

WPŁYW TEMPERATURY NAGRZANIA WARSTWY I ZAWARTOŚCI WODY ZIARNA W WARSTWIE PSZENICY NA WARTOŚĆ STRUMIENIA WILGOCI

J. PABIS — Polska

Proces fluidyzacyjnego suszenia ziarna zbóż odbywa się w warstwie suszonego ziarna w bezgradientnym polu temperatur i zawartości wody. W wyniku takiego stanu istnieje stała wartość strumienia wilgoci wzdłuż całej grubości suszonej warstwy ziarna. Z punktu widzenia badania procesu suszenia zjawisko to ma szczególne znaczenie, pozwala bowiem na wprowadzenie do obliczeń procesu suszenia pojęcia strumienia wilgoci m_v o stałej wartości w obrębie całej wysokości warstwy. Strumień wilgoci wyraża się masą odparowanej wody z jednostki objętości komory suszenia zajętej przez ziarno (warstwy ziarna) w jednostce czasu. Wartość strumienia wilgoci zależy od zawartości wody w ziarnie u , temperatury nagrzania warstwy ziarna t_w oraz jego cech fizycznych i termofizycznych.

Badania nad przebiegiem suszenia pszenicy Wysokolitewki przeprowadzono na suszarce laboratoryjnej.

Badania zostały przeprowadzone w różnych czasach ekspozycji ziarna w komorze suszenia, a mianowicie: 5, 10, 15, 30, 45, 60 i 75 min, zastosowano różne temperatury nagrzania warstwy: 40, 50, 60, 75, 80°C. Wartości strumienia wilgoci obliczono na podstawie wyznaczonych drogą pomiarów ubytków wody odniesionych do zajętej przez ziarno komory suszenia.

Wpływ zawartości wody w warstwie ziarna pszenicy na wartość strumienia wilgoci w warstwie ziarna obrazują krzywe przedstawione w układzie półlogarytmicznym na wykresach (rys. 1 i 2) w formie zależności

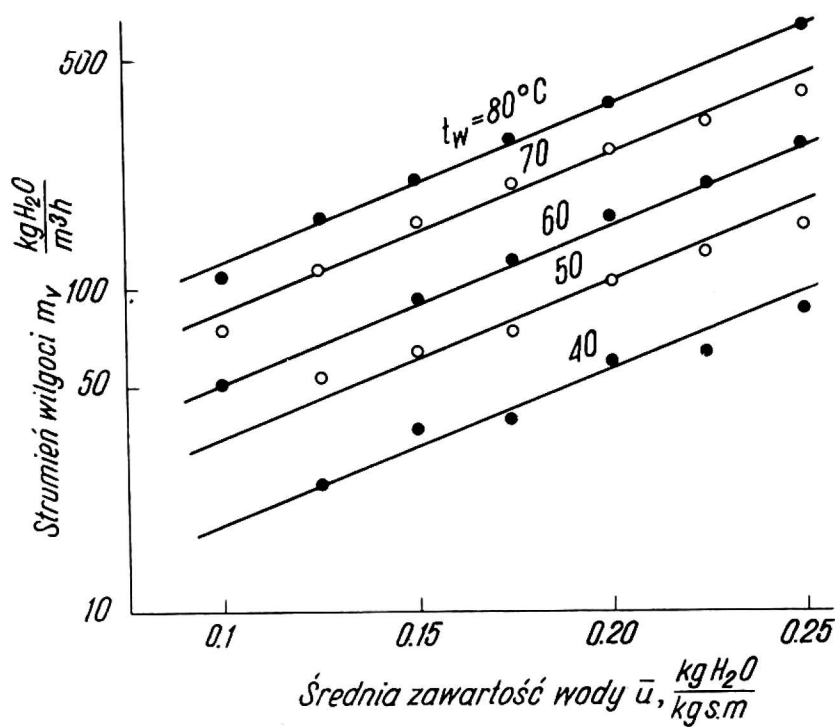
$$m_v = f(u) \quad \text{przy } t_w = \text{const.} \quad (1)$$

