

ЕНЕРГООЩАДНІ ПРИЙОМИ У ТЕХНОЛОГІЯХ СУШІННЯ НАСІННЯ КУКУРУДЗИ

М. Я. Кирпа, доктор сільськогосподарських наук

В. О. Кулик

ДУ Інститут зернових культур НААН України

Наведено аналіз відомих енергоощадних прийомів сушіння насіння кукурудзи в камерних кукурудзосушарках типу СКП. Це прогрівання качанів та паралельне продування камер, диференційований тепловий режим, максимально допустима температура, реверсування і рециркуляція теплоносія, двостадійний спосіб сушіння. Визначено принципово новий енергоощадний напрямок використання палива рослинного походження.

Ключові слова: теплове сушіння, сушарка камерна, енергоощадні прийоми, якість насіння, посівні та врожайні властивості.

Сушіння кукурудзи, особливо насінневої, потребує значно більших енерговитрат порівняно з іншими зерновими культурами. Тому пошук нових енергоощадних прийомів післязбиральної обробки кукурудзи є актуальним.

Відомо багато різних техніко-технологічних енергоощадних прийомів сушіння насіння кукурудзи: двостадійне сушіння качанів із досушуванням у зерні, імпульсний режим сушіння із чергуванням нагріву і охолодження, сушіння за максимально допустимої температури [1–3, 5]. До прийомів, які побічно сприяють зниженню енерговитрат, належать герметизація сушарок і максимальне завантаження сушильних камер. Однак вони не відповідають основній техніко-технологічній умові сушіння – збереження високої якості насіння.

Основний регламентований спосіб сушіння насіння кукурудзи в камерних сушарках теж є доволі енерговитратним через його техніко-технологічні параметри: температурний режим 35–50 °С залежно від вологості зерна, послідовне включення камер у роботу, нециклічний графік сушіння, реверсування, тобто зміна напрямку продування камер [6, 12]. З урахуванням вказаних параметрів було встановлено норму споживання умовного палива до 3,36 кг на 1 т-% вологи, або до 20 кг на 1 планову т. 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 [7].

Проблема енергозбереження стає дедалі актуальнішою у зв'язку з постійним зростанням вартості сушіння кукурудзи, а отже, і 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 кращі гідротермічні умови для її вирощування, але на час збирання культури зерно має підвищену вологість і потребує обов'язкового сушіння.

Мета роботи – проаналізувати відомі енергоощадні прийоми і розробити на їхній основі принципово нові, які б знижували витрату традиційних видів палива при сушінні кукурудзи і забезпечували високу якість насіння.

Особливості енергоощадних прийомів вивчали на основі камерних сушарок типу СКП-6, обладнаних теплогенераторами, які працюють на твердому паливі (стрижні кукурудзи). Дослідження проводилися у 2015–2016 рр. в умовах Дослідного господарства ДП «Дніпро». У ході сушіння кукурудзи відбирали зразки для визначення посівних якостей насіння за методиками Державних стандартів і додатково рекомендованих Інститутом зернового господарства [8, 9]. Сушіння розпочинали при вологості насіння 20–25 %, залежно від гібрида, і закінчували при її показниках 10–14 %. Окремі зразки насіння висівали в полі з метою визначення польової схожості та продуктивності за методикою проведення польових дослідів з кукурудзою [10].

Аналіз літературних джерел показує, що вагомі дослідження у напрямку розробки енергоощадних прийомів сушіння кукурудзи були проведені в Інституті зернових культур

(у минулому Всесоюзний НДІ кукурудзи, Інститут зернового господарства, Інститут сільського господарства степової зони) та Одеській національній академії харчових технологій [1–3, 5, 6]. Проте, слід відзначити, що більшість розробок були спрямовані лише на техніко-технологічну модернізацію камерних кукурудзосушарок, а вид палива залишався без змін.

