

УДК 631.365.22: 631.563.2: 519.657

А.А. Яшук, асп., Р.В. Кірчук, доц., канд. техн. наук

Луцький національний технічний університет

Дослідження кінетики сушіння насіння льону олійного з розробкою конструкції сушарки

Представлено результати експериментальних досліджень сушіння насіння льону олійного. Обґрунтована модель, що описує кінетику процесу сушіння насіння льону олійного. Запропонована конструкція сушарки для насіння льону олійного.

льон олійний, насіння, сушарка, вологість, кінетика сушіння, модель

Постановка проблеми. В Україні, зокрема в районі Західного Полісся, все більша увага приділяється вирощуванню льону олійного. Льон олійний – це сільськогосподарська культура, що має важливе господарське значення. У різних галузях господарства можливе застосування стебел, соломи, костриці, макухи льону олійного. Проте основне призначення льону олійного – одержання олії, якої в насінні льону, залежно від сортів, може міститися близько 50% [1]. Тому важливе значення при вирощуванні даної культури має одержання високоякісного насіння.

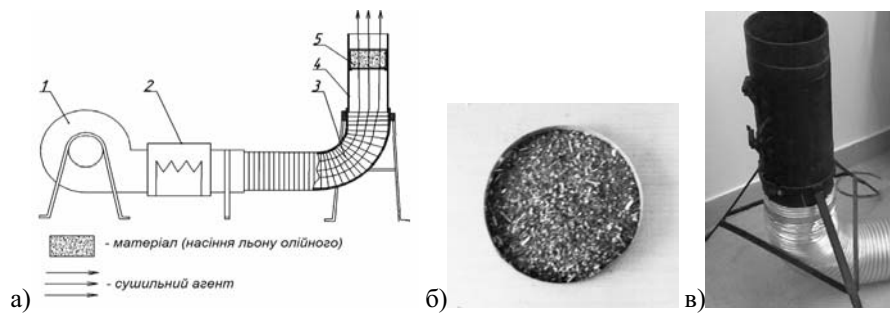
Погодні умови можуть стати причиною підвищеної вологості врожаю, яка, як відомо, при зберіганні насінневої продукції має негативний вплив на її якість і, в результаті, зумовлює значні втрати, уникнути яких дозволяють засоби штучного сушіння. З врахуванням недоліків існуючих типів сушарок, що використовуються для зниження вологості льону і особливостей процесу сушіння насіння льону олійного [2, 3] доцільною є розробка нових засобів для сушіння насіння цієї культури.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідженням процесу сушіння різних рослинних матеріалів, і, зокрема, щільного шару сипких насінневих матеріалів займалися ряд вітчизняних і закордонних науковців [4, 5, 6, 7]. Дослідження, що стосуються збирання і післязбирального обробітку льону, в основному пов'язані з вивченням властивостей компонентів льону, проблемами сепарації, а також сушіння льоноророху і льоносоломки і присвячені в основному льону довгунцю [3, 8]. Вивченню питань, що стосуються збирання і післязбирального обробітку льону олійного, приділено недостатньо уваги.

Мета дослідження. Провести дослідження процесу зниження вологи насіння льону олійного, яке дозволить обґрунтувати найбільш раціональні режими сушіння, що дадуть можливість забезпечити високу продуктивність сушіння і якість матеріалу, уникнувши небажаних надмірних енергозатрат. Запропонувати нову конструкцію сушарки для насіння льону олійного з врахуванням особливостей процесу сушіння цього матеріалу і недоліків існуючих типів сушарок.

Результати досліджень. Для дослідження використовувалось насіння льону олійного сорту «Південна ніч», яке одержане при збиранні однофазним способом, насіння піддавалося попередньому очищенню, початкова відносна вологість становила 14,3%. Дослідження зниження вологості проводились на експериментальній установці (рис. 1). Установка працює наступним чином: вентилятором 1 нагнітається повітря і підігрівається калорифером 2, гнучким патрубком 3 підігріте повітря подається в сушильну камеру 4. Зразок з матеріалом розміщується в секції 5, яка встановлюється в

сушильну камеру. В калорифері 2 передбачений регулятор, який дає можливість встановлювати температуру нагрівання повітря.



а) функціональна схема: 1 – вентилятор; 2 – нагрівальний елемент; 3 – гнучкий патрубок; 4 – сушильна камера; 5 – секція з матеріалом; б) секція з насінням льону олійного; в) сушильна камера

Рисунок 1 - Установка для проведення досліджень сушіння матеріалу

Сушіння насіння льону олійного проводились при температурах сушильного агента 35, 45, 55 і 65°C. Швидкість повітряного потоку в сушильній камері становила 1,9-2,0 м/с, товщина шару матеріалу – 2 см. Результати експериментальних досліджень зведено в графік, представлений на рис.2.

