

УДК 631.365:633.34

© К.Є. Цизь, Р.В. Кірчук, к.т.н., Л.Ю. Забродоцька, к.т.н.,  
Луцький національний технічний університет

## **ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ДЕФОРМАЦІЇ ОБОЛОНКИ НАСІНИНИ СОЇ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ СУШІННЯ**

*У статті представлено результати теоретичних досліджень впливу глибини пошкодження оболонки насінини сої на інтенсивність сушіння. Пропонується кількісно оцінювати даний процес коефіцієнтом збільшення інтенсивності сушіння  $K_i$ .*

### **ДЕФОРМАЦІЯ, НАСІННЯ, СОЯ, СУШІННЯ, ІНТЕНСИВНІСТЬ.**

**Постановка проблеми.** Соя – одна з провідних сільськогосподарських культур сьогодення, яка багато років належить до найважливіших стратегічних рослин світового землеробства. Це цінна білково-олійна культура, що має широкий спектр використання в кормовиробництві, харчовій, переробній промисловості та медицині. В її насінні міститься 35–45% протеїну, 18–25% олії, вуглеводи, мікроелементи та цілий набір біологічно активних фітопоживних речовин. Соя є головним джерелом протеїну в комбікормах для тварин [1, 2].

Розробка енергозберігаючих методів, які б забезпечували мінімальні затрати на посів, збирання і наступну переробку сої є актуальними завданнями для подальших наукових досліджень.

Однією з найбільш енергозатратних технологічних операцій післязбиральної обробки сільськогосподарських матеріалів є процес сушіння. Тому актуальним є дослідження даного процесу та проведення пошукових експериментів у цьому напрямку, з метою знаходження оптимального методу, який забезпечував би швидке та якісне сушіння при найменших питомих витратах.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Питанням кінетики сушіння сільськогосподарських матеріалів, волого- та теплообміну між поверхнею матеріалу та сушильного агента присвячено багато наукових праць [3-5].

У результаті аналізу попередніх досліджень можна виділити такі основні методи інтенсифікації процесу сушіння:

- збільшення швидкості повітря та температури сушильного агента, що в свою чергу призводить до збільшення коефіцієнта теплообміну;
- попередній нагрів зерна;

– збільшення площі контакту сушильного агенту з поверхнею матеріалу.

Після проведення ряду експериментальних досліджень [6, 7], було зроблено висновок, що незначне деформування поверхні насінини сої призводить до інтенсифікації процесу сушіння (рис. 1) у випадку подальшої обробки для отримання олії, оскільки експозиція сушіння в такому випадку зменшується в 1,5 рази.

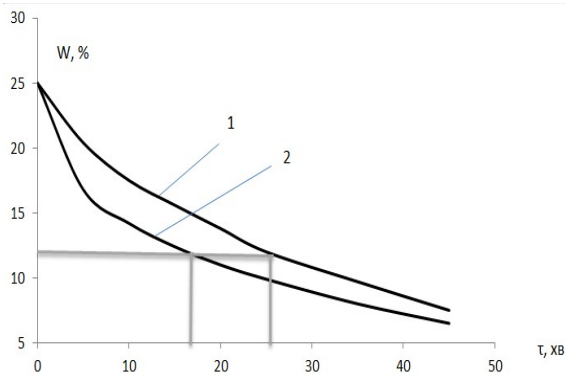


Рис. 1 – Зміна вологості насіння сої з часом: 1 – недеформовані насінини; 2 – механічно деформовані насінини

Проте, не дослідженим і не обґрунтованим залишається питання величини (глибини) пошкодження оболонки насінини, її безпосередній вплив на процес інтенсифікації сушіння сої.

**Мета дослідження.** Метою роботи є визначення впливу деформування, а саме величини (глибини) надрізу поверхні насінини на процес сушіння.

**Результати дослідження.** Для вологих матеріалів характерні три періоди сушіння: період нагрівання, 1-й період (період постійної швидкості сушіння), 2-й період (період падаючої швидкості сушіння).

Найбільш цікавим, з точки зору процесів сушіння сільськогосподарських матеріалів, можна вважати 1-й період, коли видаляється основна маса вологи і середньоінтегральне значення вологості наближається до кондиційного. При такому значенні насіннєвий матеріал можна зберігати тривалий час у процесі його подальшого обробітку. Даний період характеризується сталою швидкістю сушіння.

У період постійної швидкості сушіння температура матеріалу постійна і все тепло передане матеріалу, йде на випаровування вологи.

