



P. O. Kozak

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ПОРОЗНОСТІ ШАРУ СОЛОМ'ЯНОЇ СТРУЖКИ

Математично описано порозність насипного шару, порозність початку псевдорозрідження шару та порозність киплячого шару солом'яної стружки на операції її сушіння. Визначено значення цих величин для різних значень власної щільності солом'яної стружки, її насипної щільності, еквівалентного діаметра та фракційного складу (номера фракції). Проаналізовано залежності порозності насипного шару солом'яної стружки від її власної щільності, еквівалентного діаметра та фракційного складу. Встановлено, що порозність насипного шару солом'яної стружки зростає зі збільшенням її еквівалентного діаметра, фракційного складу та власної щільності. Також встановлено залежність порозності початку псевдорозрідження шару солом'яної стружки від їх власної щільності та різного фракційного складу за сталих значень густини та кінематичної в'язкості газу (агента сушіння). За таких умов порозність початку псевдорозрідження шару солом'яної стружки збільшується зі зменшенням її фракційного складу і знаходиться в межах 0,378–0,399. Власна щільність солом'яної стружки на порозність початку псевдорозрідження її шару істотного впливу не чинить. Враховуючи, що значення порозності насипного шару солом'яної стружки є більшою за значення порозності початку псевдорозрідження шару солом'яної стружки, то під час вибору показника порозності киплячого шару потрібно враховувати значення порозності насипного шару.

Ключові слова: стружкова плита; солома; сушіння; насипний шар; еквівалентний діаметр; початок псевдорозрідження.

Вступ. В Україні більшість лісів виконує природоохоронні функції або не придатна для промислового використання (Atamanchuk, 2014), а наявні запаси промислової деревини є незначними (Vintoniv, Sopushynskiy, & Taishinher, 2005) і стримують розвиток деревообробної галузі загалом і виробництва стружкових плит зокрема.

Використання соломи, як сировини у виробництві стружкових плит, дасть змогу вирішити нагальну проблему нестачі деревинної сировини. Також заміна у стружкових плитах деревинної сировини на соломату тиме і важливе природоохоронне значення, тому що зменшиться навантаження на лісовий фонд України, а залишки соломи не спалюватимуться.

За умов постійного здорожчання енергетичних ресурсів важливого значення набуває ефективне використання теплової енергії у виробництві стружкових плит. Сушильна дільниця у виробництві стружкових плит за витратою теплової енергії є однією з найенергомісткіших (Ianiuk, 2003; Bekhta, 1994). Витрата тепла на сушіння стружки у п'ять разів більша, ніж на пресування плит (Bekhta, 1994). Тому раціональне використання тепла під час сушіння солом'яної стружки є актуальним.

Встановлено, що за питомими витратами тепла, електроенергії та напруженістю за випаруваною вологою циклонно-спіральні сушарки для сушіння стружки є ефективнішими за інші (Kozak, 2013). Однак для якісного та енергоощадного сушіння солом'яної стружки в таких сушарках немає даних про порозність її шару, яка

визначає не тільки ступінь розширення такого шару та його висоту, але і впливає на розміри сушарки та інтенсивність процесів тепло- і масообміну, тому входить до різних розрахункових формул. Отже, встановлення значень порозності шару солом'яної стружки є актуальним і дасть змогу розрахувати оптимальні конструктивні параметри циклонно-спіральної сушарки, режими сушіння солом'яної стружки та мінімізувати енергетичні затрати під час її сушіння.

Мета роботи – визначити порозність шару солом'яної стружки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Порозність шару визначають як частку об'єму порожот (V_n) між частинками в загальному об'ємі шару (V_m) (Mukhlenova, Sazhina & Frolova, 1986):

$$\varepsilon = \frac{V_n}{V_m} \quad (1)$$

Розрізняють порозність насипного шару ($\varepsilon_{нас}$), коли шар перебуває у спокої, і порозність киплячого шару ($\varepsilon_{к.ш.}$), коли частинки перебувають у розрідженому стані. Порозність насипного шару пов'язана з його насипною щільністю ($\rho_{нас}$) та власною щільністю матеріалу (ρ_m) (Mukhlenova, Sazhina & Frolova, 1986):

$$\varepsilon_{нас} = 1 - \frac{\rho_{нас}}{\rho_m} \quad (2)$$

З урахуванням залежності насипної щільності солом'яних частинок (стружки) від їх еквівалентного діаметра (d_e) (Kozak, 2015) порозність насипного шару солом'яних частинок можна записати у вигляді:

Інформація про авторів:

Козак Руслан Олегович, канд. техн. наук, доцент кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Email: kozak_r@nltu.edu.ua

Цитування за ДСТУ: Козак Р. О. Визначення порозності шару солом'яної стружки. Науковий вісник НЛТУ України. 2018, т. 28, № 1. С. 91–94.

