустиму температуру, реверсування і рециркуляцію агента сушіння, у тому числі й відпрацьованого.

Попереднє прогрівання базувалося на використанні підвищеної температури агента сушіння в початковий період, оскільки зерно, що знаходиться в качані, у цей час ще нагрівається повільно. Дослідами встановлено, що прогрівання за температури 50 °С протягом 6 год скорочує час сушіння на 7 год, збільшує швидкість вологовіддачі зерном на 10,9 %, підвищує продуктивність сушарки на 22,5 % порівняно з даними контролю – типовою технологією у звичайному режимі з поступовим підвищенням температури (табл. 1).

1. Вплив прогрівання качанів під час сушіння кукурудзи на техніко-технологічні показники сушарки СКП-6 і якість насіння

Показник	Одиниця виміру	Спосіб сушіння качанів	
		контроль	з прогрівом
Технічно-експлуатаційні:			
- вологість зерна	%	32,5	33,0
- температура агента сушіння	°С	44,0	46,0
- експозиція сушіння	год.	80,0	73,0
- швидкість сушіння	%/год	0,256	0,284
- продуктивність однієї камери	т-%/год	15,1	18,5
Якість насіння:			
- схожість лабораторна	%	98	98
- сила росту	%	95	98
- схожість польова	%	90,5	88,5
- врожайність зерна	т/га	3,56	3,91

Виявлено також, що за прогрівання температура качанів у насипу не перевищувала 39 °С, а нагрів зерна – 35 °С. Тому якість насіння зберігалася – показники його лабораторної і польової схожості, урожайності були рівнозначні звичайному режиму сушіння за типовою технологією. Як показали досліди, найбільш ефективним є проведення прогрівання в сушарках з невеликою кількістю камер або коли паливно-вентиляційне відділення обслуговує 2–4, у крайньому разі 6 камер. У такому випадку прогрівання качанів співпадає з початком їх сушіння і дозволяє застосовувати оптимальні теплові режими залежно від вологості зерна.

У сушарках зі збільшеною кількістю камер прогрівання може застосовуватися лише за циклічного графіка роботи, тобто завантажуються і включаються одночасно всі камери. Після прогрівання сушарка з усіма камерами переводиться на оптимальний тепловий режим. Циклічний графік є найбільш ефективним у разі відносно невеликих обсягів сушіння, а також сушіння качанів з однорідною вологістю зерна.

Дещо іншим варіантом прогрівання є підсушування качанів, які накопичуються в бункерах тимчасового зберігання. У такому разі створюється єдина система “бункер–сушарка”, яка діє постійно по мірі сушіння в камерах і їх завантаження нагрітими качанами з бункера. Прогрівання качанів у бункері здійснювалося за допомогою відпрацьованого теплоносія, який надходив із сушарки і мав температуру 30–40 °С, відносну вологість 28–70 %. Маса качанів, які знаходилися в бункері, становила 150 тонн. Встановлено, що після 30 год нагрівання і підсушування, вологість зерна знижувалася на 3–6 %, стрижнів – на 2–4 % залежно від шару насипу качанів у бункері.

Попереднє прогрівання качанів у системі “бункер–сушарка” впливало позитивно на техніко-економічні показники роботи сушарки: скорочувалася тривалість висушування кукурудзи на 11 год, підвищувалася продуктивність сушильних камер на 11,2 %, зберігалася висока якість насіння. Однак виявлено і технічні складності здійснення такого прийому, а саме: необхідно було

проводити капітальне переобладнання бункера, здійснювати його герметизацію і з'єднання зі сушаркою. Крім того, через нерівномірне підсихання качанів ускладнювали їхнє вивантаження із бункера і досушування до рівномірної вологості в сушарці.

Результати дослідження способу сушіння качанів кукурудзи в системі “бункер–сушарка” мають інформаційний характер та можуть слугувати передумовою подальших розробок, спрямованих на енергозаощадження.