Ponieważ każda z tych krzywych odpowiada innej, lecz stałej w doświadczeniu temperaturze nagrzania warstwy ziarna, zatem wnioskujemy o istnieniu zależności:

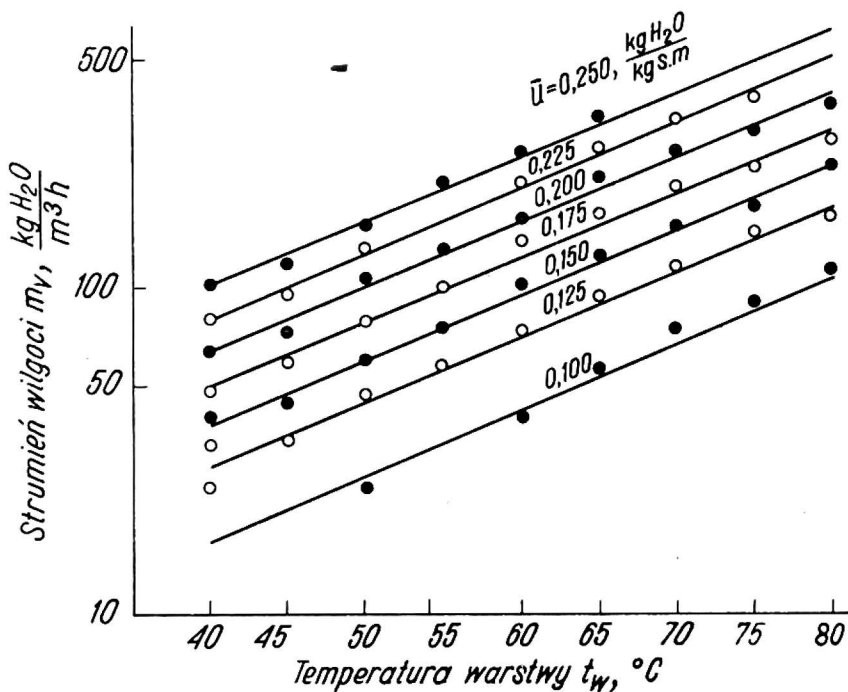
$$m_v = f(t_w) \quad \text{przy } u = \text{const.} \quad (2)$$

W związku z tym strumień wilgoci w warstwie ziarna pszenicy może być opisany funkcją dwu zmiennych, a mianowicie: zawartość wody w ziarnach i temperatury ziarna w warstwie, z uwzględnieniem trzech współczynników stałych A , B i C . Można to zapisać symbolicznie równaniem

$$m_v = f(u, t_w, A, B, C). \quad (3)$$



Rys. 1. Zależność strumienia wilgoci w warstwie pszenicy od średniej zawartości wody
 Pszenica Wysokolitewka: $\bar{u} = 0,1-0,250 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg s.m.}}$, $v = 1,7 \text{ m/s}$, $t = 46-88^\circ\text{C}$, $H_w = 200 \text{ mm}$



Rys. 2. Zależność strumienia wilgoci w warstwie pszenicy od temperatury nagrzania warstwy
 Pszenica Wysokolitewka: $\bar{u} = 0,1-0,250 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg s.m.}}$, $v = 1,7 \text{ m/s}$, $t_1 = 46-88^\circ\text{C}$, $H_w = 200 \text{ mm}$

Możliwość przedstawienia zależności określonej symbolicznie równaniem (1) w układzie półlogarytmicznym (rys. 1) wskazuje na to, że związek między strumieniem wilgoci w sfluidyzowanej warstwie pszenicy a zawartością wody w ziarnach warstwy o stałej temperaturze warstwy ziarna określa równanie

$$m_v = A_1 \exp(B \cdot u). \quad (4)$$

W równaniu tym współczynnik A_1 winien być zgodny z równaniem (3), uzależniony od temperatury nagrzania ziarna oraz od współczynnika A i C . Zależności współczynnika $A_1(t_w)$ w stałym przedziale spadku zawartości wody w ziarnie od $u = 0,250$ kg H_2O /kg s.m. do $0,15$ kg H_2O /kg s.m. oraz wartości strumienia wilgoci w podanych temperaturach nagrzania warstwy ziarna i zawartości wody w ziarnie wynikają z danych przedstawionych w tabeli 1.

