

## O OPTYMALNYCH WARUNKACH CIEPLNYCH W PROCESIE SUSZENIA ZIARNA

A. G. CZIŻIKOW — ZSRR

W ZSRR i zagranicą do suszenia ziarna najbardziej rozpowszechnione są suszarki typu rusztowego o działaniu ciągłym. Do zalet tych suszarń należy zaliczyć: stosunkowo niewielką pojemność metalu i energii, wygodę agregatowania z maszynami do czyszczenia ziarna, możliwość odparowania znacznej ilości wody z materiału w ciągu jednego przejścia przez komorę roboczą. Wadą ich jest trudne zabezpieczenie niezbędnej równomierności suszenia ziarna, co jest skutkiem niedoskonałości wewnętrznego urządzenia rusztu.

W ZSRR przeprowadzono pracę w zakresie ulepszenia wewnętrznego urządzenia rusztów przez doprowadzenie czynnika suszącego z dwóch końców kosza, zmiany kierunku przepływu czynnika względem wysokości rusztu i grubości warstwy ziarna (suszarki SZP-0,7; SZSK-4 i in.). To zapewnia określony efekt zmniejszający nierównomierność suszenia, lecz komplikuje konstrukcję suszarń.

Wskaźniki techniczno-ekonomiczne i jakościowe pracy suszarń do ziarna mogą być również w znacznym stopniu ulepszone przez zastosowanie odpowiednich warunków suszenia.

Najważniejszym parametrem w procesie suszenia, określającym jakość pracy i wydajność suszarki, jest temperatura nagrzania materiału. Intensywność parowania wody jest wprost proporcjonalna do różnicy ciśnień cząstkowych pary nad materiałem oraz w czynniku suszącym. Cząstkowe ciśnienie pary nad materiałem jest funkcją temperatury. Dlatego przy suszeniu powinno się ją podtrzymywać na maksymalnie dopuszczalnym poziomie.

Suszenie ziarna może być również intensyfikowane przez podniesienie prędkości przepływu czynnika suszącego w warstwie ziarna. Zwykle prędkość utrzymywana jest na poziomie maksymalnie możliwym. W suszarkach rusztowych ich wielkość ogranicza uzyskanie pełnowartościowych nasion z odprowadzających koszy.

Dopuszczalna temperatura nagrzania ziarna zależy od jego wilgotności i czasu trwania w stanie nagrzanym. Dla jej określenia S. D. Pticyń zaproponował następujący wzór:

$$t_{ng} = \frac{2350}{37 + 0,63W} + 20 - 10 \lg \tau,$$

gdzie:  $W$  — wilgotność materiału, %,

$\tau$  — czas oddziaływania temperatury, min.

Przy wykorzystaniu podanego wzoru dla suszarń należy uwzględniać nierównomierność temperatury i wilgotność materiału. Dla większości suszarń dopuszczalną temperaturę można obliczać według początkowej wilgotności, natomiast dla suszarń o cienkiej warstwie ziarna — według półsumy wilgotności początkowej i końcowej.

Od temperatury nagrzewania materiału i prędkości przepływu czynnika suszącego zależy wielkość tzw. granicznie dopuszczalnego odparowania wody. W nasionach niektórych upraw, na przykład motylkowo-zbożowych, przy odparowaniu ponad 3-4% wody w ciągu godziny suszenia, zachodzą zmiany fizykochemiczne, powodujące uszkodzenia strukturalnej całości okrywy i, co za tym idzie, obniżenie jakości. Granicznie dopuszczalne odparowanie wody należy uwzględniać w pierwszej kolejności przy doborze warunków suszenia nasion, które narażone są na pękanie przy suszeniu (ryż, groch, bób itp.).