Інтенсивність випаровування (сушіння)  $j_n$  можна виразити залежністю [3]:

$$j_n = \frac{N \cdot R_v \cdot \rho_0}{100}, \quad (1)$$

де  $N$  – швидкість сушіння в період постійної швидкості сушіння, %/год;  $R_v$  – відношення об'єму матеріалу до його поверхні, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;  $\rho_0$  – густина матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;  $r$  – питома теплота пароутворення, кДж/кг.

Вираз (1) можна записати для двох випадків:

– недеформоване насіння:

$$j_{n_1} = \frac{N_1 \cdot R_{v_1} \cdot \rho_{0_1}}{100}; \quad (2)$$

– насіння, що попередньо піддавалось механічній деформації (пошкоджена цілісність оболонки насінини):

$$j_{n_2} = \frac{N_2 \cdot R_{v_2} \cdot \rho_{0_2}}{100}. \quad (3)$$

Припускаючи, що інтенсивність випаровування (сушіння)  $j_n$  однакова у першому і другому випадках, прирівняємо (2) і (3):

$$j_{n_1} = j_{n_2} = \frac{N_1 \cdot R_{v_1} \cdot \rho_{0_1}}{100} = \frac{N_2 \cdot R_{v_2} \cdot \rho_{0_2}}{100}. \quad (4)$$

Оскільки, у першому і другому випадках сушінню піддається один і той же матеріал, то  $\rho_{0_1} = \rho_{0_2}$ .

Швидкість сушіння в період постійної швидкості сушіння складе:

$$N_1 = \frac{W_{нк} - W}{\tau_1}; \quad (5)$$

$$N_2 = \frac{W_{нк} - W}{\tau_2}; \quad (6)$$

де  $W_{нк}$  – початкова вологість насіння сої, %;  $W_{к}$  – кінцева вологість, %;  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  – відповідно час сушіння недеформованого і механічно деформованого насіння.

Відношення об'єму матеріалу до його поверхні:

$$R_{v_1} = V_1 / S_1 = \frac{4/3 \cdot \pi \cdot R^3}{4 \cdot \pi \cdot R^2} = \frac{R}{3}; \quad (7)$$

$$R_{v_2} = V_2 / S_2, \quad (8)$$

де  $V_1, V_2$  – відповідно, об'єм недеформованої і механічно деформованої насінини, м<sup>3</sup>;  $S_1, S_2$  – відповідно, площі поверхні цілої і деформованої насінини, м<sup>2</sup>;  $R$  – радіус насінини сої, м.

Можна прийняти допущення, що складовими площі контакту сушильного агенту з механічно деформованою насінною сої будуть площа її поверхні, а також значення двох площ сегментів, утворених в результаті її надрізу (рис. 2):

$$S_2 = S_{нас} + 2S_{сегм} = 4\pi R^2 + 2S_{сегм}. \quad (9)$$

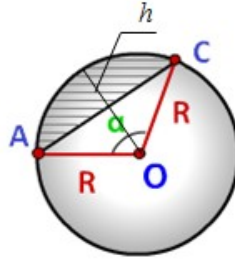


Рис. 2 – Розрахункова схема деформування (надрізу) поверхні насінини

Тоді, враховуючи (9), формула (8) набуде вигляду:

$$R_{v_2} = V_2 / S_2 = \frac{4/3 \cdot \pi \cdot R^3}{4 \cdot \pi \cdot R^2 + 2 \cdot S_{сегм}}. \quad (10)$$

Отже, підставляючи залежності (5)-(10) у вираз (4), одержимо:

$$\frac{W_{нк} - W}{\tau_1} \cdot \frac{R_{v_2}}{3} = \frac{W_{к} - W}{\tau_2} \cdot \frac{4/3 \cdot \pi \cdot R^3}{4 \cdot \pi \cdot R^2 + 2 \cdot S_{сегм}}. \quad (11)$$

Після ряду геометричних перетворень площа сегменту, утвореного під час надрізу насінини складатиме:

$$S_{надрізу} = 2\pi R^2 \cdot \left( \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_2} \right). \quad (12)$$

Площа сегмента круга визначається (рис. 2):

$$S_{сегм} = \frac{1}{2} R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha), \quad (13)$$

де  $\alpha$  – центральний кут, рад.