Citation APA: Kozak, R. O. (2018). Determination of Straw Particles Layer Porosity. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(1), 00–00.

<https://doi.org/10.15421/40280118>

$$\varepsilon_{нас} = 1 - \frac{148,68}{\rho_m} \cdot e^{-0,3625 \cdot d_e} \quad (3)$$

Виразивши еквівалентний діаметр частинок у формулі (3) через розміри отворів сит ($d_{o.c.}$) за формулою

$$d_e = \frac{k_V^3}{k_F^2} \cdot d_{o.c.}, \quad (4)$$

де k_V і k_F – коефіцієнти пропорційності (Kozak, 2014), можна визначити порозність насипного шару частинок окремих фракцій. Порозність киплячого шару змінюється приблизно в межах (Lebedev, 1962):

$$\varepsilon_{кр2} < \varepsilon_{к.ш.} < \varepsilon_{кр1}, \quad (5)$$

де: $\varepsilon_{кр1}$ – порозність шару на початку виносу дрібних частинок із сушарки (початок руйнування киплячого шару, $\varepsilon_{кр1} = 1,0$); $\varepsilon_{кр2}$ – порозність шару на початку псевдорозрідження частинок максимального розміру. Усреднено може бути розрахована за рівнянням О. М. Тодеса, В. Д. Горошко і Р. Б. Розенбаума (Lebedev, 1962):

$$\varepsilon_{кр2} = Ar_{кр2}^{-0,21} \cdot (18 \cdot Re_{кр2} + 0,36 \cdot Re_{кр2}^2)^{0,21}, \quad (6)$$

де: $Ar_{кр2}$ – критерій Архімеда для режиму початку псевдорозрідження частинок максимального розміру:

$$Ar = \frac{g \cdot d_{e \max}^3 \cdot (\rho_m - \rho_c)}{\nu^2 \cdot \rho_c}, \quad (7)$$

g – прискорення вільного падіння, m^2/c ; $d_{e \max}$ – еквівалентний діаметр частинок максимального розміру, m ; ν – кінематична в'язкість середовища, що втримує киплячий шар, m^2/c ; ρ_m – власна щільність частинок, kg/m^3 ; ρ_c – густина середовища, що втримує киплячий шар,

kg/m^3 ; $Re_{кр2}$ – критерій Рейнольдса для режиму початку псевдорозрідження частинок максимального розміру:

$$Re_{кр2} = \frac{Ar_{кр2}}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{Ar_{кр2}}}. \quad (8)$$

Згідно з формулами (5)-(8), порозність киплячого шару залежить як від параметрів самих частинок, так і від параметрів середовища.

Якщо насипна порозність шару солом'яних частинок є більшою за порозність початку псевдорозрідження цього шару, то під час вибору показника порозності киплячого шару за нерівністю (5) потрібно враховувати показник порозності насипного шару:

$$\varepsilon_{к.ш.} = \varepsilon_{відн} + \varepsilon_{нас}, \quad (9)$$

де $\varepsilon_{відн}$ – відносна порозність, яка, при розширенні нерухомого шару і переході його в киплячий, характеризує збільшення частки пустот при псевдорозрідженні відносно нерухомого шару (Mukhlenova, Sazhina, & Frolova, 1986):

$$\varepsilon_{відн} = 1 - \frac{V_{нас}}{V_{к.ш.}}, \quad (10)$$

де: $V_{нас}$ – об'єм насипного шару, m^3 ; $V_{к.ш.}$ – об'єм киплячого шару, m^3 . Підставивши у формулу (2) значення власної та насипної щільності солом'яних частинок, визначили значення порозності їх насипного шару, які наведено в таблиці. З даних цієї таблиці видно, що значення порозності насипного шару солом'яних частинок збільшується зі зростанням їх власної щільності і зменшується зі зростанням їх насипної щільності.