Temperatura czynnika suszącego, zależna od konstrukcji suszarki oraz własności technologicznych materiału, powinna zapewniać nagrzanie ziarna przy suszeniu do granicznie dopuszczalnej wielkości. Przy suszeniu, w związku z obniżaniem wilgotności ziarna, jego odporność termiczna wzrasta. To pozwala zalecać zmienne temperatury czynnika suszącego. W ostatnich latach przeprowadzono wiele badań dla uzasadnienia zmiennych warunków procesów suszenia ziarna, w celu ich intensyfikacji. Jednak badania te wykonano stosując różne metodyki, co utrudnia wybór optymalnego wariantu.

Dla uzasadnienia optymalnych warunków suszenia niezbędne jest konsekwentne rozwiązanie następujących problemów:

- określenie zakresu możliwej intensyfikacji procesu,
- określenie zależności czasu trwania procesu od parametrów suszenia,
- ocena warunków według poniesionych nakładów.

W Zakładzie Suszarnictwa WIM, uwzględniając wymienione etapy, przeprowadzono ocenę trzech wariantów cieplnych suszenia: stałego, dwustopniowego „wzrastającego” i dwustopniowego „malejącego”. Stopniowe warianty suszenia mogą być realizowane w suszarniach dwu- lub jednokomorowych, usytuowanych kolejno.

Przy prowadzeniu doświadczeń początkowo określano czas niezbędny do suszenia ziarna pszenicy do wilgotności od 28 do 14%, w zależności od temperatury czynnika suszącego. Później ustalono wpływ temperatury czynnika na nasienne właściwości ziarna przy różnym obniżeniu wilgotności. Na ostatnim etapie ziarno suszono do określonej wilgotności pośredniej 24, 21 i 18%, później mieszano, chłodzono w ciągu 5 min i suszono do wilgotności 14%, tj. imitowano suszenie ziarna w kilku stopniach.

Grubość warstwy nasion i prędkość przepływu czynnika suszącego przy wyjściu z warstwy we wszystkich doświadczeniach były jednakowe, równe  $h = 120$  mm oraz  $v = 0,5$  m/s. Otrzymane rezultaty podano w tabeli 1.

Z tabeli 1 wynika, że dopuszczalna temperatura czynnika wynosi 55°C. Przekroczenie tej temperatury nawet o 5°C prowadzi do obniżenia energii kiełkowania z 89

Tabela 1

Wyniki doświadczeń z suszeniem ziarna pszenicy w stałych warunkach

Wskaźnik	Temperatura czynnika suszącego				
	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C
Początkowa wilgotność ziarna, %	28,0	28,0	28,0	27,8	27,8
Końcowa wilgotność ziarna, %	14,0	14,0	13,9	13,4	13,6
Czas suszenia przy $W_k = 14\%/min$	131,5	109,6	103,0	82,6	73,9
Średnia prędkość suszenia, %/min	0,107	0,128	0,136	0,169	0,190
Energia kiełkowania, %	90	89	72	56	46
Kiełkowanie, %	97	94	90	80	73

do 72%, natomiast kiełkowania — z 95 do 90%. Stąd, dla stałych warunków suszenia, za maksymalnie dopuszczalną średnią prędkość suszenia (przy obniżeniu wilgotności z 28 do 14%) można uznać 0,128-0,130%/min. Z tą wielkością można porównać średnie prędkości suszenia ziarna nasiennego przy suszeniu stopniowym.

W tabeli 2 podano dane dotyczące stopniowego suszenia ziarna, zabezpieczające prędkość suszenia, zbliżoną do maksymalnie dopuszczalnej przy stałych warunkach.