Прирівнявши (12) і (13), одержимо:

$$4\pi \cdot \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_2} = \alpha - \sin \alpha. \quad (14)$$

З рисунку видно, що

$$\cos(\alpha / 2) = \frac{R - h}{R}, \quad \alpha = 2 \arccos\left(\frac{R - h}{R}\right), \quad (15)$$

де  $h$  – глибина надрізу насінини, м.

$$\frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_2} = \frac{\arccos\left(\frac{R-h}{R}\right)}{2\pi} - \frac{\sin\left(2\arccos\left(\frac{R-h}{R}\right)\right)}{4\pi}. \quad (16)$$

Позначимо:  $\frac{\tau_2}{\tau_1} = K_i$  – коефіцієнт збільшення інтенсивності сушіння.

Тоді, формула (16) набуде вигляду:

$$\frac{1}{K_i} - 1 = \frac{\arccos\left(\frac{R-h}{R}\right)}{2\pi} - \frac{\sin\left(2\arccos\left(\frac{R-h}{R}\right)\right)}{4\pi}. \quad (17)$$

Залежність коефіцієнта збільшення інтенсивності сушіння від глибини надрізу насінини матиме вигляд:

$$K_i = \frac{4\pi}{2 \cdot \arccos\left(\frac{R-h}{R}\right) - \sin\left(2\arccos\left(\frac{R-h}{R}\right)\right) + 4\pi}. \quad (18)$$

Використовуючи рівняння (18), побудовано графічну залежність коефіцієнта  $K_i$  від глибини надрізу насінини  $h$  (рис. 3).

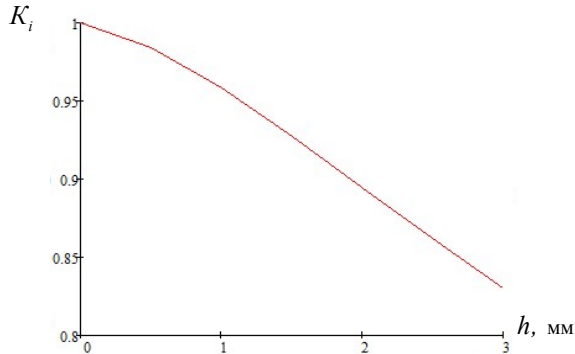


Рис. 3 – Графічна залежність коефіцієнта  $K_i$  від глибини надрізу насінини  $h$

Аналізуючи отриманий графік, можна зробити висновок, що глибина надрізу оболонки насінини  $h$ , має істотний вплив на процес сушіння.

У випадку надрізу оболонки насінини  $K_i < 1$ , а це говорить про те, що час сушіння недеформованих насінин  $\tau_1$  більший за час сушіння механічно деформованих насінин  $\tau_2$ .

**Висновок.** Попередня підготовка насіння сої до сушіння у післязбиральному процесі обробітку, шляхом деформування (руйнування) поверхні насінини, з метою отримання олії є необхідною для зниження енерговитрат. Оцінку ефективності даного процесу пропонується виконувати через коефіцієнт збільшення інтенсивності сушіння  $K_i$ , а величину деформування насінини можна встановити на основі аналізу кривих сушіння сої.

#### Література

1. Балакай Г.Т. Соя: екологія, агротехніка, переробка / Г.Т. Балакай, О.С. Безуглова. – Д.: Фенікс, 2003. – 160 с.
2. Заверюхин В.І. Виробництво сої / В.І. Заверюхин, И.Л. Левандовський. – К.: Врожай, 1988. – 112 с.
3. Лыков А.В. Теория сушки / А.В. Лыков – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
4. Котов Б.И. Технологические и теплоэнергетические основы повышения эффективности сушки растительного сырья: дис. ... доктора техн. наук: 05.20.01 / Борис Иванович Котов. – Глеваха, 1994. – 440 с.
5. Дідух В.Ф. Підвищення ефективності сушіння сільськогосподарських рослинних матеріалів: Монографія – Луцьк: ЛДТУ, 2002. – 165 с.
6. Цизь К.Є. Обґрунтування швидкості руху насіння сої в обрушувальному пристрої для підготовки процесу сушіння / К.Є. Цизь, Кірчук Р.В. // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. – Вип. 24. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2013. – С.155–160.
7. Цизь К.Є. Дослідження процесу та пошук шляхів інтенсифікації сушіння насіння сої / К.Є. Цизь, Р.В. Кірчук // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 42. – Час. II. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – С. 75–78.

*Рецензент д.т.н., проф. Г.А. Хайліс.*