

6. Корн Г.А. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г.А. Корн, Т.М. Корн.– М.: Наука, 1974.– 832 с.

Е.Лузан, В.Сало, В.Гончаров, П. Лузан

Исследование движения растительных остатков по горизонтальной части стеблеотвода сошника

В статье теоретически обоснованы условия движения растительных остатков по горизонтальной части стеблеотвода сошника. Получены уравнения для определения благоприятных условий, при которых они отводятся в сторону от стойки сошника. Теоретически определена оптимальная форма стеблеотвода.

E. Luzan, V. Salo, V. Goncharov, P. Luzan

Study of the motion of plant remains on the horizontal part of the vomer

In the article theoretically grounded traffic conditions plant residues on the horizontal part of the vomer. Obtain equations for determining favorable conditions under which they are assigned to the side of the rack vomer. Theoretically defined optimal form.

Одержано 25.09.11

УДК 631.365

І.О. Скриннік, канд. техн. наук, М.О. Федотова, ас., М.М. Петренко, проф., канд. техн. наук, О.А. Кислун, доц., канд. техн. наук, Д.В. Богатирьов, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Гідродинамічна модель процесу сушіння насіння сільськогосподарських культур для продовольчих потреб

Наведено теоретичні дослідження для визначення параметрів киплячого шару в залежності від параметрів сушарки для отримання раціональних параметрів процесу сушіння. Теоретичні дослідження направлені на зменшення енергетичних витрат

шпаруватість, агент сушіння, гідродинамічна модель

Однією з першочергових задач дослідження параметрів процесу сушіння насінневих культур у стані кипіння є вивчення впливу переміщень агента сушіння. Аналіз наукових праць А.П. Гержоя, А.В. Ликова, С.Д. Птіцина, [1-3] показує значний вплив швидкості агента сушіння на параметри, структуру та гідродинаміку процесу. На сьогоднішній день процес кипіння насінневого матеріалу не достатньо вивчений [4-5]. Саме тому виникає задача визначення закономірності розширення шпаруватості киплячого шару $\varepsilon_{ш}$ від зміни параметрів процесу (швидкості агента сушіння U_a та утворення повітряних просторів, частоти виникнення та розмірів повітряних просторів ω_m , площі шлейфу $S_{шл}$ та насіння (товщини, ширини, довжини, зведеного діаметра) та густини ρ_n, d , тобто, знайти залежність:

$$\varepsilon_{ш} = f(U_a, U_o, D_m, \rho_n, S_{шл}, d, \omega_m). \quad (1)$$

Розглянемо шпаруватість шару як середню об'ємну концентрацію агента сушіння в киплячому шарі. Загальну шпаруватість повітряного простору в неперервній фазі ε_n представимо як середню об'ємну концентрацію сферичних включень (повітряних просторів), котрі мають шпаруватість шлейфа $\varepsilon_{шл}$, частинки об'єму повітряного простору, зайнятого шлейфом $S_{шл}$ [6-7].

$$\varepsilon_{ш} = \varepsilon_n (1 - \varphi_n) + \varphi_n \varepsilon_{ш} = \varepsilon_n (1 - \varphi_n) + \varphi_n (1 - S_{шл}) + \varphi_n \varepsilon_{шл} S_{шл}, \quad (2)$$

де $\varepsilon_{шл}$ – шпаруватість шлейфа;

$S_{шл}$ – площа шлейфа, м²;

φ_n – об'ємна концентрація повітряного простору;

ε_n – шпаруватість у неперервній фазі;

$\varepsilon_{ш}$ – шпаруватість повітряного простору.

Тоді у виразі для середньої шпаруватості киплячого середовища в цілому ($\varepsilon_{ш}$) залишається тільки одне невідоме – шпаруватість основної зони шару $\varepsilon_{ш2}$, тобто:

$$\langle \varepsilon_{ш} \rangle \leq (1 + 2\varepsilon_{ш2}) / 3. \quad (3)$$

Оскільки в основній зоні $dP_{on2} / dz = 0$, приймаємо, $\varepsilon_{ш2} = \varepsilon_{n2}$. Тоді з урахуванням (3) отримаємо :

$$\varepsilon_{ш2} = \varepsilon_{n2} [1 - \varphi_{n2} (1 - S_{ш2})] + \varphi_{n2} (1 - S_{ш2}). \quad (4)$$

Для визначення параметрів, котрі входять у рівняння (2), що описує розподіл агента сушіння по фазах у киплячому шарі, V_a – об'ємну витрату агента сушіння в апараті представимо у вигляді:

$$V_a = V_{ан} + V_{ад}. \quad (5)$$

де $V_{ан}$ – витрата агента сушіння в неперервній фазі,

$V_{ад}$ – витрата агента сушіння в дискретній фазі.