Tabela 1

Wpływ temperatury nagrzania warstwy ziarna pszenicy na wartość współczynnika $A_1(t_w)$ oraz na wartość strumienia wilgoci m_v

t_w	u_1	u_2	m_{v_1}	m_{v_2}	$A_1(t_w)$	B	$m_v = A_1(t_w) \cdot \exp(B \cdot u)$
80	0,250	0,150	610	120	39,20	11,18	$39,20e^{11,18u}$
70	0,250	0,150	440	84	27,50	11,18	$27,50e^{11,18u}$
60	0,250	0,150	270	50	16,35	11,18	$16,35e^{11,18u}$
50	0,250	0,150	181	34	11,20	11,18	$11,20e^{11,18u}$
40	0,250	0,150	96	18	5,88	11,18	$5,88e^{11,18u}$

Zależność współczynnika A_1 od temperatury nagrzania warstwy ziarna wyznaczono za pomocą wykresu pomocniczego. Jak wynika z wykresu, związek ten można przedstawić także równaniem wykładniczym

$$A_1 = A \exp(C \cdot t_w). \quad (5)$$

Podstawiając tę wartość do równania (4) otrzymujemy następujące równanie dla określenia zależności strumienia wilgoci w sfluidyzowanej warstwie ziarna pszenicy w zależności od aktualnej zawartości wody w ziarnie warstwy:

$$m_v = A \exp(B \cdot u + C \cdot t_w). \quad (6)$$

W tabeli 2 podano zależność strumienia wilgoci w warstwie ziarna pszenicy dla pięciu różnych temperatur nagrzewania warstwy ziarna ale tylko dla dwu poziomów zawartości wody w ziarnie. W celu dokładnego wyznaczenia zależności strumienia wilgoci, zarówno od temperatury nagrzania warstwy ziarna jak i od zawartości wody w ziarnie określonej równaniem (6), konieczne jest wyznaczenie wartości stałych A , B i C także dla kilku poziomów zawartości wody. Zależność wartości strumienia

Tabela 2

Wpływ zawartości wody w ziarnie pszenicy na wartość współczynnika $A_1(u)$ oraz na wartość strumienia wilgoci w warstwie ziarna m_v

u	t_{w1}	t_{w2}	m_{v_1}	m_{v_2}	$A_1(u)$	C	$m_v = A_1(u) \cdot \exp(C \cdot t_w)$
0,300	80	40	640	102	16,5	0,0463	$16,5e^{0,0463t_w}$
0,250	80	40	400	63	9,9	0,0463	$9,9e^{0,0463t_w}$
0,200	80	40	240	38	5,9	0,0463	$5,9e^{0,0463t_w}$
0,250	80	40	180	28	4,5	0,0463	$4,5e^{0,0463t_w}$
0,100	80	40	108	17	2,7	0,0463	$2,7e^{0,0463t_w}$

wilgoci od zawartości wody w ziarnie dla dwu poziomów temperatury nagrzania warstwy wyraża się przez zależność współczynnika A_1 od zawartości wody w ziarnach $A_1(u)$, wynikająca z danych zestawionych w tabeli 2. Zależności współczynnika $A_1(u)$ wyznaczono za pomocą wykresu pomocniczego.

Na podstawie danych zestawionych w tabelach 1 i 2 wyznaczono dla ziarna pszenicy następujące wartości stałych współczynników:

$$A = 0,915,$$

$$B = 11,18,$$

$$C = 0,0469.$$

Strumień wilgoci w warstwie pszenicy w $\text{kg H}_2\text{O}/\text{m}^3\text{h}$ suszonej fluidyzacyjnie określa zatem równanie

$$m_v = 0,915 \exp(11,18 \cdot u + 0,0469 \cdot t_w), \quad (7)$$

które można stosować w zakresie

$$0,100 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{kg s.m.} \leq u \leq 0,300 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{kg s.m.}$$