Техніко-економічні показники кукурудзосушарки залежать ще від схеми продувки чи включення в роботу сушильних камер. Для камерних кукурудзосушарок рекомендується послідовна схема, за якої агент сушіння спочатку подається в першу групу камер, де сушіння закінчується, і з неї надходить до другої групи камер, що знаходяться на початку сушіння. Вважається, що застосування такої схеми максимально зволожує і відпрацьовує агент сушіння, а його тепловий потенціал використовується найбільш ефективно. Утім на практиці одержують інше – знижується сушильна здатність агента сушіння, знижується швидкість вологовіддачі зерна в другій групі камер, зростає в цілому аеродинамічний опір у повітряній мережі, збільшується загальна тривалість сушіння. Крім того, за послідовної схеми дуже важко витримувати її основну умову – ритмічну роботу камер, а також оптимальне співвідношення між їх різними групами.

Для поліпшення умов продувки досліджували паралельну схему подачі агента сушіння, за якої він надходив в усі камери одночасно. Встановлено покращання техніко-економічних показників – посилювалася фільтрація агента сушіння в насипу качанів, підвищувалася швидкість їх сушіння, у результаті чого продуктивність камери збільшувалася на 14,8 %, ніж за послідовної схеми (табл. 2). Завдяки паралельному включенню камер також покращувалась якість насіння – його схожість і сила росту.

2. Продуктивність сушарки СКП-6 і якість насіння залежно від виду продувки сушильних камер

Спосіб сушіння	Вид продувки камер	Продуктивність камери, т-%/год	Якість насіння			
			схожість, %		сила росту	
			лабораторна	польова	сходи, %	маса 100 ростків, г
Контроль*	-	-	96	82,7	91	21,8
Термічний	паралельна	21,7	96	81,3	92	22,5
	послідовна	18,9	94	76,1	89	17,4

* Тут і в табл. 3 – природне сушіння качанів.

Основною умовою сушіння насіння кукурудзи є температурний режим, який складається в камерах сушарки. Особливо важливе значення має температура нагріву зернівки в качані, яка залежить від його термостійкості. Тому режим сушіння, який рекомендується для камерних термосушарок, було

теоретично розраховано, виходячи насамперед зі статичної і динамічної характеристики термостійкості качанів [10].

Проте аналіз показує, що умови теоретичного розрахунку не завжди співпадають з особливостями сушіння качанів на практиці: по-перше, прийнята для розрахунків температурна різниця в 4 °С між агентом сушіння і зерном буває значно іншою; по-друге, параметри сушіння (вологість і нагрів зерна, швидкість фільтрації агента) у різних місцях насипу качанів складаються неоднаковими; по-третє, термостійкість залежить ще від сортових властивостей певних форм кукурудзи. Тому температурний режим має враховувати не тільки закономірності тепломасоперенесення, а й особливості об'єкта сушіння – фізико-механічні, гігроскопічні, ботаніко-біологічні властивості насіння, а також техніко-експлуатаційні показники сушарки. Виходячи з цього, досліджували елементи диференційованого сушіння, які включали поступово наростаючий і ступінчатий температурний режими. Суть наростаючого режиму полягає в тому, що швидкість підвищення температури відповідає швидкості зниження вологості зерна. Такі умови сушіння забезпечують енергозбереження і високу якість насіння, але потребують постійного контролю за температурою і вологістю зерна за допомогою дистанційної термовологометрії.

За ступінчатого режиму температуру агента сушіння встановлюють залежно від вологості зерна качанів у крайніх шарах насипу – верхньому чи нижньому, враховуючи те, куди надходить агент. Температуру змінюють через кожні 5–6 % зниження вологості зерна, резерв збільшення температури становить 5–12 °С.

Дослідження показали, що за допомогою диференційованих режимів можна підвищити середню температуру сушіння на 2–3 °С, 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 оптимізації температурних режимів виключно важливе значення має максимально допустима температура агента сушіння, яка суттєво залежить від частоти його реверсування, тобто від зміни напрямку руху в камерах. Дослідження довели, що температуру агента сушіння в камерних кукурудзосушарках можна підвищити до 50–55 °С, але за умови реверсування через 30 хв [11].

