

**УДК 664.743.02:519.876.5**

**Гапонюк І.І., д.т.н.,**

*Національний університет харчових технологій (НУХТ), м. Київ, Україна*

## **УПРАВЛІННЯ СЕПАРУВАННЯМ СИПКИХ СУМІШЕЙ КОЕФІЦІЄНТОМ ТЕРТЯ**

За наявності механічно-зв'язаної вологи на поверхні сипких частинок їх сипкість суттєво погіршується. Це суттєво ускладнює застосування ситових і повітряних сепараторів для очищення зерна від сміттєвих домішок. З цієї причини таку суміш у виробничих умовах частіше всього зневоднюють без попереднього її очищення від сміттєвих домішок, що є порушенням нормативних вимог технології післязбиральної обробки та спричиняє додаткові витрати енергії на сушіння й погіршення стану пожежовибухобезпеки [1, 3, 4].

Найбільш суттєво впливає на показники роботи сепаратора сипкість сумішей, а на її сипкість – коефіцієнт зовнішнього тертя, який в свою чергу прямо пов'язаний із вологістю поверхневого шару частинок [2, 5].

Нашими дослідженнями встановлено, що для різних компонентів зернової суміші однакових розмірів і форми залежність їх сипкості від вологості є неоднакова і простежується така закономірність. За однакової вологості сипкість частинок меншої об'ємної маси

погіршується більшою мірою.

Відповідно до Програми досліджень нами було теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено енергоощадні методи і способи підвищення продуктивності та ефективності процесу сепарування різних за складом та вологості сумішей. Результати цих досліджень, на нашу думку, можна застосовувати для більшості сипких капілярно-пористих тіл вологістю меншою 50%, розміром частинок до 0,015 м, об'ємною масою до 900 кг/м<sup>3</sup> для нормальних умов (природних) довкілля.

Експериментально підтверджено, що кути зовнішнього тертя по металевій та дерев'яній поверхні для зернинок пшениці в діапазоні перемінної вологості від 13 до 28 % не суттєво відрізняється (в межах 0,5 град), а із подальшим зростанням вологості зернинок – кут зовнішнього тертя по дерев'яній поверхні до 5 – 8 % перевищує значення кута тертя для металеві поверхні. Для частинок з натурною масою значно меншої від зерна ( $N < 250 \text{ кг/м}^3$ ) (легких домішок) ця залежність від вологи проявляється кількакратно більшою мірою.

На підставі виконаних досліджень отримано залежність кута зовнішнього тертя від вологості поверхневих шарів легких домішок ( $\Psi_D$ ) в діапазоні вологості  $W_D = 6 - 80\%$  (1) та зерна пшениці ( $\Psi_3$ ), в діапазоні вологості  $W_0 = 13 - 38\%$  (2). Ці залежності носять лінійних характер:

$$\Psi_D = 38,38 + 0,198 \cdot W_D, \quad (1)$$

$$\Psi_3 = 27,5 + 0,039 W_3, \quad (2)$$

де  $\Psi_D$  і  $\Psi_3$  – кути зовнішнього тертя домішок об'ємною масою 110...130 кг/м<sup>3</sup> в діапазоні їх вологості  $W_D = 6...55\%$  та зернинок пшениці в діапазоні вологості  $W_3 = 13...38\%$ ;  $W_D$  і  $W_3$  – вологість домішок та зернинок пшениці відповідно.

По результатам експериментальних даних щодо впливу вологості поверхневих шарів компонентів зернової суміші на її подільність і ефективність сепарування ( $\varepsilon$ ) та продуктивність сепаратора ( $G$ ) з плоскими ситами отримано відповідні напівемпіричні рівняння методом апроксимації для суміші зерна пшениці із вмістом 5...8 % домішок в діапазоні перемінної вологості суміші від 13,5 до 33 %. Для контрольних зразків суміші – рівняння 3 і 4, а дослідних – рівняння 5 і 6 відповідно:

$$\varepsilon_k = 597,6 \cdot (W)^{-0,71}, \quad (3)$$

$$G_k = 0,69 - 0,014 \cdot (W), \quad (4)$$

$$\varepsilon_d = 133,7 - 2,56 \cdot (W), \quad (5)$$

$$G_d = 0,73 - 0,013 \cdot (W), \quad (6)$$

Порівняння виразів (3) і (5) та виразів (4) і (6) переконливо доводять переваги застосовуємої технології інтенсифікації сепарування вологих зернових сумішей в діапазоні перемінної вологості 13...35 %.

Для встановлення економічної доцільності диференційовано встановлених розрахунковим шляхом витрат енергії управління сипкістю периферійних шарів частинок суміші (швидкістю течії робочих газів та/або їх температурою) були виконані відповідні дослідження та розрахунки. Нижче наведено напівемпіричні рівняння, отримані методом апроксимації дослідних даних:

а) залежності ефективності виділення домішок із суміші пшениці (7), потрапляння повноцінних зерен пшениці в ці домішки (8) та узагальної ефективності (9) сепарування суміші від продуктивності сепаратора ЗЛС-100 для вологості суміші  $W_0 = 25...28\%$ :

$$\varepsilon_{\text{доміш}} = 160,1 - 99,9 \cdot (G), \% \quad (7)$$

$$\varepsilon_{\text{зерна}} = 155,55 - 110,0 \cdot (G), \% \quad (8)$$

$$\varepsilon_{\text{узагальн}} = 174,63 - 159,0 \cdot (G), \% \quad (9)$$

б) впливу тривалості міжфазової взаємодії ( $d\tau$ ) на продуктивність сепарування ЗС пшениці (кг/хв) вологістю  $W_0=23,5\%$  та  $W_0=33\%$  на сепараторі ЗЛС відповідно:

