

WYKORZYSTANIE KONCEPCJI STRUMIENIA WILGOCI DO OBLICZEŃ PROCESU SUSZENIA FLUIDYZACYJNEGO

J. PABIS — Polska

Badania nad przebiegiem procesu suszenia fluidyzacyjnego ziarna pszenicy, rzepaku i nasion grochu okrągłego pozwoliły na opracowanie równań umożliwiających obliczanie wartości strumienia wilgoci w zależności od temperatury nagrzania warstwy ziarna oraz od zawartości wody w ziarnie. Równania dla wymienionych drobnoziarnistych produktów rolniczych posiadają ogólną postać

$$m_v = A \exp(B \cdot u + C \cdot t_w), \quad (1)$$

w którym:

A, B, C — współczynniki zależne od rodzaju suszonego ziarna i nasion,

u — zawartość wody w ziarnie, w kg H₂O/kg s.m.,

t_w — temperatura nagrzania warstwy ziarna, w °C.

Podczas suszenia fluidyzacyjnego temperatura nagrzania warstwy ziarna i nasion jest praktycznie biorąc stała, natomiast zawartość wody w ziarnie maleje ze wzrostem czasu suszenia. W związku z tym celowe jest posługiwanie się podczas obliczeń strumienia wilgoci w praktyce inżynierskiej średnimi wartościami strumienia wilgoci w zakresie zawartości wody od $u = u_1$ do $u = u_2$.

Średnia wartość strumienia wilgoci wyraża się równaniem

$$\bar{m}_v = - \frac{A}{u_1 - u_2} \int_{u_1}^{u_2} \exp(B \cdot u + C \cdot t_w) du. \quad (2)$$

Po całkowaniu otrzymamy równanie

$$\bar{m}_v = \frac{A \cdot e^{C \cdot t_w}}{B(u_1 - u_2)} [e^{B \cdot u_1} - e^{B \cdot u_2}]. \quad (3)$$

Wartości współczynników A, B, C w zależności od rodzaju ziarna zestawiono w tabeli.

Obliczenie objętości komory suszenia suszarki fluidyzacyjnej zajętej przez ziarno polega na wyznaczeniu średniej wartości strumienia wilgoci \bar{m}_v dla założonych parametrów, a mianowicie: dla początkowej u_1 i końcowej u_2 zawartości wody, temperatury nagrzania warstwy ziarna t_w oraz przepustowości suszarki \dot{M}_2 w kg/h.

Wartość współczynników A , B , C w zależności od rodzaju ziarna

Rodzaj ziarna	Wartość współczynników			Zakres stosowania
	A	B	C	
Pszenica Wysokolitewka	0,915	11,18	0,0469	0,100 kg H ₂ O/kg s.m. $\leq u \leq 0,300$ kg H ₂ O/kg s.m. $40^{\circ}\text{C} \leq t_w \leq 80^{\circ}\text{C}$
Rzepak Krzeszowicki	2,83	14,00	0,037	0,050 kg H ₂ O/kg s.m. $\leq u \leq 0,200$ kg H ₂ O/kg s.m. $40^{\circ}\text{C} \leq t_w \leq 80^{\circ}\text{C}$
Groch Victoria	0,0425	18,78	0,0565	0,150 kg H ₂ O/kg s.m. $\leq u \leq 0,250$ kg H ₂ O/kg s.m. $40^{\circ}\text{C} \leq t_w \leq 80^{\circ}\text{C}$

Między objętością komory suszenia zajętej przez ziarno V_k , strumieniem wilgoci \bar{m}_v a masą wody \dot{W} , jaką można odparować w komorze suszenia w ciągu godziny, zachodzi związek przedstawiony równaniem

$$\dot{W} = \bar{m}_v \cdot V_k, \quad (4)$$

w którym:

\dot{W} — masa odparowanej wody, w kg H₂O/h,

\bar{m}_v — strumień wilgoci, w kg H₂O/m³ h,

V_k — objętość komory suszenia zajęta przez ziarno, w m³.

Objętość komory suszenia V_k zajętej przez ziarno obliczamy z równania

$$V_k = \frac{\dot{W}}{\bar{m}_v}. \quad (5)$$

Dla konstrukcji suszarek fluidyzacyjnych, jak również prac badawczych oraz eksploatacji suszarek, bardzo ważne zagadnienie stanowi możliwość obliczania czasu suszenia, zarówno dla suszarek o działaniu ciągłym, jak i dla suszarek o działaniu okresowym.

