

УДК 631.365: 631.53.01 (043)

DOI: 10.37128/2520-6168-2022-1-16

**ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ
ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ НАСІННЯ ГАРБУЗА****Цуркан Олег Васильович**, д.т.н., доцентВідокремлений структурний підрозділ «Ладизинський фаховий коледж
Вінницького національного аграрного університету»**Oleh Tsurkan**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Separated structural unit «Ladyzhyn Professional College of Vinnytsia National Agrarian University»

Основною об'єктивною причиною, яка стримує розповсюдження такої цінної культури, як гарбуз, є нестача якісного посівного матеріалу. Це пояснюється недосконалістю технологій післязбиральної обробки насіннєвої продукції, а саме сушіння і, в меншій мірі, процесу сепарації. Успішне проведення процесу сушіння залежить від багатьох факторів, в тому числі від властивостей матеріалу і способів та засобів реалізації процесу.

Для створення математичної моделі процесу сушіння високовологого насіння гарбуза потрібно провести детальний огляд методів представлення теоретичних засад виконання поставленої задачі. Шар насіння гарбуза має підвищені когезивно-адгезивні властивості, схильність до створення конгломератів, налипання на робочі органи машин. Для мінімізації негативного впливу фізичних властивостей насіння гарбуза на перебіг процесу сушіння доцільно застосовувати вібраційну дію яка збільшує порозність шару, перешкоджає налипанню насіння на робочі органи. Ще однією особливістю насіння гарбуза яка ускладнює успішне його сушіння є висока початкова вологість (порядку 50%). Тому, для зменшення енергозатрат на першому етапі видалення вільної незв'язаної поверхневої вологи зневоложення шару насіння доцільно проводити способом фільтраційного сушіння. У розрахунковій практиці фільтраційного сушіння застосовують чотири основні фізичні і математичні моделі фільтрування. Основним недоліком цих моделей є невизначеність окремих величин, зокрема діаметра капілярів, тому що реальне пористе середовище складається з пор різних діаметрів і форми. Застосування вібраційної дії значно інтенсифікує процес фільтраційного сушіння.

Ключові слова: фільтраційне сушіння, математична модель, насіння гарбуза, шар матеріалу, вібраційні процеси.

Ф. 5. Рис. 5. Літ. 9.

1. Постановка проблеми

Сушіння, тобто видалення вологи, в нашому випадку з насіння гарбуза, є складним фізико-хімічним процесом, який супроводжується тепло- і масообміном. Сушіння в багатьох випадках є завершальним етапом в процесі післязбиральної обробки продукції, і не тільки насіннєвої. При післязбиральній обробці насіннєвої продукції в більшості випадків сушіння передуює заключній операції – сепарації, успішне проведення якої визначає якість отриманого матеріалу. Для успішного проведення процесу сепарації, а після неї і зберігання продукції, як правило, потрібен матеріал певної вологості. Для отримання матеріалу потрібного стану використовуються сушарки різноманітних конструкцій.

Успішне проведення процесу сушіння залежить від багатьох факторів, в тому числі від властивостей матеріалу і способів та засобів реалізації процесу. Для вибору ефективного способу сушіння, раціональних конструктивних та технологічних параметрів процесу потрібно детально вивчити особливості матеріалу (його фізико-механічні та теплофізичні характеристики), провести ґрунтовні теоретичні та експериментальні дослідження.

Для створення математичної моделі процесу сушіння високовологого насіння гарбуза потрібно провести детальний огляд методів представлення теоретичних засад виконання поставленої задачі. Саме створенню передумов розробки математичної моделі ефективного сушіння насіння гарбуза присвячена дана робота.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Насіння гарбуза, як об'єкт процесу сушіння, суттєво відрізняється своїми властивостями від більшості сільськогосподарських культур. В роботі [1] відзначено, що шар насіння гарбуза має підвищені когезивно-адгезивні властивості, схильність до створення конгломератів, налипання на робочі органи машин. Зважаючи на те, що в більшості традиційних сільськогосподарських сушарках (шахтних, барабанних, конвеєрних тощо) неможливо досягти якісного процесу сушіння насіння гарбуза, було рекомендовано проводити цей процес в установках з киплячим шаром насіння. Враховуючи висновки роботи [2], на кожному з етапів процесу сушіння основним інтенсифікуючим фактором визначено вібраційну дію.

Ще однією особливістю насіння гарбуза, яка ускладнює успішне його сушіння, є висока початкова вологість (порядку 50%). Тому, для зменшення енергозатрат на першому етапі видалення вільної незв'язаної поверхневої вологи зневоложення шару насіння доцільно проводити способом фільтраційного сушіння [3].