$$G_{W23\%} = 0,48 + 0,09 \cdot (d\tau), \quad (10)$$

$$G_{W33\%} = 0,28 + 0,06 \cdot (d\tau), \quad (11)$$

в) впливу тривалості міжфазової взаємодії на ефективність сепарування за ступенем потрапляння повноцінних зерен пшениці в смітні домішки суміші:

$$\varepsilon_{зерна\ 23\%} = 17,91 - 2,09 \cdot (d\tau), \quad (12)$$

$$\varepsilon_{зерна\ 33\%} = 32,33 - 4,03 \cdot (d\tau), \quad (13)$$

г) впливу тривалості міжфазової взаємодії на комбінований показник ефективності процесу сепарування суміші тих же параметрів:

$$\chi_{зерна\ 23\%} = 69,28 + 1,17 \cdot (d\tau), \quad (14)$$

$$\chi_{зерна\ 33\%} = 52,55 + 2,18 \cdot (d\tau), \quad (15)$$

За результатами виконаних досліджень залежності коефіцієнту зовнішнього тертя ( $\psi_i$ ) від вологості компонентів суміші ( $W_i$ ) та перемінної вологості поверхневих шарів зернин ( $dW/d\tau$ ) від параметрів робочих газів ( $t, d, v$ ), а також від тривалості міжфазового тепловологообміну ( $\tau$ ) встановлено можливість змінювати величину  $\psi_i$  компонентів суміші змінними параметрами робочих газів  $\{\psi_i = f(t, v, \tau)/d\}$ .

Для дослідних зразків суміші зерна із домішками розрахунково отримано та експериментально уточнено раціональні параметри технологічного способу покращення сипкості суміші впродовж тривалості її сепарування на ситовому або повітряно-ситовому сепараторі до 180 с  $\{\tau_\psi = f(d/(t, v))\}$ .

Із виконаних досліджень та виробничих можливостей нами вибрані такі параметри робочих газів для міжфазового тепловологообміну для малорухомого шару суміші:  $t = 110 - 130^\circ \text{C}$ ,  $d = 6 - 10 \text{ г/кг}_{\text{с.п.}}$ ,  $v = 0,5 - 1,5 \text{ м/с}$ . Стан рухомості шару суміші – малорухомий.

Порівняльний аналіз показників ефективності сепарування суміші від енерговитрат з покращення сипкості суміші різного вологовмісту дозволяє зробити висновок, що в межах незмінної енергії робочих газів для суміші із більшим вологовмістом доцільно підвищувати температуру робочих газів із одночасним зменшенням тривалості міжфазової взаємодії. Така ж залежність і для домішок із меншими розмірами частинок, що пов'язано із тривалістю процесу пошарового в частинках вирівнювання вологовмісту.

Економічні показники доцільності ( $E$ ) застосування технології підвищення ефективності та збільшення продуктивності сепарування вологої зернової суміші а також вибору раціональних режимів і тривалості, або кількості підведеної теплоти робочих газів до вологих зернових сумішей представлено виразами 16... 18:

$$E_{\text{сепар}} = 45,56 + 0,216 \cdot q_{n.c}, \quad (16)$$

$$E_{\text{суш}} = 253,59 + 2,619 \cdot q_{n.c}, \quad (17)$$

$$E_{\text{узагаль}} = 190,48 + 1,997 \cdot q_{n.c}, \quad (18)$$

де  $E_{\text{сепар}}$ ,  $E_{\text{суш}}$  і  $E_{\text{узагаль}}$  – відповідно доходи зернозаготівельного підприємства з підвищення ефективності і збільшення продуктивності роботи зерноочисного сепаратора типу БЛС-100 при очищенні вологої ЗС від енерговитрат технології покращення сипкості зернової суміші, грн; дохід від зменшення вологовмісту вологої зернової суміші завдяки технології покращення її сипкості, грн.; узагальнений дохід підприємства від витрат  $q_{n.c}$  на технологічну обробку вологої зернової суміші, грн.

Результати експериментальних даних дозволили підтвердити гіпотезу щодо впливу на коефіцієнт зовнішнього тертя частинок компонентів зернової суміші лише вологовмісту поверхневих шарів цих частинок і пов'язаного із ним показника ефективності подільності (сепарування) зернової суміші та сипкість, або продуктивність процесу сепарування. Подібна залежність властива для суміші інших зернових культур, з подібними зерну пшениці структурно-механічними властивостями і домішок зерна.

**Висновки.** Із збільшенням вологовмісту (вологості) капілярно-пористих тіл їх сипкість погіршується і відповідно погіршуються показники роботи ситових й повітряних сепараторів з фракціонування компонентів суміші цих тіл;

1. Управляти показниками роботи сепараторів можна заданим зміненням коефіцієнта зовнішнього тертя компонентів суміші зерна й домішок;
2. Розроблена технологія покращення показників роботи сепараторів зміненням коефіцієнта зовнішнього тертя є технологічно доцільною й економічно виправданою.

### Література

Інструкція по сушінню продовольчого, кормового зерна, насіння олійних культур та експлуатації зерносушарок. – Одеса–Київ, 1997. – 72 с.

1. Гончаров Е.С. Механико-технологическое оборудование и разработка универсальных вибрационных зерновых сепараторов. Автореф. дис. д.т.н.// – М.: – 1986. – 34 с.
2. Непомящий Е.А. Кинетика сепарирования зерновых смесей.//– М.:Колос, –1982–175с.
3. Тастанбеков С.Т. Основы расчета траектории движения зерновок в процессе гидросепарирования /Тезисы докл.У Всесоюзной науч.конф. Механика сыпучих материалов. – Одесса. 1991. – С.168.
4. Тищенко Л.М. Интенсификация сепарирования зерна// –Харьков: –Основа–2004–222с.