Умову збереження сумарного потоку агента сушіння в киплячому шарі (середній потік в шарі) отримаємо у вигляді :

$$U_a = U_{ан} \varepsilon_n (1 - \varphi_n) + \varphi_n (U_{mn} + U_{кнн}), \quad (6)$$

де $U_{ан}$ – швидкість агента сушіння в неперервній фазі, м/с;

U_{mn} – швидкість підйому повітряного простору, м/с;

$U_{кнн}$ – швидкість наскрізного потоку відносно повітряного простору, м/с.

Швидкість руху повітряних просторів агента сушіння U_n , (згідно [7]), представимо у вигляді:

$$U_n = \left(1 - \frac{S_{\text{шл}} \varphi_n}{1 - \varphi_n} \frac{1 - \varepsilon_{\text{шл}}}{1 - \varepsilon_n} \right) U_{mn}, \quad (7)$$

де U_{mn} – швидкість руху повітряного простору м/с.

Для визначення величини U_{mn} використовуємо формулу Девіса -Тейлора [7]:

$$U_{onn} = 0,711 \sqrt{g D_{onn}}, \quad (8)$$

де D_{onn} – еквівалентний діаметр одиничного повітряного простору [7], що визначається за формулою:

$$D_{onn} = 1,4 \rho_n d N z + D_{mn}, \quad (9)$$

де z – змінна координата (висота), м;

I – число кипіння;

d – діаметр насінини, м;

D_{mn} – початковий діаметр повітряного простору, м.

Оскільки прийнято $\varepsilon_{\text{шл}} = \varepsilon_n$, $U_n = \left(1 - \frac{S_{\text{шл}} \varphi_n}{1 - \varphi_n} \right) U_{onn}$ і вираз (7) представимо у вигляді:

$$U_{ac} = U_a \varepsilon_n (1 - \varphi_n) + \varphi_n \left(1 - \frac{S_{\text{шл}} \varphi_n}{1 - \varphi_n} \right) U_{onn}. \quad (10)$$

Швидкість частинок насінин $U_{nчн}$ в безперервній фазі киплячого шару набуває вигляду:

$$U_{nчн} = 1,741 \frac{\nu_a}{d} \sqrt{Ar \varepsilon_n}, \quad (11)$$

де ν_a – кінематична в'язкість агента сушіння, Стокс;

Ar – Архімедова сила.

Потік насінин має середню швидкість :

$$U_{nчн} = \frac{S_{\text{шл}} (1 - \varepsilon_{\text{шл}}) \varphi_n}{(1 - \varepsilon_n)(1 - \varphi_n)} U_{об} \approx \frac{S_{\text{шл}} \varphi_n}{(1 - \varphi_n)} 0,711 \sqrt{g D_{об}}. \quad (12)$$

Прирівнявши вирази (11) та (12), після нескладних перетворень отримаємо формулу для визначення площі шлейфа :

$$S_{\text{шл}} = k_{ш} \frac{(1 - \varphi_n) \nu_a}{\varphi_n d} \sqrt{\frac{Ar \varepsilon_n}{g D_{об}}}, \quad (13)$$

де k_{uu} – коефіцієнт, що враховує діаметр насіння та їх форму, $k_{uu} = 0,014$ [7].

З умови зберігання сумарного потоку агента сушіння в киплячому шарі виразимо об'ємний потік агента сушіння в повітряному просторі через відомі параметри :

$$V_{mn} = V_{ac} - V_{an} = U_{ac} S_a - U_{an} \varepsilon_n (1 - \varphi_n) S_a, \quad (14)$$

де V_a – об'ємна витрата агента сушіння в апараті, м³/с;

V_{an} – витрата агента сушіння у неперервній фазі, м³/с;

U_a – швидкість агента сушіння, м/с;

S_a – площа апарата, м²;

З іншого боку, вираз для V_o представимо у вигляді:

$$V_{mn} = \omega_{mn} (1 - S_{ubl}) V_{omn}, \quad (15)$$

де ω_{mn} – частота проходження повітряного простору, с⁻¹;