Для успішного проведення теоретичних та експериментальних досліджень по сушінню насіння гарбуза необхідно мати відомості про його фізико-механічні та теплофізичні характеристики. Особливо це стосується саме теплофізичних характеристик які суттєво залежать від вологості насіння. При дослідженнях по створенню математичної моделі процесу сушіння потрібно мати інформацію про ці залежності. Саме з такою метою були проведені роботи по визначенню теплофізичних характеристик насіння гарбуза як об'єкта вібраційного сушіння [4].

Для створення реальної математичної моделі всього процесу вібраційного сушіння потрібно також проаналізувати існуючі моделі першої стадії цього процесу, тобто процес так званого фільтраційного сушіння. На основі вже відомих даних про цей процес можна створити реальну математичну модель сушіння насіння гарбуза. Саме це і є основною задачею даних досліджень.

3. Мета досліджень

Метою досліджень є підвищення ефективності реалізації процесу сушіння насіння гарбуза шляхом вивчення та аналізу передумов створення математичної моделі фільтраційно-конвективного процесу вібраційного сушіння та реалізації її в конкретних установках при раціональних конструктивно-технологічних параметрах.

4. Викладення основного матеріалу

На початковому етапі сушіння високовологих дисперсних матеріалів доцільно застосовувати фільтраційне сушіння, яке полягає в тому, що сушильний агент під дією перепадів тиску рухається через пористу структуру газопроникного матеріалу (рис. 1).

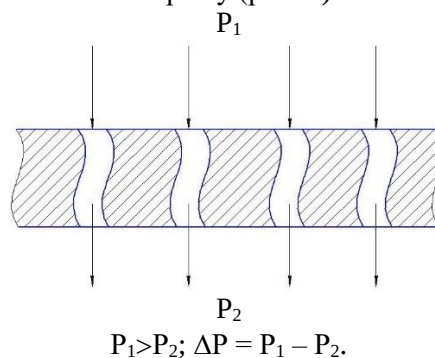
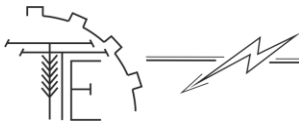


Рис. 1. Схема фільтраційного сушіння

Процес тепломасообміну відбувається на внутрішньокапілярній поверхні, яка на порядок-два перевищує геометричну поверхню висушуваного матеріалу [5].

У розрахунковій практиці застосовують чотири основні фізичні і математичні моделі фільтрування. На основі закону Дарсі [6] побудована математична теорія фільтрування в'язкої рідини в пористому середовищі з урахуванням макроскопічних характеристик, згідно з капілярною моделлю фільтрування дисперсне середовище є сукупністю капілярів, через які фільтрується рідина. Основним недоліком приведених моделей є невизначеність окремих величин, зокрема діаметра капілярів d_k , тому що реальне пористе середовище складається з пор різних діаметрів і форм.



У [7] приведено математичну модель процесу фільтрування в шарі високо вологих дисперсних матеріалів, до яких відноситься і насіння гарбуза, з використанням загального рівняння фільтрування для випадку, коли опір шару виділеного матеріалу набагато більший опору перфорованого днища:

$$\frac{dG}{d\tau} = \frac{\Delta P}{\mu_{вл} r_o H}, \quad (1)$$

де G – маса води в порі, кг; τ – тривалість процесу фільтрування, с; $\mu_{вл}$ – в'язкість води, Па·с; H – висота стовпа води в шарі, м; r_o – питомий опір шару, м⁻².

Прийнято допущення, що шар повністю заповнений водою, а тупикові пори з'єднуються з центральною (рис. 2) [8].

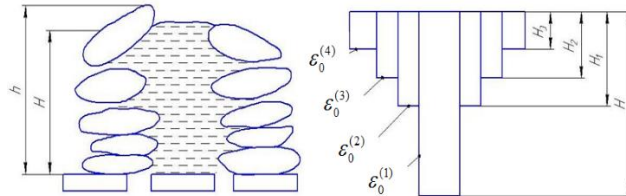


Рис. 2. Модель фільтрування шару насіння гарбуза:
а – фрагмент шару з центральною порою; **б** – схема розміщення розрахункових зон;
ε – порозність зон; **H** – висота стовпа води в порах

При перемішуванні впорядковане розміщення насіння порушується і порозність збільшується. При повільному перемішуванні:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \frac{1}{3} \varepsilon' (2 + K_n), \quad (2)$$

де ε' – порозність першої (від днища) зони шару насіння; K_n – коефіцієнт перемішування; $K_n = 1,05-1,2$.