Так, відомими енергоощадними прийомами є: двостадійне сушіння, попереднє прогрівання качанів перед основним сушінням, повернення відпрацьованого теплоносія у зону сушіння (рекуперация), застосування гранично допустимих температур, паралельне продування камер, диференційований тепловий режим, реверсування (зміна напрямку теплоносія). Всі перелічені прийоми по-різному впливали на витрату енергоресурсів та якість сушіння.

Попереднє прогрівання йде за рахунок підвищення температури теплоносія на початку сушіння, оскільки зерно в качанах у цей час нагрівається повільно. Дослідами встановлено, що прогрівання за температури 50 °С протягом 6 год. скорочує тривалість сушіння на 7 год, збільшує швидкість вологовіддачі зерном на 10,9 %, підвищує продуктивність сушарки на 22,5 % порівняно з контролем – типовою технологією у звичайному режимі з поступовим підвищенням температури (табл. 1).

1. Техніко-технологічні показники сушарки СКП-6 та якість насіння кукурудзи залежно від прогрівання качанів (за М. Я. Кирною, 2014 р.)

Показник	Одиниця виміру	Спосіб сушіння качанів	
		контроль	з прогріванням насіння
Технічно-експлуатаційні:			
- вологість зерна	%	32,5	33
- температура агента сушіння	°С	44	46
- експозиція сушіння	год.	80	73
- 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 температура качанів у насипу при прогріванні не перевищувала 39 °С, а нагрів зерна – 35 °С. Тому якість насіння була на належному рівні – лабораторна і польова схожість, урожайність відповідали показникам при звичайному режимі сушіння насіння за типовою технологією. Як показали дослідження, найбільш ефективним є прогрівання в сушарках з невеликою кількістю камер – 2 або 4-ма, у крайньому разі 6-ма.

У сушарках зі збільшеною кількістю камер прогрівання можливе лише за циклічного графіка роботи, тобто тоді, коли завантажуються і включаються в роботу одночасно всі камери. Після прогрівання сушарку переводять на оптимальний тепловий режим. Циклічний графік є найбільш ефективним у разі сушіння відносно невеликих обсягів кукурудзи, а також качанів з однорідною вологістю зерна.

Іншим варіантом є прогрівання качанів в бункерах тимчасового зберігання. У такому випадку створюється єдина система “бункер – сушарка”, яка діє постійно по мірі сушіння в камерах і їх завантаженні нагрітими качанами з бункера. Прогрівання качанів у бункері йде за рахунок відпрацьованого теплоносія, який надходить із сушарки та має температуру 30–40 °С, відносну вологість 28–70 %. Встановлено, що після 30 год. прогрівання, вологість зерна знижувалася на 3–6 %, стрижнів – на 2–4 % залежно від товщі насипу качанів у бункері.

Попереднє прогрівання качанів у системі “бункер – сушарка” позитивно впливає на техніко-економічні показники роботи сушарки: скорочується тривалість сушіння кукурудзи на 11 год., підвищується продуктивність сушильних камер на 11,2 %, зберігається висока

якість насіння. Однак виявлено і певні технічні складності такого прийому, а саме: потреба у капітальному переобладнанні бункера, його герметизації та з'єднанні з сушаркою.

Наступним енергоощадним прийомом є продування та введення в роботу сушильних камер. Інструкцією для камерних кукурудзосушарок рекомендується послідовна схема, за якої теплоносій спочатку подається в першу групу камер, де процес сушіння закінчується, а потім надходить знову до початкової групи камер. За такої схеми забезпечується максимальне відпрацювання теплоносія, однак має місце зниження швидкості сушіння, зростання аеродинамічного опору в сушарці, збільшення загальної тривалості процесу. Тому ми досліджували паралельну схему руху теплоносія, тобто коли його рух був спрямований через усі камери одночасно. Встановлено покращання технічно-економічних показників – посилення фільтрації теплоносія в насипу качанів, підвищення швидкості їх сушіння, збільшення продуктивності камери на 14,8 % порівняно з послідовною схемою (табл. 2).

2. Продуктивність сушарки СКП-6 та якість насіння залежно від особливостей продування сушильних камер (за М. Я. Кирною, 2014 р.)