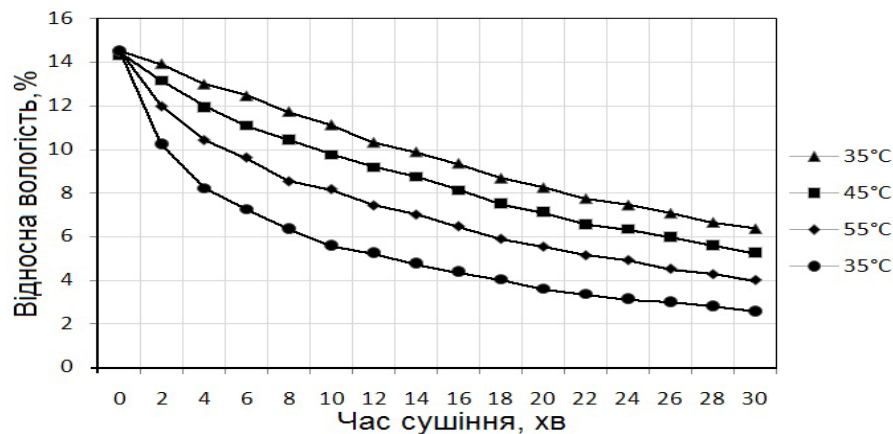


Рисунок 2 - Графіки зміни вологості матеріалу з часом при сушінні насіння льону олійного при різних температурах сушильного агента

В результаті аналізу літературних джерел [9, 10, 11] до таблиці 1 зведено ряд моделей, які описують кінетику процесу сушіння щільних матеріалів.

Таблиця 1 – Моделі, що описують кінетику сушіння щільних матеріалів

| | Назва моделі | Рівняння моделі |
|---|-------------------------------------|---|
| 1 | Ньютона (Newton) | $MR = \exp(-k \cdot t)$ |
| 2 | Хендерсона-Пабіса (Henderson-Pabis) | $MR = a \cdot \exp(-k \cdot t)$ |
| 3 | Пейджа (Page) | $MR = \exp(-k \cdot t^n)$ |
| 4 | Видозмінене Пейджа (Modified Page) | $MR = \exp[-(k \cdot t)^n]$ |
| 5 | Логарифмічна | $MR = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$ |
| 6 | Вонга і Сінга (Wang and Singh) | $MR = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2$ |
| 7 | Міділлі (Midilli) | $MR = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$ |

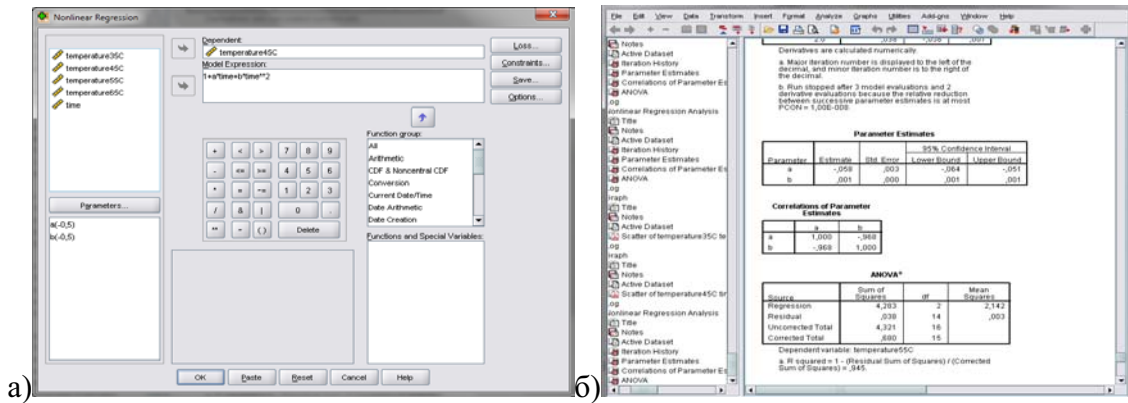
В рівняннях в табл.1. MR - коефіцієнт початкової вологості матеріалу;
 a, b, c, k, n – невідомі коефіцієнти, що визначаються властивостями конкретного матеріалу, початковими параметрами матеріалу і режимами сушіння;
 t – час від початку сушіння, хв.

$$MR = \frac{W_{абс.поч.}}{W_{абс.}}, \quad (1)$$

де $W_{абс.поч.}$ – початкова абсолютна вологість матеріалу, %;

$W_{абс.}$ – абсолютна вологість матеріалу через час t від початку сушіння, %.