При продуванні насичених середовищ разом з витісненням рідини відбувається витікання газу через випорожнені наскрізні пори – переміщення двофазного газорідного потоку.

Фізична модель сушіння шару продуванням знизу-вверх представлена у вигляді вертикальної наскрізної пори, частково заповненої вільною водою (рис. 3).

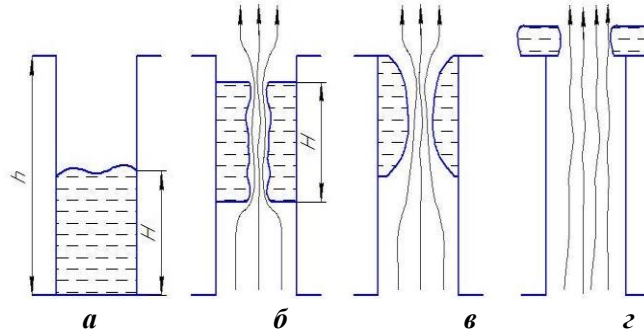


Рис. 3. Фізична модель сушіння шару продуванням: а, б, в, з – стадії сушіння

У приведеній моделі прийнято допущення, що величина стовпа води H на протязі часу переміщення до відкритої поверхні залишається постійною, а відкрита поверхня шару вирівняна, і в шарі відсутні наскрізні канали та тріщини.

Зміна напрямку подачі сушильного агента досягається шляхом застосування перекидних заслінок (рис 4).

Вібрації в процесі фільтрування використовуються безпосередньо для розділення суспензій (вібраційне фільтрування) або при зніманні осаду. Дослідженнями встановлено, що накладання на фільтруючу перегородку гармонійних коливань, направлених по нормалі до її поверхні, інтенсифікує процес. Швидкість фільтрування збільшується в результаті зниження фільтраційного опору, пульсуючий тиск і регенерація перегородки, які створює вібрація, також сприяють прискоренню фільтрування [8].

У роботі [9] запропоновано опис кінетики періодичного вібраційного фільтрування при умові дії на пористу перегородку гармонічних коливань, нормальних до поверхні фільтрування. В процесі

фільтрування матеріал знаходиться під гідростатичним тиском стовпа суспензії, яка фільтрується, та тиском масової інерційної сили, зумовленої вібрацією суспензії.

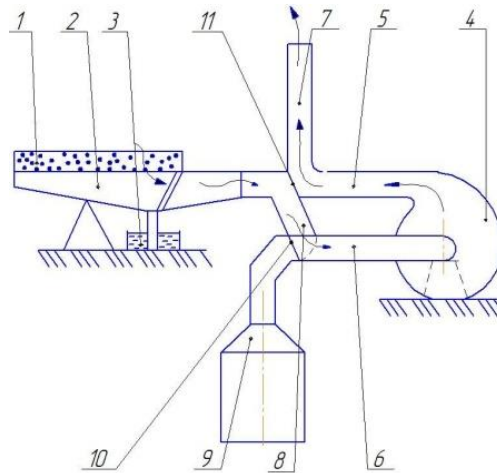


Рис. 4. Схема пристрою для фільтраційного вологовидалення з реверсивною подачею сушильного агента: 1 – лоток; 2 – газорозподільча камера; 3 – ємність для стоку води; 4 – вентилятор; 5 – нагнітаючий трубопровід; 6 – всмоктуючий трубопровід; 8 – вихлопний патрубок; 9 – нагрівач; 10, 11 – перекидні заслінки

У відповідності з законом Дарсі отримано вираз для витрати суспензії:

$$Q = - \frac{K_{oc}}{\mu_p} \cdot \frac{G}{\delta} (1 + \lambda); \quad (3)$$

де K_{oc} – проникність осаду, m^2 ; μ_p – динамічний коефіцієнт в'язкості рідкої фази, Па·с; G – маса суспензії, кг; δ – висота пористої перегородки, м; λ – інтенсивність коливань, м.

Отримано умови відриву (знімання) осаду від фільтруючої поверхні для поздовжніх і поперечних напрямків коливань:

$$\frac{(Q_a - G)}{mA\omega^2} \leq 1; \quad (4)$$

$$\frac{Q_a}{mA\omega^2} \leq 1, \quad (5)$$

де Q_a – сила адгезії, Н; G – сила тяжіння, Н; m – маса частки осаду, кг.