V_{mn} – об'єм одиничного повітряного простору, м³

Об'єм одиничного простору дорівнює:

$$V_{mn} = \frac{\pi D_{III}^3}{6} (1 - S_{ubl}). \quad (16)$$

Після перетворень (15) та (16) отримаємо вираз для об'ємної концентрації повітряних просторів:

$$\varphi_n = 1 - \frac{U_{ac} S_a - \omega_{mn} (1 - S_{ubl}) V_{mn}}{U_{an} S_a \varepsilon_n}. \quad (17)$$

Шпаруватість в основній зоні киплячого шару в цілому (в безперервній фазі, повітряному просторі та його шлейфах)

$$\varepsilon_{uu} = \varepsilon_n + (1 - \varepsilon_n) (1 - S_{ubl}) \left(1 - \frac{U_{ac} S_a - \omega_{mn} (1 - S_{ubl}) V_{mn}}{U_{an} S_a \varepsilon_n} \right). \quad (18)$$

Частоту проходження повітряних просторів ω_{nb} , пов'язану з основною частиною пульсацій тиску, приймаємо згідно з [9] :

$$\omega_{mn} = \frac{1}{\tau_{mn}}. \quad (19)$$

Оскільки $U_{mn} = 0,711 \sqrt{g D_{mn}}$, то

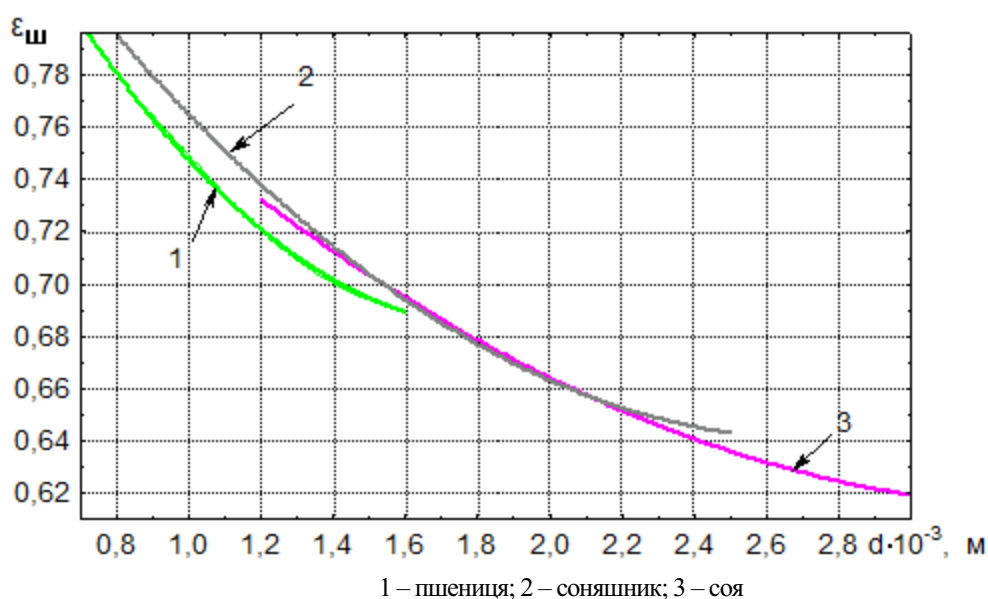
$$\omega_{mn} = \frac{U_{mn}}{h_o} = 0,711 \frac{\sqrt{gD_m}}{h_o}. \quad (20)$$

Залежність між шпаруватістю в неперервній фазі ε_n та швидкістю агента сушіння в неперервній фазі U_{an} виразимо з формули Ергана [7]:

$$U_{an} = U_{en} \left(\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_o} \right)^{1,5} \left(\frac{1-\varepsilon_o}{1-\varepsilon_n} \right)^{0,5}, \quad (21)$$

де U_{en} – швидкість витання насіння, м/с.

Залежність шпаруватості шару $\varepsilon_{ш}$ від приведенного діаметра d насінини зображено на рис. 1.