Analiza tabeli 2 wykazuje, że warunki suszenia stopniowego przy malejącej temperaturze (60-55°C) są wystarczająco niezawodne z punktu widzenia zachowania jakości materiału (energia kiełkowania obniżyła się mniej więcej o 10%). Zachowany

Tabela 2

Wyniki doświadczeń z suszeniem ziarna pszenicy przy suszeniu stopniowym

Temperatura czynnika suszącego, °C		Obniżenie wilgotności ziarna, %		Energia kiełkowania, %	Czas trwania suszenia, min	Średnia prędkość suszenia, %/min
stopień suszenia						
I	II	I	II			
50	55	z 28 do 24	z 24 do 14	92	98	0,143-0,136
		z 28 do 21	z 21 do 14	91	110	0,127-0,121
		z 28 do 18	z 18 do 14	93	125	0,112-0,102
50	60	z 28 do 24	z 24 do 14	84	91	0,154-0,146
		z 28 do 21	z 21 do 14	81	104	0,134-0,128
		z 28 do 18	z 18 do 14	85	120	0,116-0,112
60	55	z 28 do 24	z 24 do 14	84	114	0,123-0,117
		z 28 do 21	z 21 do 14	80	96	0,146-0,130
		z 28 do 18	z 18 do 14	81	108	0,130-0,124

U w a g a: 1. Energia kiełkowania próbki kontrolnej wynosiła 89%. 2. Średnią prędkość suszenia określono z uwzględnieniem czasu chłodzenia między stopniami.

jest tu warunek podniesienia temperatury nagrzania ziarna ze wzrostem odporności termicznej — w miarę obniżania się wilgotności. Pod względem prędkości suszenia sposób ten nie wykazuje przewagi nad innymi. Zachowanie właściwości nasiennych oraz maksymalnej prędkości suszenia zapewniają warunki suszenia przy „rosnącej” temperaturze czynnika suszącego ( $50 + 55^{\circ}\text{C}$  oraz  $50 + 60^{\circ}\text{C}$ ), pozwalające podnieść temperaturę ziarna ze zmniejszeniem jego wilgotności.

Ustalono, że czas zmiany temperatury czynnika suszącego, tj. wzajemny stosunek wielkości początkowego i następnego ubytku wody nie ma istotnego wpływu na jakość nasion. Z punktu widzenia zabezpieczenia największej wydajności suszarki, zmiany te należy przeprowadzać jak najwcześniej. Najmniejszy ubytek wody, po którym można podnieść temperaturę czynnika suszącego, wynosi 3-4%.

Suszenie we „wzrastającej” temperaturze ma dużą perspektywę z punktu widzenia dalszej automatyzacji procesu suszenia. W zautomatyzowanych suszarkach temperatura nagrzania materiału powinna stale odpowiadać jego wilgotności.

Porównanie stopniowanego suszenia w warunkach „wzrastającej” temperatury z suszeniem w stałej temperaturze przeprowadzone w skali laboratoryjnej i przemysłowej wykazało, że stosowanie dwustopniowego suszenia zwiększa jego prędkości o 10-15%. Zwiększenie ilości stopni podniesienia temperatury czynnika suszącego doprowadzi do dalszego zwiększenia prędkości suszenia ziarna.

Ostateczną ocenę optymalnych warunków suszenia należy przeprowadzać według kryterium ekonomicznego, uwzględniającego poniesione nakłady na suszenie jednostki produkcji

$$Z_n = \frac{A + R + C_{\text{obs}} + C_{\text{pal}} + C_{\text{en}} + \varepsilon K}{Q},$$

gdzie:

$A, R, C_{\text{obs}}, C_{\text{pal}}, C_{\text{en}}$  — odpowiednio nakłady na amortyzację, remont bieżący, wy-płaty, paliwo oraz energię elektryczną, w rublach,

$\varepsilon$  — normatywny współczynnik efektywności inwestycji,

$K$  — suma inwestycji na urządzenia suszarnicze w rublach,

$Q$  — sezonowa wydajność urządzenia suszarniczego,  $t$ .

W tabeli 3 podano wyniki oceny różnych sposobów suszenia według podanych nakładów, obliczone dla suszarni ziarna o wydajności 8 t/godz.

Ocena porównywanych sposobów suszenia według kryterium ekonomicznego wykazuje, że „wzrastające” stopniowane suszenie w porównaniu ze stałym, obniża nakłady o 15-20%, tj. w przybliżeniu proporcjonalnie do zwiększenia prędkości suszenia ziarna. W ten sposób ocena dwustopniowych metod suszenia według kryterium ekonomicznego również potwierdza ich przewagę w porównaniu z jedno-stopniowymi (stałymi).