Для одержаних експериментальних даних (рис. 2) встановлено значення невідомих коефіцієнтів кожного з представлених в табл.1. рівнянь моделей сушіння, при яких забезпечується найбільш точне відтворення експериментальних кривих кінетики сушіння льону олійного при заданих параметрах матеріалу і режимах сушіння. Коефіцієнти встановлено в результаті нелінійного регресійного аналізу здійсненого за допомогою програми SPSS 17.0.



а) введення параметрів для розрахунку; б) одержання результатів розрахунку

Рисунок 3 - Розрахунок за допомогою програми SPSS 17

Графічне представлення цих моделей для насіння льону олійного з встановленими значеннями невідомих коефіцієнтів подано на рисунку 4.

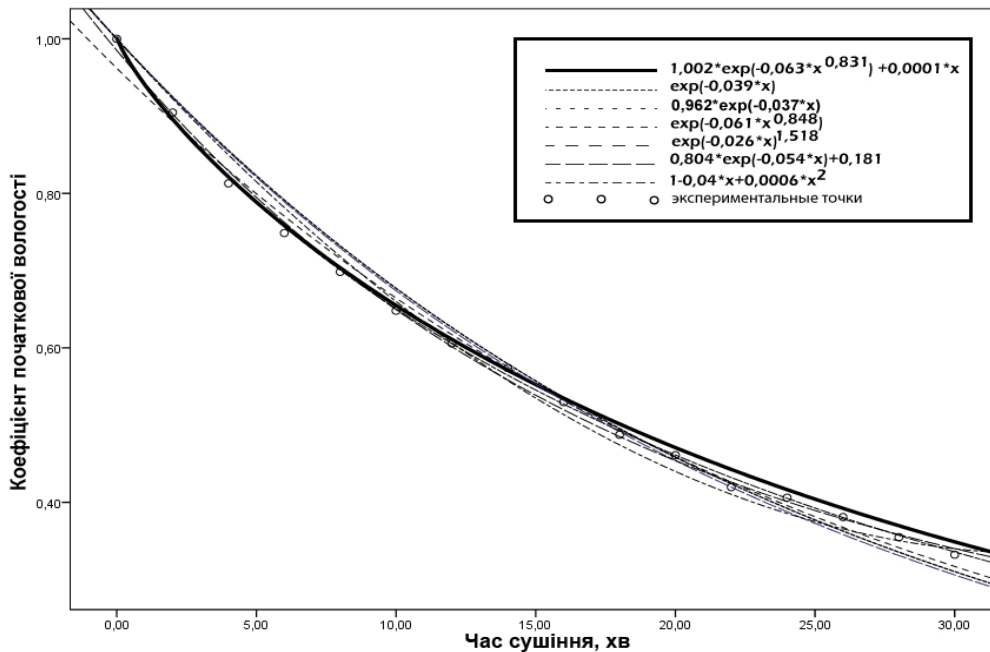


Рисунок 4 - Криві, що відображають різні моделі кінетики сушіння насіння льону олійного за температури сушильного агента 45°C

Оцінка точності кожної моделі і їх порівняння проводилося за трьома показниками: коефіцієнт детермінації, сума квадратів похибок, стандартна середньоквадратична похибка.

Коефіцієнт детермінації:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{p,i} - MR_{ексн,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_p - MR_{ексн.ср,i})^2}, \quad (2)$$

де $MR_{p,i}$ – розрахункове значення величини;

$MR_{ексн,i}$ – експериментальне значення величини;

$MR_{ексн.ср,i}$ – середнє експериментальне значення;

N – кількість спостережень.

Сума квадратів похибок:

$$SSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{p,i} - MR_{ексн,i})^2}{N}. \quad (3)$$

Стандартна середньоквадратична похибка:

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{p,i} - MR_{ексн,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

В результаті порівняння встановлено, що найбільш точною в даному випадку є модель Міділлі. Значення цих показників для даної моделі зведені до таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати оцінки точності моделі

| Модель | °C | Коефіцієнт детермінації (R^2) | Сума квадратів похибок (SSE) | Стандартна середньоквадратична похибка (RMSE) |
|---------|----|-----------------------------------|------------------------------|---|
| Міділлі | 35 | 0,999 | 0,567 | 0,000 |
| | 45 | 0,999 | 0,616 | 0,000 |
| | 55 | 0,999 | 0,680 | 0,001 |
| | 65 | 0,999 | 0,755 | 0,001 |

Значення коефіцієнтів a , b , k , n для моделі Міділлі, яка найбільш точно описує кінетику процесу сушіння насіння льону олійного при заданих параметрах, зведені до таблиці 3.