При силі тяжіння, співставленій по величині з силою адгезії, для інтенсифікації процесу знімання осаду доцільно надавати поверхні фільтрування вертикальні коливання (рис. 5).

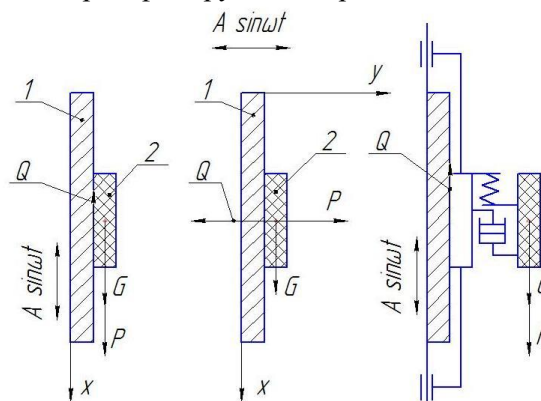
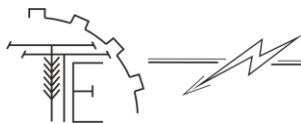


Рис. 5. Фізичні моделі фільтрування осадів:
а – недеформівного при поздовжній (вертикальній) вібрації фільтруючої перегородки;
б – недеформівного при поперечній (горизонтальній) вібрації перегородки; в – пружнов'язкого осаду; 1 – фільтруюча поверхня; 2 – частка осаду

Значно інтенсифікувати процес фільтраційного волого видалення можна застосовувши



вібраційну дію [8]. Зокрема, під дією вібрації порозність шару збільшується, відповідно зменшується його опір фільтруванню. Також застосування вібраційних коливань, особливо вертикальної їх складової, сприяє видаленню осаду на днищі сушильної камери.

5. Висновок

Особливості сушіння високовологого насіння гарбуза, які полягають у морфологічній будові, високій початковій вологості, когезивно-адгезивних властивостях, вимагають швидкого виконання післязбиральної обробки, оскільки будь-яка затримка даного процесу призводить до різкого розмноження шкідників та бактерій, втрати харчових і органолептичних показників та посівних властивостей.

Оброблення насіннєвого матеріалу може ефективно проводитися у вібраційних установках, оскільки вони забезпечують інтенсивні та енергоощадні режими оброблення матеріалу з одночасною щадною дією на оброблюваний матеріал.

Для зменшення енергозатрат на першому етапі видалення вільної незв'язаної поверхневої вологи зневоднення шару насіння доцільно проводити способом фільтраційного сушіння.

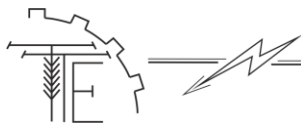
Для інтенсифікації процесу фільтраційного сушіння доцільно суміщати його з вібраційною дією, що збільшує порозність шару матеріалу і сприяє видаленню осаду.

Список використаних джерел

1. Цуркан О. В. Аналіз вібраційних технічних засобів для сушіння насіння гарбуза. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2021. №4 (103). С. 5–14.
2. Das I., Bal S., Kumar Das S. Simultaneous parboiling and drying of paddy using infrared energy: vibration aided infrared drying system: monograph. Saarbrücken, 2010. 116 p.
3. Цуркан О. В., Герасимов О. О., Римар Т. І. Гідродинаміка процесу фільтраційного зневоднення свіжеочищеного насіння гарбуза з вібраційною активацією. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2014. № 2 (74). С. 138–144.
4. Цуркан О. В., Спирін А. В., Твердохліб І. В. Визначення теплофізичних характеристик об'єктів вібраційного сушіння. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2021. № 3 (102). С. 100–108.
5. Ханик Я. М., Ковальчук О. В., Ханик А. Я. Фільтраційне сушіння як енергозбережний метод зневоднення матеріалів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2007. № 4. С. 79–82.
6. Murkes J., Carlsson C. Crossflow Filtration: Theory and Practice. New York, 1989. 133 p.
7. Атаманюк В. М., Гумницький Я. М. Наукові основи фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів: монографія. Львів, 2013. 276 с.
8. Паламарчук І. П., Цуркан О. В., Зозуляк О. В. Інтенсифікація процесів сушіння насіння за рахунок використання вібраційного та електроосмотичного ефектів. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2012. № 1 (65). С. 110–114.
9. Потапов В. А., Якушенко Е. Н., Гриценко О. Ю. Фильтрационная сушка при повышенном давлении. *Научные працы ОНАХТ*. 2017. Вып. 47. Т. 2. С. 134–137.