Таблиця. Значення порозності насипного шару солом'яних частинок за різних значень їх насипної та власної щільності

Власна щільність, kg/m^3	Насипна щільність, kg/m^3								
	40	50	60	70	80	90	100	110	120
340	0,8824	0,8529	0,8235	0,7941	0,7647	0,7353	0,7059	0,6765	0,6471
360	0,8889	0,8611	0,8333	0,8056	0,7778	0,7500	0,7222	0,6944	0,6667
380	0,8947	0,8684	0,8421	0,8158	0,7895	0,7632	0,7368	0,7105	0,6842
400	0,9000	0,8750	0,8500	0,8250	0,8000	0,7750	0,7500	0,7250	0,7000
420	0,9048	0,8810	0,8571	0,8333	0,8095	0,7857	0,7619	0,7381	0,7143
440	0,9091	0,8864	0,8636	0,8409	0,8182	0,7955	0,7727	0,7500	0,7273

Залежність порозності насипного шару від еквівалентного діаметра солом'яних частинок та їх власної щільності наведено на рис. 1. Порозність насипного шару солом'яних частинок збільшується із збільшенням їх еквівалентного діаметра та власної щільності. До того ж вплив власної щільності частинок на порозність їх насипного шару є значно меншим, ніж еквівалентного діаметра частинок.

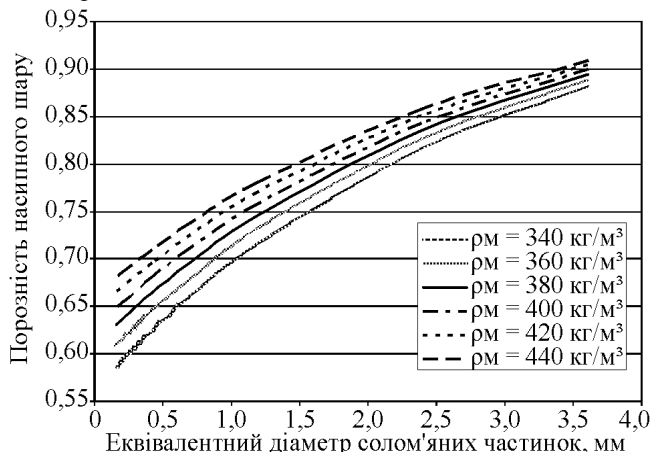


Рис. 1. Залежність порозності насипного шару солом'яних частинок від їх еквівалентного діаметра та власної щільності

Залежність порозності насипного шару солом'яних частинок від їх власної щільності та номера фракції наведено на рис. 2.

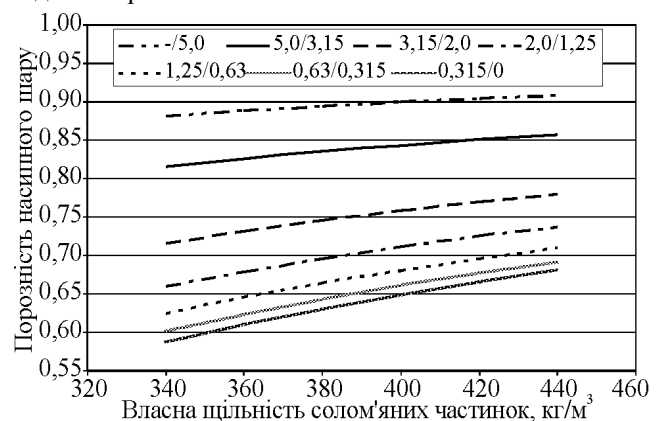


Рис. 2. Залежність порозності насипного шару солом'яних частинок від їх власної щільності та номера фракції

З рис. 2 видно, що чим більша фракція і власна щільність частинок, тим більша їх порозність насипного шару. Збільшення власної щільності солом'яних частинок зумовлює, порівняно з номером фракції, незначне збільшення їх порозності насипного шару. До того ж зі збільшенням власної щільності частинок зростання

порозності насипного шару є істотнішим для частинок фракції 0,315/0 ніж для частинок фракції -/5,0.