Спосіб сушіння	Продування 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	Паралельне	21,7	96	81,3	92	22,5
	Послідовне	18,9	94	76,1	89	17,4

* Тут і в таблиці 3 – природне сушіння качанів.

Значний вплив на енергоощадні прийоми має температурний режим сушіння. Свого часу його особливості були визначені лише теоретично, виходячи насамперед зі статичної і динамічної характеристики термостійкості качанів [11]. Проте на практиці температурний режим не відповідав особливостям сушіння качанів кукурудзи залежно від термостійкості зерна та конструкції камерної сушарки.

Виходячи з цього, досліджували елементи диференційованого сушіння, які включали поступово наростаючий і ступінчатий температурні режими. Суть наростаючого режиму полягає в тому, що швидкість підвищення температури відповідає вологовіддачі зерна. Такі умови сушіння забезпечують енергозбереження і високу якість насіння, але потребують постійного контролю за температурою і вологістю зерна шляхом дистанційної термовологометрії. За ступінчатого режиму температуру теплоносія встановлюють залежно від вологості зерна в качанах у крайніх шарах насипу – верхньому чи нижньому. Температуру постійно змінюють при зниженні вологості зерна на кожні 5–6 %, резерв її збільшення становить 5–12 °С.

Дослідження показали, що за рахунок диференційованих режимів можна підвищити середню температуру сушіння на 2–3 °С, не погіршуючи при цьому якість насіння. Таким чином продуктивність сушарки можливо підвищити на 18–20 % і більше порівняно з типовими постійними режимами, рекомендованими для камерних кукурудзосушарок.

Для оптимізації температурних режимів виключно важливе значення має максимально допустима температура теплоносія залежно від його реверсування. Дослідження довели, що температуру теплоносія в камерних кукурудзосушарках можна підвищити до 50–55 °С, але за умови реверсування через кожні 30 хв. [12].

У цілому за рахунок інтенсивних температурних режимів середня швидкість сушіння насіння кукурудзи збільшується на 20–27 %, а продуктивність сушильної камери – на 15–21 %, забезпечуючи таким чином насінню високі посівні та врожайні властивості порівняно з типовим режимом. Однак режим інтенсифікації можливий лише для більш термостійкого насіння гібридів кукурудзи, збиральна вологість якого не повинна перевищувати 30–32 % (табл. 3).

3. Вплив режимів і параметрів сушіння на техніко-економічні показники роботи сушарки СКП-6 та якість насіння кукурудзи (за М. Я. Кирною, 2014 р.)

Режим сушіння	Параметри 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	0,3	15,1	96	80,9	4,54
Інтенсивний	55	30	0,38	18,3	96	83,1	4,6
НІР _{0,5}						3,8	0,16

Суттєвим резервом зниження енергоспоживання є також рециркуляція відпрацьованого агента, тобто його повторне повернення в зону сушіння. Однак рециркуляція залежить від роботи сушарки – циклічної (із одночасним сушінням і зупинкою усіх камер) та нециклічної (у режимі постійної роботи).

Встановлено, що за циклічної роботи, на початку перших 20–30 год. сушіння відпрацьований теплоносій активно зволожується, його відносна вологість при цьому становить 75–100 %, температура – 15–30 °С. Коли минає вказаний час, відносна вологість теплоносія знижується до 40–60 %, а його температура підвищується до 30–35 °С. Отже, такий теплоносій можна використовувати для рециркуляції.

За нециклічної роботи кожне включення камери змінює показники відпрацьованого теплоносія – його температура знижується на 5–8 °С, а відносна вологість підвищується на 12–18 % залежно від стану качанів у камерах. Цей період тимчасовий і становить 5–8 год., після чого відпрацьований теплоносій стає придатним для рециркуляції та характеризується такими показниками: відносна вологість – 50–58 %, температура – 31–33 °С.

Сушіння в режимі рециркуляції суттєво зменшує споживання енергоматеріалів (табл. 4). Наприклад, витрати палива знижуються на 26 %, електроенергії – на 5 % порівняно з даними контрольного режиму сушіння. Повторне використання відпрацьованого теплоносія не погіршує якості насіння – схожість і врожайність залишаються на високому рівні.

