



Література

1. Бурдо О.Г. Енергетика харчових нанотехнологій // Наукові праці ОДАХТ, 2003. – № 27– С.192–98
2. Гапонюк І.І. Удосконалення технології сушіння зерна. [Монографія]–Одеса.: Поліграф, 2009.–82с..
3. Жидко В.И. Зерносушение и зерносушилки / В.И. Жидко, В.А. Резчиков, В.С. Уколов – М.: Колос, 1982. – 239 с.
4. Малин Н.И. Энергосберегающая сушка зерна. – М.: КолоСС, 2004. – 240 с.
5. Остапчук Н.В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств: [Уч. пособие.]// – К.: Вища шк. – 1991. – 367 с.
6. Станкевич Г.М. Современная сушка семян подсолнечника – залог их качества и сохранности // Олійно-жировий комплекс, № 2, 2003. – С. 25–28.

УДК 664.743.02:519.876.5

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВА ІНТЕСИФІКАЦІЯ СЕПАРУВАННЯ ЗЕРНОВОЇ СУМІШІ ПІДВИЩЕНОЇ ВОЛОГОСТІ

Гапонюк І.І., к.т.н., доцент, Шаповаленко О.І., д.т.н., професор
Національний університет харчових технологій, м. Київ

Наведено аналіз сучасного стану очищення зерна від різноманітних домішок та технологічні рішення цього питання, зазначено методи інтенсифікації сепарування та проблемні питання з очищенням зернової суміші підвищеного вологовмісту, досліджено вплив наявності механічно-зв'язаної вологи та підвищеного вологовмісту поверхневих шарів частинок зернової суміші на її подільність, обґрунтовано спосіб та режими підвищення сипкості компонентів зернової суміші змінням вологовмісту поверхневих шарів частинок домішок цієї суміші меншої натурної маси від зерна.

Analysis of the contemporary state of removal of different admixtures from grain and technological resolutions of this question is given, methods of cleaning and intensification of separation and problematic questions of cleaning the grain mixture of the increased moisture content are indicated, is investigated the influence of the presence of the mechanically- connected moisture and increased moisture content of the surface layers of the particles of grain mixture on its divisibility, is substantiated method and regimes of an increase in the friability of the components of grain mixture by a change in the moisture content of the surface layers of the particles of this mixture of smaller full-scale mass than grain.

The keywords: storage of grain, grain, the admixture of grain, moisture, separation, effectiveness

Ключові слова: зберігання зерна, домішки зерна, волога, сепарування, сипкість, ефективність.

Для доведення показників якості зерна зібраного урожаю до базисних кондицій, зерно перед розміщенням його на зберігання згідно Правил [7] обов'язково очищають від смітцевої, зернової та інших до-

мішок на зерноочисних машинах. Вологе та сире зерно також підлягає очищенню на сепараторах перед його сушінням [7]. Слід відмітити, що додаткове очищення зерна до вимог переробної галузі (мукомельної та круп'яної промисловості), експорту та інших цілей здійснюють уже в процесі зберігання або підготовки партії однорідного зерна до відвантаження. Це дозволяє зменшити навантаження на зерноочисне устаткування зернозаготівельного підприємства.

В зарубіжній зернозаготівельній практиці технологія післязбиральної підробки зерна подібна вітчизняній [10, 11, 13]. Для зменшення навантаження на сепаратори застосовують прогресивну агротехнологію забезпечення високої однорідності вирощуваної культури, використовують високопродуктивні зернозбиральні комбайни із високим ступенем очищення зібраного урожаю в полі та високопродуктивне зерноочисне устаткування із попереднім очищенням зерна на пневмоситових скальператорах [2, 4, 5, 10 – 13]. Питоме навантаження на ситову поверхню сепараторів провідних іноземних компаній складає близько $6,2 - 7 \text{ т/м}^2$ за годину, витрати повітря на аспірацію обладнання – подібно вітчизняним сепараторам.

Питанням процесу фракціонування зернової суміші (ЗС) на зерноочисних сепараторах присвячено багато досліджень вітчизняних та зарубіжних науковців [2, 4, 5, 10 – 13]. Для фракціонування застосовують різноманітні способи засновані на подільності ЗС. Проте процеси вібросепарування займають пріоритетне місце у практичній діяльності від застосування вібросепараторів на зернозбиральних комбайнах, до їх використання на зернозаготівельних та переробних підприємствах [4, 5, 10, 10 – 13].

Нарощування ємностей зернозаготівельних підприємств, поряд із обмеженими можливостями збільшення площ виробничих приміщень для додаткового розташування технологічного обладнання, обумовлює необхідність збільшувати продуктивність цього обладнання без погіршення якісних показників його роботи. Цю задачу вирішують збільшенням площі робочої поверхні очисної машини, прискоренням процесу самосортування компонентів ЗС або зміною фізичних властивостей ЗС чи окремих її компонентів. Проте практичне застосування першого принципу обмежено розмірами виробничих приміщень та обслуговування великогабаритного устаткування, другого – зменшенням ефективності очищення ЗС. Застосування третього, змінення фізичних властивостей ЗС чи окремих її компонентів, не застосовують із-за недостатності наукових досліджень.