$$40^\circ\text{C} \leq t_w \leq 80^\circ\text{C}$$

w miejsce różnych równań empirycznych podawanych w literaturze, często nie przystosowanych do obliczania suszenia produktów rolniczych w procesie fluidyzacji, a zawierających wiele współczynników koniecznych do wyznaczenia drogą doświadczeń. Opracowane na podstawie badań równanie (7), określające wartość strumienia wilgoci, posiada jeden półempiryczny związek, którym jest matematyczna zależność strumienia wilgoci od temperatury i zawartości wody suszonego produktu. Proponowane dla obliczeń równanie może posłużyć do scharakteryzowania przebiegu procesu suszenia fluidyzacyjnego. Opracowana metoda wyznaczenia wartości strumienia wilgoci może również posłużyć do badań nad suszeniem innych drobnoziarnistych produktów rolniczych.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА СЛОЯ И ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ В СЛОЕ ПШЕНИЦЫ НА ВЕЛИЧИНУ СТРУИ ВЛАГИ

Я. ПАБИС — Польша

Резюме

Процесс флюидизационной сушки зерновых происходит в слое высушиваемого зерна в безградиентном поле температур и влагосодержания. В результате такого состояния сохраняется постоянная величина струи влаги целой толщины высушиваемого слоя зерна. С точки зрения исследования процесса сушки это явление имеет особенное значение, т. к. разрешает ввести в расчёты процесса сушки, а также схарактеризовать понятие струи влаги

m_v , постоянной величиной в области целой высоты слоя. Струя влаги выражается массой испаренной воды из единицы объёма камеры сушки, занятой под зерно в единицу времени. Величина струи влаги зависит от влагосодержания зерна, температуры нагрева слоя зерна, а также его физических и термофизических черт.

Исследования по ходу сушки пшеницы Высоколитевка проведены в разные времена экспозиции зерна в камере сушки, а именно: 5, 10, 15, 30, 45, 60 и 75 минут, применяя разные температуры нагрева слоя: 40, 50, 60, 75 и 80°C. Величины струи влаги рассчитаны на основании определенных путем измерений потерь влаги, отнесённых к занятой под зерно камере сушки. Результаты исследований представлены графически в виде зависимости:

$$m_v = f(u) \quad \text{при } t_w = \text{const},$$

$$m_v = f(t_w) \quad \text{при } u = \text{const}.$$

В связи с этим струя влаги в слое зерна пшеницы может быть описана при помощи функции двух переменных, а именно: влагосодержания в зернах и температуры зерна в слое, с учётом трёх постоянных коэффициентов A , B и C

$$m_v = f(u, t_w, A, B, C).$$

Связь между струёй влаги в кипящем слое пшеницы и влагосодержанием в зернах слоя с постоянной температурой слоя определяет уравнение:

$$m_v = A_1 \exp(B \cdot u).$$

Зависимость коэффициента A_1 от температуры нагрева зерна, а также от коэффициентов A и C в постоянном интервале потери влагосодержания в зерне определена при помощи вспомогательного графика. Эту зависимость определяет уравнение:

$$A_1 = A \exp(C \cdot t_w).$$

После учета величины коэффициента A_1 получаем уравнение для определения зависимости струи влаги от температуры нагрева слоя и влагосодержания в зерне:

$$m_v = A \exp(B \cdot u + C \cdot t_w).$$

На основании проведенных исследований и расчётов определены постоянные коэффициенты.

Струя влаги в слое пшеницы в кг $\text{H}_2\text{O}/\text{m}^3$ час, высушенной методом сушки в кипящем слое, определяет уравнение:

$$m_v = 0,915 \exp(11,18 \cdot u + 0,0469 \cdot t_w),$$

которое можно применять в области:

$$0,100 \text{ кг } \text{H}_2\text{O}/\text{кг с. м.} \leq u \leq 0,300 \text{ кг } \text{H}_2\text{O}/\text{кг с. м.}$$

$$40^\circ\text{C} \leq t_w \leq 80^\circ\text{C}.$$

Это уравнение, определяющее величину струи влаги в зависимости от температуры нагрева слоя зерна и влагосодержания зерна, можно применять для характеристики хода сушки зерна пшеницы в кипящем слое, как и для расчётов основных конструктивных параметров сушилок с кипящим слоем. Подобным образом, на основании проведенных испытаний, разработаны уравнения, определяющие величину струи влаги для рапса и гороха.