Залежність порозності шару на початку псевдорозрідження солом'яних частинок від власної щільності частинок і їх фракційного складу (еквівалентного діаметра) за сталих параметрів газу, що створює киплячий шар, наведено на рис. 3. З цього рисунку видно, що зі збільшенням власної щільності та еквівалентного діаметра солом'яних частинок порозність початку псевдорозрідження їх шару зменшується. До того ж за збільшення власної щільності частинок зменшення порозності киплячого шару є порівняно неістотним.

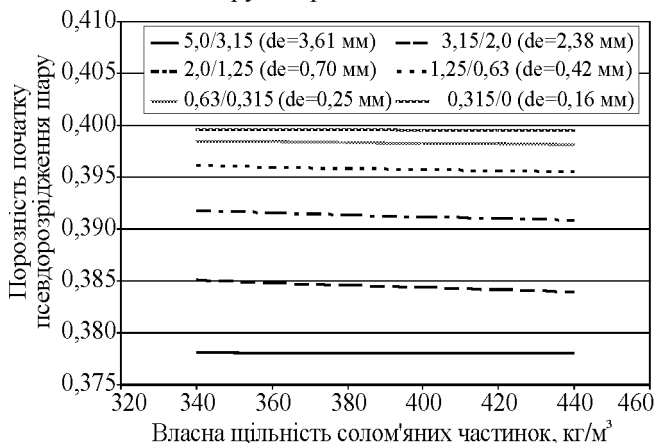


Рис. 3. Залежність порозності початку псевдорозрідження шару солом'яних частинок від їх фракційного складу (еквівалентного діаметра) та власної щільності (густина газу – 0,746 кг/м³; кінематична в'язкість газу – 3,475 · 10⁻⁵ м²/с)

Основний вплив на зміну цієї величини чинить фракційний склад частинок або їх еквівалентний діаметр. Тобто вид соломи, який характеризується власною щільністю матеріалу, на параметри створення киплячого шару майже не впливає, що є безперечним позитивом, тому що дає змогу не враховувати його під час розрахунків сушильних апаратів і режимів сушіння.

У разі використання полідисперсного шару показник порозності початку псевдорозрідження шару солом'яних частинок приймають за найменшим значенням його величини. Порівнюючи дані рис. 2 і 3, можна зробити висновок, що насипна порозність шару солом'яних частинок є більшою за порозність початку псевдорозрідження цього шару. Отже, під час вибору показника порозності киплячого шару за нерівністю (5)

потрібно враховувати показник порозності насипного шару.

Висновок. Визначені на основі теоретичних розрахунків порозність насипного шару та початку псевдорозрідження шару солом'яних частинок дають змогу застосувати отримані результати у розрахунках параметрів сушильних апаратів та режимів сушіння солом'яної стружки. Отримані табличні дані та графічні залежності дають змогу аналізувати вплив власної та насипної щільності, а також фракційного складу солом'яних частинок на їх порозність.

Перелік використаних джерел

- Atamanchuk, V. I. (2014). *Osnovni dosiahnennia lisovoho hospodarstva Ukrainy. Derzhavne ahentstvo lisovykh resursiv Ukrainy. Lisova haluz Ukrainy v konteksti Uriadovykh reform – 2014*. Retrieved from: http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?Art_id=121197&cat_id=81209
- Bekhta, P. A. (1994). *Tekhnolohiia i obladnannia dlia vyrobnytstva derevynno-struzhkovykh plyt*. Kyiv: ISDO. 456 p. [In Ukrainian].
- Ianiuk, Iu. V. (2003). *Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiia protsessov sushki sypuchikh materialov v sushilnoi ustanovke barabannogo tipa. Candidate Dissertation for Technical Sciences (05.13.18 – Mathematical modeling, numerical methods and program complexes)*. Petrozavodsk. 164 p. [In Russian].
- Kozak, R. O. (2013). *Vyznachennia sposobu sushinnia solomianoї struzhky dlia vyrobnytstva struzhkovykh plyt. Lisove hospodarstvo, lisova, paperova i derevoobrobna promyslovist*, 39(1), 68–71. [In Ukrainian].
- Kozak, R. O. (2014). *Vyznachennia heometrychnoho koefitsienta formy ta koefitsienta sferychnosti solomianykh chastynok. Visnyk Kharkivskoho Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva im. Petra Vasylenka*, 147, 60–68. [In Ukrainian].
- Kozak, R. O. (2015). *Vyznachennia nasypnoi shchilnosti rozfraktsionovanoi solomianoї struzhky. Visnyk Kharkivskoho Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva im. Petra Vasylenka*, 160, 52–58. [In Ukrainian].
- Lebedev, P. D. (1962). *Raschet i proektirovanie sushilnykh ustanovok*. Moscow – Leningrad: Gosenergoizdat. 320 p. [In Russian].
- Mukhlenova, I. P., Sazhina, B. S., & Frolova, V. F. (Eds.). (1986). *Raschety apparatov kipiashhego sloia*. Lviv: Khimiia. 352 p. [In Russian].
- Vintoniv, I. S., Sopushynskyi, I. M., & Taishinher, A. (2005). *Derevynoznavstvo*. Lviv: RVV UkrDLTU. 256 p. [In Ukrainian].