Dla wyznaczonej średniej wartości strumienia wilgoci \bar{m}_v i zadanej przepustowości suszarki \dot{M} , średni czas suszenia podczas suszenia fluidyzacyjnego obliczamy z równania

$$\Theta_s = \frac{2\dot{M}_1 \gamma_z (w_1 - w_2) (1 - 1,1p)}{\bar{m}_v (\dot{M}_1 + \dot{M}_2) (100 - w_2)} = \frac{2\dot{M}_2 \gamma_z (w_1 - w_2) (1 - 1,1p)}{\bar{m}_v (\dot{M}_1 + \dot{M}_2) (100 - w_1)}, \quad (6)$$

w którym:

\dot{M}_1 i \dot{M}_2 — przepustowość suszarki dla ziarna wilgotnego i wysuszonego, w kg/h,

w_1 i w_2 — wilgotność początkowa i końcowa ziarna, w %,

- γ_z — masa właściwa ziarna, w kg/m^3 ,
- p — porowatość nieruchomej warstwy ziarna.

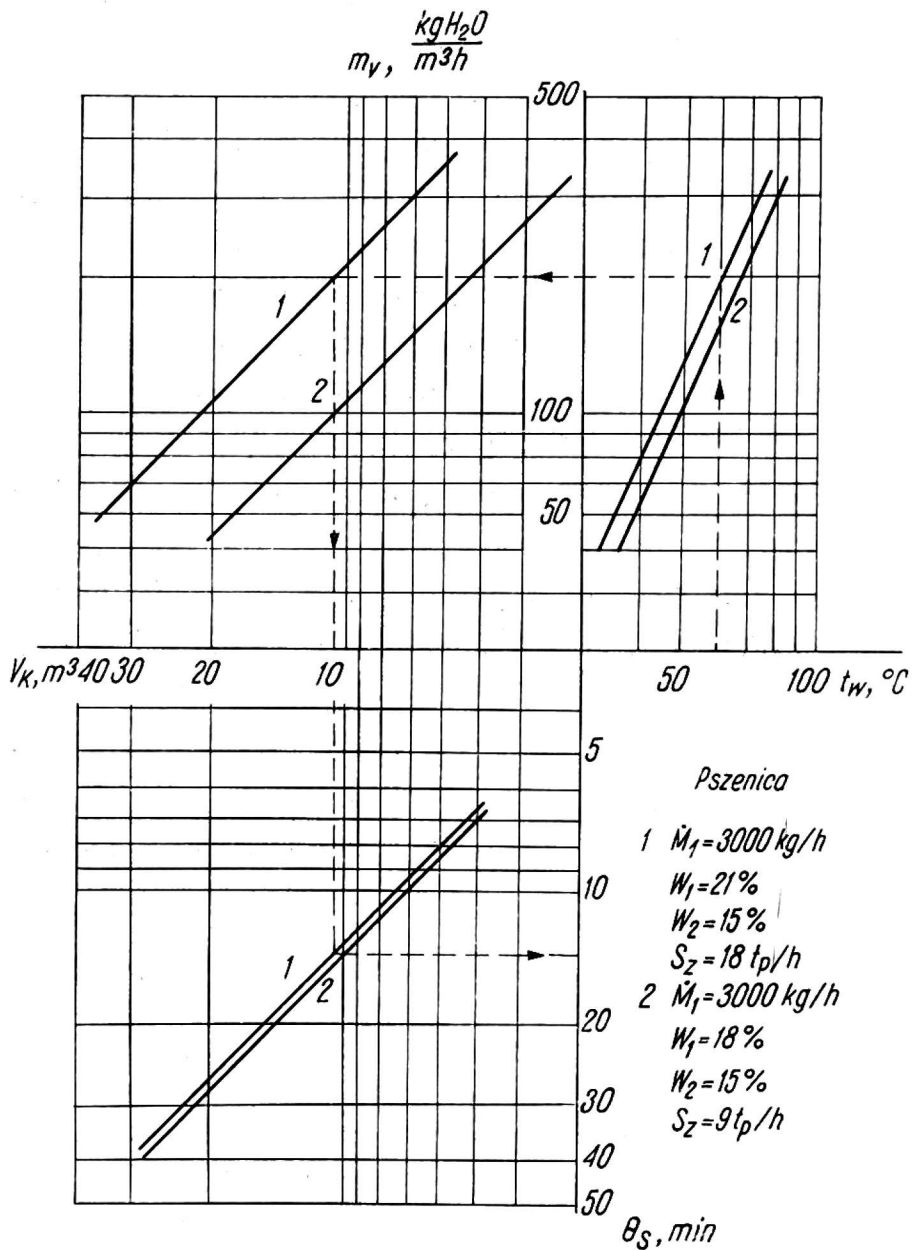
Równanie to możemy wyrazić w zależności od zawartości wody

$$\Theta_s = \frac{2\dot{M}_1 \gamma_z (u_1 - u_2) (1 - 1,1p)}{\bar{m}_v (\dot{M}_1 + \dot{M}_2) (1 + u_1)} = \frac{2\dot{M}_2 \gamma_z (u_1 - u_2) (1 - 1,1p)}{\bar{m}_v (\dot{M}_1 + \dot{M}_2) (1 + u_2)}, \quad (7)$$

w którym u_1 i u_2 — początkowa i końcowa zawartość wody, w $\text{kg H}_2\text{O/kg s.m.}$