Таблиця 3 – коефіцієнти для кривих сушіння для найточнішої моделі

| $MR = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$ | | | | |
|---|-------------|-------|-------|-------|
| Температура сушильного агента, °C | коефіцієнти | | | |
| | a | b | k | n |
| 35 | 1 | 0,003 | 0,029 | 1,088 |
| 45 | 1,002 | 0,001 | 0,063 | 0,831 |
| 55 | 1,001 | 0,001 | 0,148 | 0,643 |
| 65 | 1,001 | 0,001 | 0,284 | 0,567 |

При розробці нової конструкції сушарки для насіння льону олійного ставились наступні вимоги:

- рівномірність сушіння і необхідність перемішування матеріалу в процесі сушіння, що зумовлено невеликими розмірами насіння і їх формою, що спричиняє ускладнене переміщення сушильного агента крізь нерухомий шар;

- низький ступінь пошкодження матеріалу під час сушіння;

- можливість регулювання тривалості перебування матеріалу в зоні дії сушильного агента;
- висока продуктивність, енергоефективність і ступінь механізації процесу.

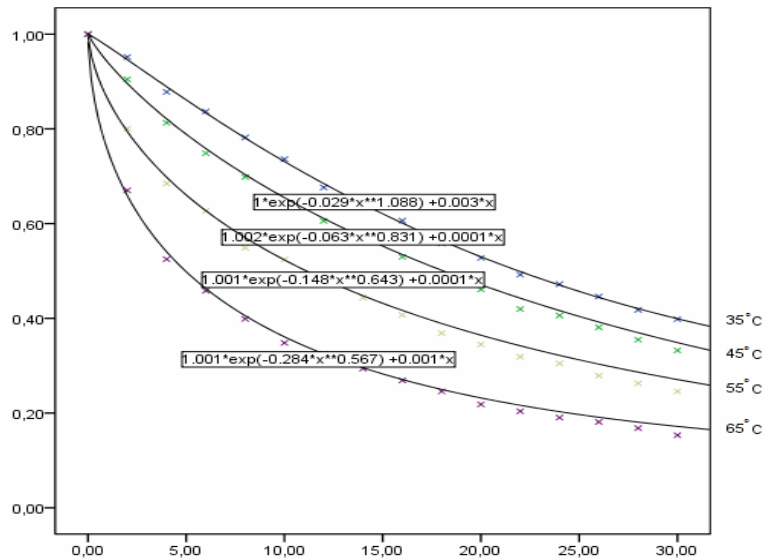
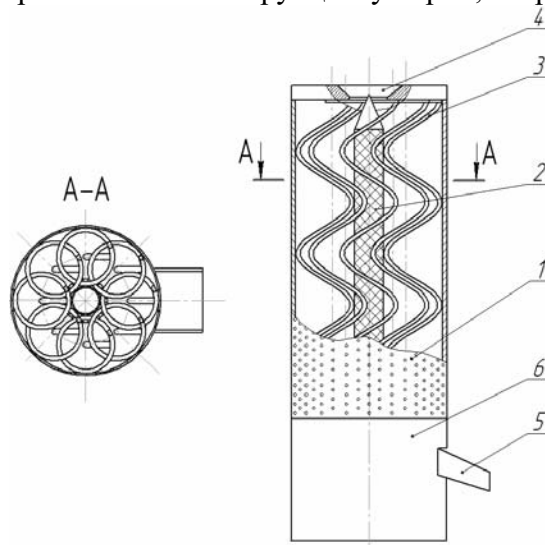


Рисунок 5 - Теоретичні криві сушіння насіння льону олійного при різних температурах сушильного агента для найбільш точної моделі

В результаті була запропонована конструкція сушарки, зображена на рисунку 6.