Przy wyborze warunków cieplnych suszenia dla suszarni rusztowych należy uwzględnić, że pewna część materiału nagrzewa się w wyniku kontaktu z powierzchniami przewodów doprowadzających, których temperatura przy ustalonym procesie jest zbliżona do temperatury czynnika suszącego. Masa ziarna poddawane go kontaktom oraz czas kontaktu zależą od prędkości i równomierności ruchu ziarna na

Tabela 3

Dane porównawcze różnych sposobów suszenia według podanych nakładów

Wskaźniki	Temperatura czynnika suszącego, °C						
	stałe warunki suszenia				stopniowane warunki suszenia		
	50	55	65	70	50-55	50-60	60-55
Czas potrzebny do obniżenia wilgotności od 28 do 14%, godz	2,20	1,83	1,38	1,23	1,21	1,00	1,00
Podane nakłady, rub./t	4,20	3,75	3,22	3,04	3,29	3,16	3,33

ruszcie, wymiaru i liczby koszy. Przy małych prędkościach ruchu materiału oraz obecności stref zastoju, nagrzewanie podstawowej warstwy ziarna, stykającego się z koszami doprowadzającymi, odbywa się przeważnie kondukcyjnie. W tym przypadku zarodek ziarna może ulec oparzeniu, co wywoła następnie obniżenie jakości nasiennej.

W Zakładzie Suszarnictwa WIM badano wpływ temperatury i czasu nagrzewania kontaktowego na jakość nasion. Doświadczenia przeprowadzono przy temperaturze powierzchni kontaktowej 60, 65, 70 i 80°C, odpowiadającym temperaturom czynnika suszącego w suszarkach rusztowych przy suszeniu ziarna nasiennego. Początkowa wilgotność nasion pszenicy wynosiła 17, 23 i 29%. Ekspozycję suszenia dobierano w ten sposób, żeby dla każdego warunków temperatury i początkowej wilgotności materiału otrzymać obniżenie jego właściwości nasiennych.

Ustalono, że przy temperaturze powierzchni kontaktu 80°C, obniżenie właściwości nasiennych obserwuje się przy wszystkich początkowych wilgotnościach ziarna, nawet przy małych ekspozycjach nagrzewania (1-6 min). Przy temperaturze 70°C właściwości nasienne zachowują się w ziarnie o początkowej wilgotności 23,1% dla ekspozycji nagrzewania nie przekraczającej 15 min, oraz ziarna o wilgotności 17,4% — dla ekspozycji nie przekraczającej 35 min. Przy temperaturze 65°C obniżenie nasiennych właściwości zachodzi w ziarnie o wysokiej wilgotności początkowej, zaś przy temperaturze 60°C dobra jakość nasion zostaje zachowana w przypadku wszystkich początkowych wilgotności i ekspozycji nagrzewania 30-150 min.

W ten sposób, bezpiecznymi temperaturami czynnika suszącego w suszarkach rusztowych, przy których właściwości siewne ziarna nagrzewanego kondukcyjnie zostają zachowane, są temperatury 60-65°C. Są one zbliżone do dopuszczalnych temperatur czynnika suszącego, określonych dla warunków konwekcyjnego nagrzewania nasion.

Masa ziarna, która ulega kontaktowaniu w jednostce czasu może być określona według następującego wzoru:

$$M = 2 l q K' \bar{v},$$

gdzie:

$l$  — długość kosza, m,

$q$  — ciężar nasion, układających się pojedynczą warstwą na powierzchni 1 m<sup>2</sup>, kg/m<sup>2</sup>,

$K'$  — liczba doprowadzających koszy,

$\bar{v}$  — średnia prędkość ruchu ziarna w ruszcie suszarni, m/s.