4. Техніко-економічні показники роботи сушарки СКПМ-18 та якість насіння кукурудзи за різних способів сушіння (за М. Я. Кирною, 2014 р.)

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	7,20	
Енергозбережна рециркуляція	0,27	65,1	1,43	96	86	7,21	
НІР _{0,5}						2,00	0,13

Суттєве зниження енерговитрат досягається шляхом двостадійного сушіння насіння кукурудзи – спочатку просушуванням качанів, а потім, після їх обмолоту, зерна. Обмолот проводили при вологості зерна 20–22 %, з наступним його просушуванням у сушарці шахтній 2ДСП-320Т до вологості 13 %. За рахунок двостадійного сушіння суттєво поліпшувались техніко-економічні показники: загальна тривалість сушіння скорочувалась майже в 2 рази, а витрата палива – на 40 %. Однак знижувались показники енергії проростання і схожості на стадії обмолоту та сушіння у шахтній зерносушарці через значне механічне травмування насіння (табл. 5). Тому впровадження двостадійного сушіння потребує вдосконалення процесів обмолоту качанів і сушіння зерна з врахуванням показників якості.

**5. Техніко-економічні показники двостадійного сушіння насіння кукурудзи
(за М. Я. Кирною, 1986 р.)**

Спосіб сушіння	Швидкість сушіння зерна, %/год.	Продуктивність камери сушарки СКП-6, т-%/год.	Витрата палива, кг/т-%	Травмованість, %	Схожість, %		Врожайність зерна, т/га
					ГОСТ	польова	
Контроль	0,277	14,9	3,5	28,9	99	85	4,90
Двостадійне	0,654	19,7	2,1	81,1	63	52	4,08

Принципово іншим енергоощадним напрямком є сушіння із використанням теплогенераторів, які працюють на паливі рослинного походження. Останнім часом в торговельній мережі України є чимало теплогенераторів, які працюють на рослинному паливі, потужністю 0,5–5,0 мВт, проте не всі вони придатні для сушіння насінневої кукурудзи в качанах. Найбільш поширені моделі теплогенераторів наведено в таблиці 6.

6. Характеристика теплогенераторів для сушіння зерна та насіння

Модель	Потужність тепла, кВт	Виробник
ТГУ	15–90	Київська обл., ТОВ “Макартех”
Дракон	10–2000	Тернопіль, Українські технологічні системи
Альтаір	500–1500	м. Вознесеньск, ПП “Альтаір”
ТГ	500	м. Кіровоград, ПАТ ”Дозавтомати”
ГТКТ (комплекс)	Під замовлення	м. Київ, ІСК GROUP
ТПГ	2000–3500	м. Дніпропетровськ, ООО Стейт

За принципом теплоутворення теплогенератори можна поділити на піролізні (із закритою системою спалювання біомаси) та прямої дії (із відкритою системою). Останні мають більший коефіцієнт корисної дії – 90–95 %.

Виходячи з аналізу технічних можливостей теплогенераторів, нами обгрунтовано основні вимоги до їх конструкції щодо сушіння насіння кукурудзи: вид палива; тепла потужність; стабільність температурного режиму; санітарно-екологічні норми, чистота продукції; протипожежна безпека; коефіцієнт корисної дії; матеріально-технічна характеристика (марка металу, жаростійкість, футеровка); контроль за режимом сушіння; вартість відносно теплової потужності; механізм завантаження; видалення золи та шлаку.

7. Питоме теплоутворення при спалюванні різних матеріалів

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

Розраховано також теплоутворювальну здатність різних енергоматеріалів, які можна застосовувати у технологіях енергоощадного сушіння (див. табл. 7). При спалюванні біомаси (качани кукурудзи, солома, лущиння соняшникове) її кількість потрібно збільшувати в 3–4 рази порівняно з традиційними видами палива. Перевідний коефіцієнт біомаси до палива умовного становить 0,35–0,52. Наведені показники необхідно враховувати при розроблянні енергоощадних технологій сушіння та конструюванні твердопаливних теплогенераторів прямої дії.