- 1 – перфорована стінка сушильної камери; 2 – перфорована колона сушильної камери; 3 – робочі органи для перемішування матеріалу; 4 – завантажувальний пристрій; 5 – вивантажувальний пристрій; 6 – теплогенератор з вентилятором

Рисунок 6 – Сушарка для насіння льону олійного

Сушарка працює наступним чином. Матеріал подається в сушильну камеру через завантажувальний пристрій 4 у верхній частині сушарки, вентилятором нагнітається атмосферне повітря і за допомогою теплогенератора 6 нагрівається до потрібної температури. Після цього сформований сушильний агент подається у перфоровану колону 2, розміщену в центрі циліндричної сушильної камери, звідки потрапляє в сушильну камеру і проходить крізь матеріал, що перебуває в сушильній камері, за всією її висотою, забирає в нього надлишкову вологу і відводиться з сушильної камери через перфоровану стінку 1. В сушильній камері встановлені робочі органи 3, виконані у формі профіля, закрученого за циліндричною гвинтовою лінією. В результаті обертання робочих органів 3 в напрямку, що забезпечує переміщення їх

витків догори, матеріал, що перебуває в сушильній камері, переміщується. Під дією гравітації і в результаті постійного перемішування матеріал поступово переміщується донизу, одночасно досягаючи кондиційної вологості. Після цього матеріал вивантажується за допомогою вивантажувального пристрою 5. Конструкція робочих органів для перемішування матеріалу забезпечить низький рівень пошкодження насіння, а їх розміщення в сушильній камері – рівномірне перемішування матеріалу. При цьому інтенсифікується процес виділення вологи, забезпечуючи високу енергоефективність і продуктивність сушіння. Необхідна тривалість перебування матеріалу в сушильній камері контролюється вивантажувальним пристроєм.

Висновки. Льон олійний має ряд морфологічних, фізико-механічних та інших відмінностей від льону-довгунця, що обумовлює доцільність його окремого дослідження. Проведені дослідження сушіння льону олійного дозволять вийти на раціональні режимні параметри сушіння, а також уникнути небажаних надмірних енергетичних витрат у процесі сушіння. При розробці нової конструкції сушарки для насіння льону олійного було враховано особливості процесу сушіння цього матеріалу, а також недоліки існуючих типів сушарок. Модель сушіння насіння льону олійного дозволить обґрунтувати параметри нової конструкції сушарки.

Список літератури

1. Живетин В. В. «Масличный лен и его комплексное использование / В. В. Живетин, Л. Н. Гинзбург – Центральный научно-исследовательский институт комплексной автоматизации легкой промышленности, 2000. – 92 с.
2. Санин А. А. Технология возделывания льна масличного в зоне Среднего Поволжья. Рекомендации / А. А. Санин, Л. А. Косых – Кинель, 2006.
3. Рогаш А. Р. Льноводство / А.Р.Рогаш – М. : Колос, 1967. – 583 с.: ил., [1] л. схем.
4. Лыков А. В. Теория сушки / А. В. Лыков – М. : «Энергия», 1968. – 472 с., ил.
5. Дідух В. Ф. Підвищення ефективності сушіння сільськогосподарських матеріалів: Монографія / Володимир Федорович Дідух. – Луцьк: ЛДТУ, 2002. – 165 с.
6. Зеленко В. И. Конвективная сушка сельскохозяйственных материалов в плотном слое: Основы теории / В. И. Зеленко. – Тверь: Обл. кн.-журн. изд-во, 1998. – 96 с.
7. Mujumdar M. S. – Handbook of Industrial Drying / M. S. Mujumdar. – 3 ed. – CRC Press, 2006.
8. Дідух В.Ф Збирання та переробка льону-довгунця. Монографія / В. Ф. Дідух, І. М. Дударев, Р. В. Кірчук. – Луцьк : Ред.-вид. Відділ ЛНТУ, 2008. – 215 с.
9. Doymaz I. The thin-layer drying characteristics of corn / I. Doymaz, M. Pala // Journal of Food Engineering. – 60. – 2003. – P. 125-130.
10. Cihan A. Modelling of intermittent drying of thin layer rough rice /Ahmet Cihan, Kamil Kahveci // Journal of Food Engineering. – 79. – 2007. – P. 293-298.
11. Rafiee Sh. Thin Layer Drying Properties of Soybean / Sh. Rafiee, A. Keyhani, M. Sharifi, A. Jafari, H. Mobli, and A. Tabatabaefar // J. Agric. Sci. Technol. – Vol. 11. – 2009. – P. 289-300.

А.Ящук, Р. Кирчук.

Исследование кинетики сушки семян льна масличного с разработкой конструкции сушилки

Представлены результаты экспериментальных исследований сушки семян льна масличного. Обоснована модель, описывающая кинетику процесса сушки семян льна масличного для заданных параметров. Предложена конструкция сушилки для семян льна масличного.

A. Yaschuk, R. Kirchuk

The analysis of the drying kinetic of flax oilseed with the development of a construction of a dryer

The results of experimental researches of drying of flax oilseed are presented. The model describing kinetic of a drying process of flax oilseed with specified parameters is selected. A construction of dryer for seeds of oil flax is suggested.

Одержано 19.09.11