W przypadku okresowego suszenia, kiedy suszarnia nie jest sukcesywnie zasilana ziarnem, w miejsce końcowej zawartości wody u_2 należy do równania (7) podstawić

Nomogram do obliczania objętości komory suszenia zajętej przez ziarno pszenicy oraz czasu suszenia



zawartość wody $u(\Theta)$, jako tzw. zmienną bieżącą zależną od czasu suszenia. Zamiast średniej wartości strumienia wilgoci \bar{m}_v dla danego obniżenia wilgotności ziarna należy wstawić do równania (7) chwilową wartość strumienia wilgoci wyrażoną równaniem (1). Czas suszenia w suszarkach o działaniu okresowym obliczamy z równania

$$\Theta(u) = \frac{\gamma_z (u_1 - u) (1 - 1,1p)}{A \exp(B \cdot u + C \cdot t_w) (1 + u)} \quad (8)$$

Różniczkując równanie (8) względem zawartości wody otrzymamy pochodne funkcji odwrotnej do funkcji, która określa szybkość suszenia. Stąd łatwo znaleźć równanie dla szybkości suszenia. Ma ono postać

$$\frac{du}{d\Theta} = - \frac{A(1+u)^2 \exp(B \cdot u + C \cdot t_w)}{\gamma_z(1-1,1p) \{1 + [1 + B(1+u)](u_1 - u)\}} \quad (9)$$

Przedstawiona metoda obliczania procesu suszenia fluidyzacyjnego badanych produktów rolniczych jest łatwa do praktycznego zastosowania. Stosowane do obliczeń równania uwzględniają charakterystyczne parametry procesu suszenia w zakresie wymaganych przez technikę i praktykę suszarniczą, oraz wpływ podstawowych parametrów suszonego produktu. Proponowana do obliczeń metoda może być również zastosowana do opracowania nomogramów pozwalających na wyznaczenie dla zadanych parametrów suszenia objętości komory suszenia zajętej przez ziarno. Dla przykładu, na rysunku przedstawiono nomogram opracowany dla ziarna pszenicy. Nomogram ten, oprócz ułatwienia i przyspieszenia obliczeń, pozwala na jednoczesne prześledzenie wpływu poszczególnych parametrów na zmiany wartości strumienia wilgoci, objętości komory suszenia zajętej przez ziarno oraz czasu suszenia. Za podstawę obliczeń nomogramu przyjęto przepustowość suszarki $\dot{M}_1 = 3000$ kg/h, wilgotność początkową $w_1 = 21\%$ i końcową 15% dla ziarna przeznaczonego na przetwórstwo; oraz przy tej samej przepustowości — wilgotność początkową $w_1 = 18\%$ i końcową 15% dla ziarna siewnego. Dla założonych parametrów i temperatury nagrzania warstwy znajdujemy z nomogramu wartość strumienia wilgoci m_v , objętość komory suszenia zajętej przez ziarno oraz czas suszenia.

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУИ ВЛАГИ ДЛЯ РАСЧЁТОВ ПРОЦЕССОВ СУШКИ В КИПЯЩЕМ СЛОЕ

Я. ПАБИС — Польша

Резюме

Исследования хода процесса сушки в кипящем слое зерна пшеницы, рапса и семян круглого гороха разрешили вывести уравнения, дающие возможность рассчитать величину струи влаги в зависимости от температуры нагрева слоя зерна, а также от содержания воды в зерне.

Во время сушки в кипящем слое температура нагрева слоя зерна и семян является, подходу с практической точки зрения, постоянной, содержание же воды в зерне уменьшается по мере увеличения времени сушки. В связи с этим является целесообразным пользоваться во время расчёта струи влаги в инженерной практике средними величинами струи влаги в области влагосодержания от $u = u_1$ до $u = u_2$.