1 – пшениця; 2 – сояношник; 3 – соя

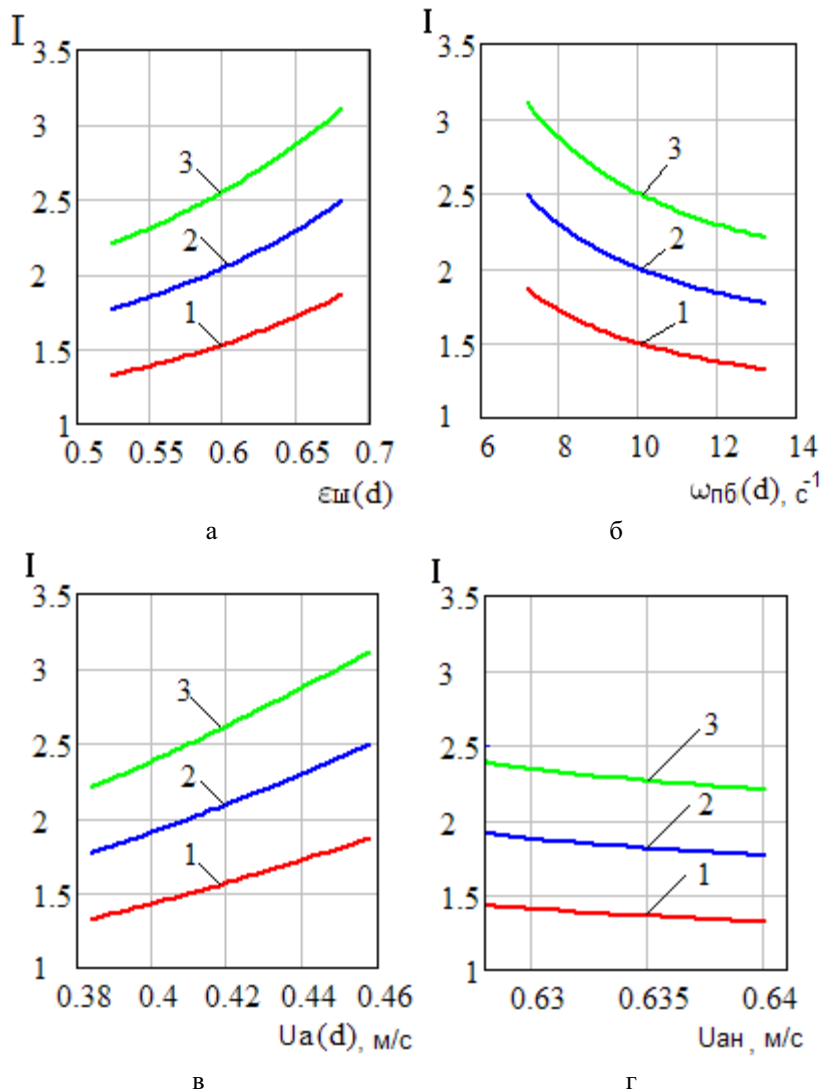
Рисунок 1 – Залежність шпаруватості шару ($\varepsilon_{ш}$) від приведенного діаметра (d) насінини різних культур
 Закономірність зміни шпаруватості киплячого шару відносно крупних насінин залежно від зміни швидкості агента сушіння в апараті $\varepsilon_{ш} = f(U_a)$ для невеликих чисел кипіння I ($2 \leq I \leq 7$) має вираз :

$$\varepsilon_{ш} \leq \frac{1}{3} + \frac{2}{3} \left(\varepsilon_n + (1-\varepsilon_n)(1-S_{шл}) \left(1 - \frac{U_{ac}S_a - \omega_{mn}(1-S_{шл})V_m}{U_{an}S_a\varepsilon_n} \right) \right). \quad (22)$$

Кінцева закономірність відносного розширення неоднорідного киплячого шару крупних насінин має вигляд :

$$I = \frac{1,5(1-\varepsilon_o)}{\left(\varepsilon_n + (1-\varepsilon_n)(1-S_{шл}) \left(1 - \frac{U_{ac}S_a - \omega_{mn}(1-S_{шл})V_m}{U_{an}S_a\varepsilon_n} \right) \right)}. \quad (23)$$

Якщо проаналізувати складові формули (22), то можна прийти до висновку, що більшість з них, а саме U_a (6), U_{an} (21), S_{wit} (13), ω_{m1} (20) залежні від еквівалентного діаметра одиничного повітряного простору D_{m1} (9), який у свою чергу залежить від приведеного діаметра насінини d . Чисельний розрахунок виконаний за допомогою пакета прикладних програм MathCAD. На підставі нього отримані такі графічні залежності (рис. 1 – 2).