EFFECT OF TEMPERATURE AND MOISTURE CONTENT OF WHEAT GRAIN ON THE MOISTURE FLUX IN BED OF GRAIN

J. PABIS — Poland

S u m m a r y

The process of fluidization drying of grain takes place in the bed of grain at gradientless field of temperature and moisture content. As the result of such a state there exists a constant value of moisture flux across the whole depth of grain bed. Such a phenomenon is of particular significance to the investigation of drying process. It allows to introduce into calculation and characteristic of drying a notion of moisture flux m_v being a constant value across the whole depth of bed. A flux of moisture is evaluated by the mass of water evaporated at a time unit from a volume unit of drying chamber filled by grain. The value of moisture flux depends on the moisture content of grain, on temperature of grain bed and some physical and thermophysical properties of grain.

In research on the drying of Wysokolitewka wheat the different periods of grain exposition in the drying chamber were tested, and namely 5; 10; 15; 30; 45; 60 and 75 minutes, using also the following temperature of grain bed: 40; 50; 60; 75 and 80°C. The values of moisture flux were calculated on the basis of measured reduction of water mass in respect to the volume of drying chamber filled up by grain. The results were plotted in form of relations:

$$m_v = f(u) \quad \text{by } t_w = \text{constans,}$$

$$m_v = f(t_w) \quad \text{by } u = \text{constans.}$$

Thus a moisture flux in the bed of wheat grain be defined as a function of two variables: moisture content of grain and temperature of grain bed, respecting three constant parameters A , B and C :

$$m_v = f(u, t_w, A, B, C).$$

Relation between the moisture flux in fluidised bed of wheat grain and the moisture content of grain at constant temperature of bed is defined by an equation:

$$m_v = A_1 \exp (B \cdot u).$$

Dependence of a parameter A_1 on the temperature of grain and on parameters A and C within the constant range of moisture reduction was determined by means of auxiliary diagram. This relation can be written as:

$$A_1 = A \exp (C \cdot t_w).$$

Respecting the value of a parameter A_1 an equation defining relation between the moisture flux and temperature of grain and its moisture content is obtained:

$$m_v = A \exp (B \cdot u + C \cdot t_w).$$

The values of constant parameters have been evaluated.

Thus a moisture flux in bed of wheat grain being dried in process of fluidization (in kg H₂O/m³h) is determined by an equation:

$$m_v = 0,915 \exp (11,18 \cdot u + 0,0469 \cdot t_w).$$

This equation is valid within the range of:

$$0,100 \text{ kg H}_2\text{O/kg d.m.} \leq u \leq 0,300 \text{ kg H}_2\text{O/kg d.m.}$$

$$40^\circ\text{C} \leq t_w \leq 80^\circ\text{C.}$$

The equation determining values of the moisture flux in relation to the temperature of grain bed and to the moisture content of grain may be useful to characterize the fluidization drying of

wheat grain as well as to the calculation of fundamental parameters in designing of fluidization driers.

On the basis of experiments the similar equations have been described determining values of moisture flux for the seeds of pea and rape.

DER EINFLUSS DER ANWÄRMETEMPERATUR DER SCHICHTE UND DES WASSERGEHALTES DES KORNES IN DER WEIZENSCHICHTE AUF DEN WERT DES FEUCHTESTROMES