References

- [1] Tsurkan, O.V. (2021). Analiz vibratsiinykh tekhnichnykh zasobiv dlia sushinnia nasinnia harbuza. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*. 4 (103). 5–14. [in Ukrainian].
- [2] Das, I., Bal, S., Kumar Das, S. (2010). Simultaneous parboiling and drying of paddy using infrared energy: vibration aided infrared drying system: monograph. Saarbrücken. [in English].
- [3] Tsurkan, O.V., Herasymov, O.O., Rymar, T.I. (2014). Hidrodynamika protsesu filtratsiinoho znevodnennia svizheochyshchenoho nasinnia harbuza z vibratsiinoiu aktyvatsiieiu. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*. 2 (74). 138–144. [in Ukrainian].
- [4] Tsurkan, O.V., Spirin, A.V., Tverdokhlib, I.V. (2021). Vyznachennia teplofizychnykh kharakterystyk obiektiv vibratsiinoho sushinnia. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*. 3(102). 100–108. [in Ukrainian].
- [5] Khanyk, Ya.M., Kovalchuk, O.V., Khanyk, A.Ia. (2007). Filtratsiine sushinnia yak enerhozberezhnyi metod znevodnennia materialiv. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. 4. 79–82. [in Ukrainian].
- [6] Murkes, J., Carlsson, C. (1989). Crossflow Filtration: Theory and Practice. New York. [in English].
- [7] Atamaniuk, V.M., Humnytskyi, Ya.M. (2013). Naukovi osnovy filtratsiinoho sushinnia dyspersnykh materialiv: monohrafiia. Lviv. [in Ukrainian].



- [8] Palamarchuk, I.P., Tsurkan, O.V., Zozuliak, O.V. (2012). Intensyfikatsiia protsesiv sushinnia nasinnia za rakhunok vykorystannia vibratsiinoho ta elektroosmotychnoho efektyv. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*. 1 (65). 110–114. [in Ukrainian].
- [9] Potapov, V.A., Yakushenko, E.N., Gricenko, O.Yu. (2017). Fil'tracionnaya sushka pri povyshennom davlenii. *Naukovi praci ONAKHT*. 47(2). 134–137. [in Ukrainian].

BACKGROUND FOR BUILDING A MATHEMATICAL MODEL OF THE PUMPKIN SEEDS FILTER DRYING PROCESS

The main objective reason for holding back the spread of such a valuable crop as pumpkin is the lack of high-quality sowing material. This is due to the imperfection of technologies for post-harvest processing of seed products, namely drying and, to a lesser extent, the separation process. The successful implementation of the drying process depends on many factors, including the properties of the material and the methods and means of implementing the process.

To create a mathematical model of the drying process for high-moisture pumpkin seeds, it is necessary to conduct a detailed review of the methods for presenting the theoretical foundations of the task. The layer of pumpkin seeds has increased cohesive and adhesive properties, a tendency to create conglomerates, sticking to the working bodies of machines. To minimize the negative effect of the physical properties of pumpkin seeds on the course of the drying process, it is advisable to apply a vibration action that increases the difference in the layer, which prevents the seeds from sticking to the working bodies. Another feature of pumpkin seeds, which complicates their successful drying, is their high initial moisture content (about 50%). Therefore, in order to reduce energy consumption at the first stage, it is advisable to remove free unbound surface moisture by the method of filtration drying. In the design practice of filtration drying, four main physical and mathematical models of filtration are used. The main disadvantage of these models is the uncertainty of individual values, in particular, the diameter of the capillaries, since a real porous medium consists of pores of different diameters and shapes. The use of vibration action significantly intensifies the filtration drying process.

Keywords: filtration drying, mathematical model, pumpkin seeds, material layer, vibration processes.
F. 5. Fig. 5. Ref. 9.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Цуркан Олег Васильович – доктор технічних наук, доцент кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв інженерно-технологічного факультету Вінницького національного аграрного університету, директор Відокремленого структурного підрозділу «Ладизинський фаховий коледж Вінницького національного аграрного університету» (вул. П. Кравчика, 5, м. Ладизин, Вінницька обл., 24321, Україна, e-mail tsurkan_ov76@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-7218-0026>).

Oleh Tsurkan – doctor of technical sciences, associate professor of the Department of technological processes and equipment of processing and food industries of Faculty of Engineering and Technology of Vinnytsia National Agrarian University, director of Separated structural unit «Ladyzhyn Professional College of Vinnytsia National Agrarian University» (5, P. Kravchyka St., Ladyzhyn, Vinnytsia region, 24321, Ukraine, e-mail tsurkan_ov76@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-7218-0026>).