а – від шпаруватості (ϵ_{m1}); б – від частоти пульсації повітряних просторів (ω_{m1});
 в – від швидкості агента сушіння (U_a); г – від швидкості агента сушіння у неперервній фазі (U_{an}).
 1 – пшениця; 2 – соняшник; 3 – соя

Рисунок 2 – Залежність ступеня розширення насінневого шару(I):

Аналіз отриманих результатів показує:

1. Побудована гідродинамічна залежність киплячого середовища частинок враховує вплив на розширення шару як швидкості агента сушіння в міні- зерносушарці, так і основних параметрів неперервної та дискретної фази киплячого шару. Із нерівності (23) та залежностей випливає, що розмір повітряних просторів, частота їх проходження та обмін між фазами у киплячому середовищі взаємопов'язані і залежать від параметрів процесу (швидкості агента сушіння та утворення повітряних просторів, частоти виникнення, розмірів повітряних просторів, площі шлейфа), а також насінини (товщини, ширини, довжини, еквівалентного діаметра і густини).

2. Температурний напір між поверхнею нагріву та частинками у прикаскадній зоні є величиною змінною у зв'язку зі зміною середньої температури цих частинок. Тепловий потік

на межі частинки з поверхнею нагріву, в основному, передається теплопровідністю через повітряний прошарок між каскадом та частинками. Повітряний прошарок переривається і знову формується в кожній точці контакту частинок зі стінкою. Товщина цих прошарків неоднакова в різних місцях, їх середній розмір залежить від пульсацій швидкості агента сушіння та частоти зміни частинок, розміру часток d та шпаруватості $\varepsilon_{ш}$, тобто, від параметрів, які обумовлюють інтенсивність процесу переносу теплоти.

Список літератури

1. Гержой А. П., Самочетов. В. Д. Зерносушение / А.П. Гержой, В.Д. Самочетов // – М.: Загод. издат, 1951. – 142 с.
2. Лыков А.В. Теория сушки / А.В. Лыков // – М.: Энергия, 1968. – 471 с.
3. Птицын С.Д. Сушка зерна / С.Д. Птицын // – М.: «Высшая школа», 1967. – 164 с.
4. Дворецкий С.М., Королев В.Н., Нагорнов. С.А., Таров. В.П. Техника и технология псевдоожижения: гидродинамика и теплообмен с погруженными телами / С.М. Дворецкий, В.Н. Королев, С.А. Нагорнов, В.П. Таров // – Тамбов 2005. – 168 с.
5. Королев В.Н. Структура псевдоожиженного слоя вблизи погруженной в него поверхности / В.Н. Королев // Журнал прикладной химии. – 1973. т 46. № 9. – С. 1956 – 1960.
6. Забродский С.С. О гидравлических сопротивлениях слоя при псевдоожижении в конических аппаратах / С. С Забродский // Инж.-физ. журнал : – 1961. №2. – С. 92 – 94.
7. Станкевич Г.М., Страхова Т.В., Атаназевич В.І. Сушіння зерна. / Г.М. Станкевич, Т.В. Страхова, В.І. Атаназевич // – К.: Либідь, 1997. – 352 с.
8. Тихонов В.Д. Виды теплообмена между агентом сушки и зерновым материалом / В.Д. Тихонов // Математическое моделирование механических явлений: материалы науч.-техн. конф., 25 – 26 мая 2007 г. / ГОУ ВПО Уральский государственный горный ун-т. – Екатеринбург, 2007. – 254 с.
9. Скриннік І.О. Обґрунтування параметрів зерносушарки каскадного типу для обробки насіння у киплячому шарі. – Дис... канд. техн. наук 05.05.11 – Кіровоград: КНТУ, 2010 – 140 с.

И. Скринник, М. Федотова, Н. Петренко, О. Кислун, Д. Богатырёв

Гидродинамическая модель процесса сушки семян сельскохозяйственных культур для продовольственных нужд

Приведены теоретические исследования для определения параметров кипящего слоя в зависимости от параметров сушиллки для получения рациональных параметров процесса сушки. Теоретические исследования направлены на уменьшение энергетических затрат

I. Skrunnik, M. Fedotova, M. Petrenko, O. Kyslun, D. Bogatyryov

Hydrodynamic model of the drying process of seed crops for food purposes

An theoretical study to determine the parameters of a boiling layer, depending on drying parameters for rational parameters of the drying process. Theoretical studies directed to reduce energy costs.

Одержано 25.09.11