J. PABIS — Polen

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

Das Verfahren der Wirbelschichttrocknung der Getreidekörner findet in der Schichte der getrockneten Körner im gradientlosen der Temperaturen und Wassergehalt statt. Von diesem Zustand aus besteht der ständige Wert des Feuchtestromes längs der ganzen Höhe der getrockneten Körnerschichte. Vom Standpunkt der Untersuchung des Trocknungsverfahrens hat diese Erscheinung die besondere Bedeutung. Sie erlaubt nämlich zur Berechnung des Trocknungsverfahrens und der Charakteristik des Trocknungsverlaufes die Einführung des Begriffes des Feuchtestromes, m_v , mit dem ständigen Wert im Bereich der ganzen Schichtenhöhe. Der Feuchtestrom ist mit der Masse des verdampften Wassers aus der Einheit des mit Korn in der Zeiteinheit besetzten Trocknungskammerinhaltes ausgedrückt. Der Wert des Feuchtestromes ist von dem Wassergehalt in dem Korn, der Anwärmtemperatur der Körnerschichte und von seinen physischen und thermischen Kennzeichen abhängig.

Die Untersuchungen des Trocknungsverlaufes des Weizens Wysokolitewka hat man in den verschiedenen Expositionszeiten in den Trocknungskammer durchgeführt und zwar: 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75 Minuten mit Anwendung von verschiedenen Schichteanwärmtemperaturen: 40, 50, 60, 75, 80°C. Die Werte des Feuchtestromes hat man auf Grund der mit Messungen bestimmten Wasserverluste berechnet, welche zum vom Korn besetzten Trocknungskammer abgetragen wurden. Die Resultate der Untersuchungen hat man graphisch in folgender Form dargestellt:

$$m_v = f(u) \quad \text{bei } t_w = \text{constans,}$$

$$m_v = f(u_w) \quad \text{bei } u = \text{constans.}$$

Im Zusammenhang damit der Feuchtestrom in der Weizenkörnerschichte kann mit der Funktion der zwei Veränderlichen beschrieben werden und zwar des Wassergehaltes im Korn und der Körnertemperatur in der Schichte mit Berücksichtigung der drei Koefizienten A , B und C :

$$m_v = f(u, t_w, A, B, C).$$

Der Zusammenhang zwischen dem Feuchtestrom in der Weizenwirbelschichte in den Schichtenkörner mit der ständigen Temperatur der Schichte wird mit der Gleichung bestimmt:

$$m_v = A_1 \exp(B \cdot u).$$

Die Abhängigkeiten des Kennzeichens A_1 von der Anwärmtemperatur des Kornes und von den Kennzeichen A und C im ständigen Bereich der Senkung des Wassergehaltes im Korn hat man mit einem Hilfszeichen bestimmt, Diese Abhängigkeit bezeichnet die Gleichung:

$$A_1 = A \exp(C \cdot t_w).$$

Nach der Berücksichtigung des Wertes des Koeffizienten A_1 bekommen wir die Gleichung zur Bestimmung der Abhängigkeit des Feuchtestromes von der Anwärmetemperatur der Schichte und des Wassergehaltes im Korn:

$$m_v = A \exp (B \cdot u + C \cdot t_w).$$

Auf Grund der durchgeführten Untersuchungen und Berechnungen hat man die ständigen Koeffiziente bestimmt.

Der Feuchtestrom in der Weizenschichte in $\text{kg H}_2\text{O}/\text{m}^3\text{h}$, die in dem Wirbelschichtverfahren getrocknet wird, bezeichnet also die Gleichung:

$$m_v = 0,915 \exp (11,18 \cdot u + 0,0469 \cdot t_w),$$

welche in dem Bereich angewandt werden kann:

$$0,100 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{kg Tr. S.} \leq u \leq 0,300 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{kg Tr. S.}$$

$$40^\circ\text{C} \leq t_w \leq 80^\circ\text{C}.$$

Diese Gleichung, die den Wert des Feuchtestromes in der Abhängigkeit von der Anwärmetemperatur der Körnerschichte und des Wasserhaltes im Korn bestimmt, kann zur Charakteristik des Wirbelschichttrocknungsverlaufes der Weizenkörner wie auch zur Berechnung der Hauptparameter der Wirbelschichttrockner dienen. In gleicher Art hat man auf Grund der durchgeführten Untersuchungen die Gleichung bearbeitet, welche den Wert des Feuchtestromes für Raps und Erbse bezeichnet.