Нами проведено дослідження особливостей роботи камерної кукурудзосушарки із теплогенератором ТПГ-1/25. Базова модель теплогенератора має оригінальну конструкцію і

працює у режимі прямого згоряння палива – стрижнів кукурудзи. Теплова потужність дослідних зразків теплогенераторів становить 2,0–2,5 мВт залежно від об'єму теплоносія.

Випробування, проведені на базі насінницьких господарств, показали високі техніко-технологічні, експлуатаційні та економічні показники роботи нового теплогенератора. Насіння гібридів кукурудзи, зібране із вологістю 20–35 % і просушене в сушарці, укомплектованій новим теплогенератором, мало високу кондиційну схожість і силу росту. Польова схожість і врожайність такого насіння були на рівні контролю (насіння після оптимальних режимів сушіння в лабораторній електросушарці).

Висновки. На підставі аналізу результатів досліджень, встановлено прийоми енергоощадного сушіння насіння кукурудзи в камерних сушарках типу СКП – це прогрівання качанів і паралельне продування камер, диференційований тепловий режим, максимально допустима температура, реверсування і рециркуляція теплоносія, двостадійний спосіб сушіння. Серед відмічених прийомів найбільше практичне значення має реверсування і рециркуляція теплоносія, оскільки витрати палива зменшуються на 20–26 %, якість насіння не знижується, зникає потреба у значному техніко-технологічному переобладнанні камерних кукурудзосушарок.

Розглянуто схему енергозбереження на основі спалювання побічної біомаси і використання нових теплогенераторів. Спираючись на результати випробування теплогенераторів, обґрунтовано основні вимоги щодо їх конструкції і розраховано обсяги біомаси для сушіння відповідної кількості насіння кукурудзи. За рахунок введення в експлуатацію нового енергоощадного комплексу отримано кондиційне насіння гібридів і самозапилених ліній з високою польовою схожістю та продуктивністю.

Бібліографічний список

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* // Наук. пр. 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. *Кирпа Н. Я.* Интенсификация и энергосбережение процесса сушки семян кукурузы в камерных сушилках / *Н. Я. Кирпа* // Зернові продукти і комбікорми. – Одесса, 2014. – № 3 (55). – С. 10–15.
5. *Станкевич Г. М.* Сушіння зерна: [підручник] / *Г. М. Станкевич, Т. В. Страхова, В. І. Атаназевич.* – К.: Либідь, 1997. – 352 с.
6. *Жидко В. И.* Зерносушение и зерносушилки / *В. И. Жидко, В. А. Резчиков, В. С. Уколов.* – М.: Колос, 1982. – 240 с.
7. *Кирпа Н. Я.* Методология энергосбережения при сушке высоковлажных зернопродуктов / *Н. Я. Кирпа* // Тр. Междунар. науч.-практ. конф. / МГАУ им. *В. П. Горячкина.* – М., 2002. – Т. 4. – С. 83–87.
8. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості: ДСТУ 4138-2002. – [Чинний від 2000-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 173 с. (Національний стандарт України).
9. *Кирпа Н. Я.* Методы оценки качества и посевной пригодности семян / *Н. Я. Кирпа* // Хранение и перераб. зерна. – 2004. – № 2. – С. 21–22.
10. Методика проведення дослідів з кукурудзою: [метод. рекомендації] / [Є. М. Лебідь, В. С. Циков, Ю. М. Пащенко та ін.]. – Дніпропетровськ, 2008. – 28 с.
11. *Теленгатор М.* Обработка и хранение семян / *М. Теленгатор, В. Уколов, И. Кузьмин.* – М.: Колос, 1980. – 272 с.
12. *Науменко А. И.* Новый способ сушки семян кукурузы / *А. И. Науменко, Н. Я. Кирпа, В. И. Алейников* // Доклады ВАСХНИЛ. – 1986. – № 11. – С. 43–45.