W tabeli 4 podano wyniki obliczeń masy nasion, które uległy kontaktowaniu i czas ich kontaktowania się z powierzchnią jednego kosza dla rusztowych suszarni ziarna T-662, SZSK-4 i SZS-8, różniących się kształtem i rozmieszczeniem koszy, oraz wydajnością wynoszącą odpowiednio 2, 4 i 8 t/godz.

Tabela 4

Dane dotyczące parametrów kontaktowego suszenia ziarna w suszarkach rusztowych

Symbol suszarki	Czas przebywania nasion w komorze suszenia przy projektowanej przepustowości suszarni, godz	Średnia prędkość ruchu nasion w komorze suszenia m/godz	Masa nasion, która ulega kontaktowi z doprowadzającymi koszami, kg/godz	Czas kontaktu nasion z powierzchnią jednego kosza, min	Obszar zewnętrznej powierzchni doprowadzających koszy, m <sup>2</sup>
T-662	1,50	1,33	3,40	5,7	15,4
SZSK-4	1,25	2,40	460	4,1	17,7
SZS-8	1,13	4,40	2470	2,4	47,0

Wykorzystując dane z tabeli 4 można obliczyć, że w stosunku do projektowanej przepustowości ogólna masa nasion, która ulega kontaktom, wynosi: w suszarce T-662 — 28,3; SZSK-4 — 19,3; SZS-8 — 51,5%. Minimalny czas kontaktowania z powierzchnią jednego kosza wynosi 5,7, 4,1 i 2,4 min. Przy temperaturze czynnika suszącego 70-80°C, taki czas kontaktowania może doprowadzić do obniżenia właściwości nasiennych.

Dopuszczalny czas kontaktowania (pod warunkiem, że ziarno z powierzchni górnych koszy będzie trafiało na powierzchnię niżej położonych) dla danych suszarni wyniesie odpowiednio 45,6, 41 i 50,4 min. Przy czym proporcjonalnie zmniejszy się masa ziarna, która ulega kontaktowaniu. W związku z tym korzystniejsze byłoby stosowanie koszy dwubocznych.

## ОБ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМАХ СУШКИ ЗЕРНА

А. Г. ЧИЖИКОВ — СССР

### Резюме

Показаны предпосылки и последовательность определения оптимального теплового режима сушки. Установлено преимущество ступенчатых „восходящих” режимов сушки по сравнению с постоянными и ступенчатыми „нисходящими”. Определены допустимые температуры теплоносителя, обеспечивающие сохранность семян при контактном нагреве.

## OPTIMAL THERMAL CONDITIONS IN GRAIN DRYING PROCESSES

CHIIKOV A. G. — Soviet Union

## S u m m a r y

The basical parameters of grain and seed drying in conventional driers were discussed as well as the possibilities of drying process intensification without deterioration of grain viability. The investigations of grain drying process were conducted at the three systems of drying agent temperature: constant temperature, gradually increasing temperature and gradually decreasing temperature. When drying of grain at the gradually increasing temperature system the most sufficient technological and economical indexes were obtained.

Also the drying agent temperatures permissible at contact heating of grain of various moisture content were determined.

ÜBER DIE OPTIMALEN WÄRMEBEDINGUNGEN IN DEM  
KÖRNERTROCKNUNGSVORGANG

A. G. TSCHISCHIKOV — Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken

## Z u s a m m e n f a s s u n g

Es wurden die Trocknungsparameter der Korn — und Saatgut in Konvektionstrockner besprochen und auch die Möglichkeit der Steigerung der Trocknungseffektivität, ohne die Saatgut Beschädigung. Man hat den Einfluss der konstanten — aufsteigender — und abnehmender Temperatur der Trocknungsgase geprüft. Die besten Resultate hat man bei der aufsteigender Temperatur der Trocknungsgase erreicht. Man hat auch die zulässige Temperaturen für die Getreide mit verschiedener Feuchtigkeit bei der Kontakttrocknung festgestellt.