Виявлено, що застосування інтенсивних теплових режимів збільшувало середню швидкість сушіння насіння кукурудзи на 20–27 %, продуктивність сушильної камери – на 15–21 % і забезпечувало високі посівні та врожайні властивості насіння порівняно з типовим режимом. Однак режим інтенсифікації можна застосовувати лише для насіння гібридів кукурудзи (виключаючи їхні батьківські форми), більш теплостійких, зі збиральною вологістю зерна до 30–32 % (табл. 3).

Суттєвим резервом зниження енергоспоживання є також рециркуляція відпрацьованого агента, тобто його повернення в зону сушіння. Обсяги повернення можуть бути як повними, так і частковими, залежно від вологості качанів у камерах. Для здійснення рециркуляції сушарка має бути оснащена

системою каналів для руху робочого і відпрацьованого агента сушіння. У наших дослідах найбільш ефективною виявилася двоканальна система з перекидним клапаном, яка дозволяла як повертати відпрацьований агент, так і змінювати напрямок продувки. Режим рециркуляції вивчали за різних графіків роботи сушарки: циклічного – із зупинкою на завантаження–вивантаження усіх камер і безциклічного – у режимі постійної роботи.

3. Вплив режимів і параметрів сушіння на техніко-економічні показники роботи сушарки СКП-6 і якість насіння кукурудзи

Режим сушіння	Параметр сушіння		Техніко-економічні показники		Схожість насіння, %		Врожайність зерна, т/га
	температура агента, °С	частота реверсування, хв.	швидкість сушіння, %/год	продуктивність камери, т-%/год	лабораторна	польова	
Контроль*	-	-	-	-	98	84,5	4,67
Типовий	45–50	720–1440	0,30	15,1	96	80,9	4,54
Інтенсивний	55	30	0,38	18,3	96	83,1	4,60
НІР _{0,5} 3,8 0,16							

Встановлено, що за циклічної роботи, на початку перших 20–30 год сушіння, відпрацьований агент активно зволожується, його відносна вологість становила 75–100 %, температура 15–30 °С за температури на подачі 40–45 °С. Після проходження вказаного часу відносна вологість знижувалася до 40–60 %, температура підвищувалася до 30–35 °С, тому агент можна було вже використовувати для рециркуляції.

За безциклічної роботи кожне включення камери змінювало показники відпрацьованого агента сушіння – його температура знижувалася на 5–8 °С, відносна вологість підвищувалася на 12–18 %, залежно від стану качанів у камерах. Цей період був тимчасовим і займав 5–8 год, після чого відпрацьований агент сушіння був придатним для рециркуляції з такими значеннями: відносна вологість 50–58 %, температура 31–33 °С.

Режим рециркуляції випробували в процесі роботи багатокамерної сушарки СКПМ-18, у паливному відділенні якої використовували газоподібне паливо. Вологість зерна гібридів кукурудзи, а також їх батьківських форм становила 30–35 %, контролем слугував режим сушіння з вільним виходом відпрацьованого теплоносія. Об'єм відпрацьованого агента сушіння, який повертали на рециркуляцію, залежно від вологості зерна, дорівнював 30–70 %.

Сушіння в режимі рециркуляції суттєво зменшувало споживання енергоматеріалів (табл. 4). Наприклад, витрати палива знижувалися на 26 %, електроенергії – на 5 % порівняно з даними контрольного режиму сушіння.

Повторне використання відпрацьованого агента сушіння не погіршувало якість насіння – його схожість і врожайність залишалися на високому рівні.