Расчёт объёма камеры сушиллки работающей по принципу сушки кипящем слое занятой под зерно, состоит в определении средней величины струи влаги \bar{m}_v для принятых параметров, а именно: для начального u_1 и окончательного влагосодержания u_2 , температуры нагрева слоя зерна t_w , а также пропускной способности сушиллки M_2 , кг/час.

Для конструирования сушилок работающих по принципу сушки в кипящем слое, как и для исследовательских работ, а также эксплуатации сушилок очень важной проблемой является возможность расчёта времени сушки как для сушилок постоянного действия, так и для сушилок периодического действия.

Представленный метод расчёта процесса сушки в кипящем слое легко применяется в практике. Предлагаемые для расчётов уравнения учитывают характерные параметры процесса сушки в области, отвечающей требованиям техники и сушильной практики. Этот метод может применяться для расчётов во время исследований процессов сушки других сельскохозяйственных продуктов, а также может послужить для проектирования автоматической системы управления процессом сушки.

APPLICATION OF MOISTURE FLUX INTO CALCULATION OF FLUIDIZATION DRYING PROCESS

J. PABIS — Poland

S u m m a r y

As the results of investigation on the rate of fluidization drying of wheat grain, rape and pea seeds, the equations have been elaborated enabling calculation of moisture flux value in relation to the temperature of grain bed and moisture content of grain.

In process of fluidization drying the temperature of grain or seeds bed is practically constant, whereas the moisture content of grain is being reduced with the time of drying. Therefore it is sensible in engineering practice to use for evaluation of the moisture flux, within the range of moisture content dry basis from $u = u_1$ up to $u = u_2$, the average values of moisture flux.

In the case of fluidization drier the volume of drying chamber filled up by grain can be calculated finding an average value of moisture flux \bar{m}_v for assumed parameters such as: initial u_1 and final u_2 moisture contents dry basis, temperature t_w of the grain bed and working capacity M_2 in kg/h of a drier.

An important question in designing and performance of fluidization driers, as well as in the research works, is the possibility of drying time evaluation for the driers of both, continuous and periodical running.

Presented here method of calculation of fluidization drying is easy to practical use. In proposed equations the characteristic parameters of drying process were taken into account, within the range of practical and technical demands. The above method can be helpful for calculation in research on drying of the other agricultural products; it may be also of value in designing of the automatic control system for grain driers.

DIE ANWENDUNG DES FEUCHTESTROMES ZUR BERECHNUNG DES WIRBELSCHICHTTROCKNUNGSVERFAHRENS

J. PABIS — Polen

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

Die Untersuchungen von dem Verlauf des Wirbelschichttrocknungsverfahrens der Weizen-Raps- und Runderbskörner erlauben die Bearbeitung der Gleichungen, welche die Berechnung des

Wertes des Feuchtestromes in der Abhängigkeit von der Anwärmetemperatur der Körnerschichte und dem Wassergehalt im Korne ermöglicht haben.

Während der Wirbelschichttrocknung die Anwärmetemperatur der Körner- und Samenschichte ist praktisch genommen constans, dagegen der Wasserhalt im Korne sinkt mit der Vergrößerung der Trocknungszeit. Darum ist es zweckmässig während der Berechnungen des Feuchtestromes in der Ingenieurpraxis sich mit den Mittelwerten des Feuchtestromes im Bereich des Wassergehaltes von $u = u_1$ bis $u = u_2$ zu bedienen.

Die Berechnung des Trocknungsraumgehaltes des Wirbelschichttrockners, welche vom Korn besetzt ist, besteht auf der Bestimmung des Mittelwertes des Feuchtestromes \bar{m} , für die angenommenen Parameter und zwar: für den Anfangswassergehalt u_1 und Endwassergehalt u_2 Anwärmetemperatur der Körnerschichte t_w und Trocknungskapazität \dot{M}_2 kg/h.

Für die Konstruktion der Wirbelschichttrockner, wie auch für Untersuchungsarbeiten und Exploation der Trockner ist es eine wichtige Frage, die Möglichkeit der Berechnung der Trocknungszeit so für die kontinuierlich wie für die periodisch arbeitende Trockner.

Die dargestellte Methode der Berechnung des Wirbelschichttrocknungsverfahrens ist sehr leicht in der praktischen Anwendung. Die zur Berechnung vorgeschlagenen Gleichungen berücksichtigen die charakteristischen Parameter des Trocknungsverfahrens in dem von der Technik und Praxis erfordetem Umfang. Diese Methode kann auch zur Berechnung der Trocknungsverfahren der anderen landwirtschaftlichen Produkte während der Untersuchungen verwendet werden. Sie kann auch zur Projektierung des automatischen Systems der Steuerung des Trocknungsverfahrens dienen.