Р. О. Козак

Национальный лесотехнический университет Украины, г. Львов, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОЗНОСТИ СЛОЯ СОЛОМЕННОЙ СТРУЖКИ

Математически описаны порозность насыпного слоя, порозность начала псевдооживления слоя и порозность кипящего слоя соломенной стружки на операции ее сушки. Определены значения данных величин для различных значений собственной плотности соломенной стружки, ее насыпной плотности, эквивалентного диаметра и фракционного состава (номера фракции). Проанализированы зависимости порозности насыпного слоя соломенной стружки от ее собственной плотности, эквивалентного диаметра и фракционного состава. Установлено, что порозность насыпного слоя соломенной стружки возрастает с увеличением ее эквивалентного диаметра, фракционного состава и собственной плотности. Также установлена зависимость порозности начала псевдооживления слоя соломенной стружки от их собственной плотности и разного фракционного состава при постоянных значениях плотности и кинематической вязкости газа (агента сушки). При таких условиях порозность начала псевдооживления слоя соломенной стружки увеличивается с уменьшением ее фракционного состава и находится в пределах 0,378–0,399. Собственная плотность соломенной стружки на порозность начала псевдооживления ее слоя существенного влияния не оказывает. Учитывая, что порозность насыпного слоя соломенной стружки имеет большие значения от значений порозности начала псевдооживления слоя соломенной стружки, то при выборе показателя порозности кипящего слоя необходимо учитывать значение порозности насыпного слоя.

Ключевые слова: стружечная плита; солома; сушка; насыпной слой; эквивалентный диаметр; начало псевдооживления.

DETERMINATION OF STRAW PARTICLES LAYER POROSITY

The porosity of the bulk layer, the porosity of the beginning of layer fluidization and the porosity of the straw particles fluidized bed on its drying operations are mathematically described. The values of these dimensions for different values of the density of straw particle, its bulk density, the equivalent diameter and fraction composition (fraction numbers) are determined. The bulk density of straw particles increases in the range from 40 to 120 kg/m³ for the density of straw particle 340 kg/m³, the porosity of its bulk layer decreases from 0.88 to 0.65. The bulk layer porosity decreases from 0.91 to 0.73 for its density of straw particle 440 kg/m³ in the specified interval of its bulk density. The dependences of the bulk layer porosity of straw particle on its intrinsic density, equivalent diameter and fraction composition are analysed. It is defined that bulk layer porosity of straw particle increases with increasing of its equivalent diameter, fractional composition and intrinsic density. The value of the bulk layer porosity within the density of straw particle being 340–440 kg/m³ increases by on 3 % for the fraction -/5 and by 14 % for the fraction 0.315/0. Reducing of the equivalent diameter from 3.6 to 0.16 mm (fraction from -/5 to 0.315/0) leads to reducing the density of the bulk layer by 33 % for the density of straw chips 340 kg/m³ and 25 % for its density 440 kg/m³. The dependence porosity of beginning of fluidization straw particle layer from its density and different fractional composition is also defined; density values kinematic viscosity gas (drying agent) is constant. Under such conditions, the porosity of fluidization beginning of straw particle layer increases with decreasing of its fractional composition and it ranges from 0.378 to 0.399. The proper density of straw particle doesn't substantially influence on the porosity of the fluidization beginning its layer. The value of bulk layer porosity of straw particles is higher than the value of porosity of fluidization beginning layer of straw particle that's why, during adoption of parameter porosity fluidized bed, the value of bulk layer porosity should be take into account.

Keywords: particle board; straw; drying; bulk layer; equivalent diameter; beginning of fluidization.