4. Техніко-економічні показники роботи сушарки СКПМ-18 і якість насіння кукурудзи за різних систем сушіння

Система сушіння	Техніко-економічні показники			Схожість насіння, %		Врожайність зерна, т/га
	швидкість сушіння, %/ГОД	витрати на 1 т-%		лабораторна	польова	
		паливо, МДж	електроенергія, кВт·год			
Контроль, без рециркуляції	0,28	87,9	1,50	96	82,3	7,20
Енергозаощаджувальна, рециркуляція	0,27	65,1	1,43	96	86,0	7,21
НІР _{0,5} 2,0 0,13						

Зниження витрат палива під час сушіння з рециркуляцією досягалося за рахунок використання в паливно-вентиляційному відділенні сушарки підігрітого повітря. Ним слугував відпрацьований агент сушіння, який за допомогою системи каналів повертали до сушарки. Вимірювання показало, що за рахунок рециркуляції температура газоповітряної суміші підвищувалася на 5–12 °С, унаслідок чого зменшували подачу палива у форсунку топки.

Висновки

Сушіння насіння кукурудзи належить до найбільш енерговитратних технологічних процесів післязбиральної обробки, а камерні типові кукурудзосушарки – до сушильних агрегатів з низьким тепловим коефіцієнтом корисної дії. З метою енергозаощадження та інтенсифікації процесу рекомендується ряд техніко-технологічних способів – попередній нагрів качанів і паралельна продувка сушильних камер, диференційовані температурні режими, у тому числі на рівні максимально допустимих, і рециркуляція агента сушіння. Спосіб вибирають з урахуванням теплофізичних і біологічних особливостей качанів кукурудзи, а також особливостей конструкції сушарки. Ефект енергозаощадження і інтенсифікації процесу сушіння обов'язково має відбуватися з додержанням високої якості висушеного насіння.

Для модернізації існуючих кукурудзосушарок, а також під час проектування нових рекомендується оснащувати їх системою рециркуляції і реверсування агента сушіння, яка дає можливість знижувати витрату палива на 20–26 % порівняно з показниками в разі використання типових сушарок камерного типу.

Бібліографія

1. *Атаназевич В.И.* Сушка зерна / *В.И. Атаназевич.* – М. : Агропромиздат, 1989. – 240 с.
2. *Алейников В.И.* Комплексное совершенствование процесса сушки в шахтных и камерных зерносушилках / *В.И. Алейников* // Наукові праці ОДАХТ. – Одесса, 2002. – Вип. 24. – С. 28–31.
3. *Кирпа Н.Я.* Двухстадийная сушка семян кукурузы / *Н.Я. Кирпа* // Селекция и семеноводство кукурузы: сб. науч. тр. ВНИИ кукурузы. – Днепропетровск, 1986. – С. 174–181.
4. *Станкевич Г.М.* Сушіння зерна: [підручник] / *Станкевич Г.М., Страхова Т.В., Атаназевич В.І.* – К. : Либідь, 1997. – 352 с.
5. *Жидко В.И.* Зерносушение и зерносушилки / *Жидко В.И., Резчиков В.А., Уколов В.С.* – М. : Колос, 1982. – 239 с.
6. *Кирпа Н.Я.* Методология энергосбережения при сушке высоковлажных зернопродуктов / *Н.Я. Кирпа* // Труды Международной научн.-практ. конф. / МГАУ им. В.П. Горячкина. – М., 2002. – Т. 4. – С. 83–87.
7. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості: ДСТУ 4138–2002. – [Чинний від 2000–01–01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2003. – 173 с. (Національний стандарт України).
8. *Кирпа Н.Я.* Методы оценки качества и посевной пригодности семян / *Н.Я. Кирпа* // Хранение и переработка зерна. – 2004. – № 2. – С. 21–22.
9. Методика проведення дослідів з кукурудзою: методичні рекомендації / *Лебідь Є.М., Циков В.С., Пащенко Ю.М.* та ін.]. – Дніпропетровськ, 2008. – 27 с.
10. *Теленгатор М.* Обработка и хранение семян / *Теленгатор М., Уколов В., Кузьмин И.* – М. : Колос, 1980. – 272 с.
11. *Науменко А.И.* Новый способ сушки семян кукурузы / *А.И. Науменко, Н.Я. Кирпа, В.И. Алейников* // Доклады ВАСХНИЛ. – 1986. – № 11. – С. 43–45.