Дослідженнями А.С.Сергєєва, В.М.Соловйова, Г.Н.Павлихіна процесів сепарування та факторів впливу на ефективність роботи сепараторів встановлено оптимальну швидкість переміщення ЗС, що знаходиться між зонами перенавантаження та недовантаження сепаратора [12]. Значення оптимальної швидкості різних культур різне. Перевищення фактичної швидкості переміщення ЗС від оптимальної пов'язано із збільшенням продуктивності сепаратора із одночасним погіршенням подільності ЗС.

В своїх експериментальних дослідженнях Х.А.Ксіфілінова встановила оптимальну швидкість переміщення для олійних культур в межах $v_{zc} \approx 0,17 \text{ м/с}$. Проте такий підхід до встановлення оптимальних параметрів роботи сепаратора по навантаженню на ситову поверхню сепаратора видається дещо сумнівним. Оскільки за однакової швидкості переміщення ЗС різної вологості, наявності міжфазової взаємодії при переміщенні по ситовій поверхні, перемінних параметрів течії газів, змінення засміченості ЗС по мірі переміщення по ситовій поверхні, тощо ефективність очищення може бути різною.

Фактор впливу перемінного вмісту домішок в ЗС по мірі переміщення по ситовій поверхні враховано в розробці Ю.І.Баженова збільшенням кута напрямку коливань сита. Для цього автор рекомендує виготовляти сито зміненої кривизни. Проте і таке рішення не в повній мірі придатне для сепарування ЗС різного співвідношення домішок.

Вплив течії повітря на середню швидкість переміщення ЗС по ситам досліджував А.І.Любимов. Для сит із круглими отворами ним встановлено межову швидкість течії 5 м/с . За більших значень швидкості течії повітря перешкоджає просіюванню зерна крізь сито. На нашу думку межову швидкість було б доцільніше пов'язувати із фактичною швидкістю течії крізь отвори сита із врахуванням фіктивних розмірів отворів та істинних, із урахуванням переміщення зернової

В сучасних дослідженнях вітчизняних і зарубіжних науковців встановлено, що подальша інтенсифікація процесів вібросепарування ЗС удосконаленням відмічених режимних параметрів і вже вичерпана [1, 11, 12]. Тому Л.М.Гросулом, Б.І.Котовим, М.І.Волошиним [1] та іншими визначено, як окремий напрямок інтенсифікації вібраційного сепарування, диференційовано встановлені режимні параметри сепараторів, що ґрунтуються на особливостях густини і розмірів зернин.

Згодом Л.М.Тіщенко, Д.І.Мазоренком, В.Ф.Рідним та іншими [12] обґрунтовано вплив конструктивних параметрів сито-очисних пристроїв на інтенсивність сепарування. Проте в дослідженнях зазначених науковців та інших відомих нам публікаціях, не розглянуто вплив параметрів газових потоків на вологовміст поверхневих шарів частинок ЗС, переміни їх структурно-механічних властивостей та диференційованого управління цими показниками компонентів заданими параметрами робочих газів сепаруючого агрегату.

Особливий інтерес являють дослідження впливу міжфазової взаємодії на інтенсифікацію вібраційного сепарування ЗС відокремленням домішок меншої натурної маси (ДМН) вологої та надміру вологої ЗС. Актуальність цих досліджень підтверджена виробничими складнощами очищення вологої ЗС від ДМН, впливу вмісту цих домішок на стабільність та пожежовибухобезпечність швидкісного зневоднення ЗС, а також стан забруднення доквілля цими домішками доквілля при охолодженні зневодненої ЗС та розміщенні її в ємностях на зберігання або при транспортуванні.

Тому, на нашу думку, заданим змінням вологовмісту поверхневих шарів частинок компонентів ЗС (особливо ДМН) можна підвищити сипкість та прискорити фракціонування вологої ЗС віброаеродинамічним способом. Це завдання можна здійснити короткотривалим конвективним тепломасообміном диференційовано-встановленими параметрами течії робочих газів з рухомим шаром вологої ЗС із подальшим її вібраційним сепаруванням. Аргументуємо цю думку на нижче наведеному аналізі роботи ситових сепараторів.

Відомо, що найбільшого застосування у вітчизняній та зарубіжній практиці отримали дві групи машин: очищення зернової за геометричними розмірами (ситові сепаратори) та аеродинамічними показниками (аспіратори) її компонентів.

Із умови переміщення ЗС в сепараторах, сили інерції (P_i) повинні перевищувати сили зчеплення частинок зернової суміші ($f \cdot G$) із рухомою ситовою поверхнею ($P_i > f \cdot G$). За умов нерівномірного переміщення ситової поверхні із деяким прискоренням a , умови руху частинки масою m по ситовій поверхні будуть визначатися співвідношенням прискорення сита та кутом його нахилу, з одного боку, та коефіцієнту статичного (до моменту руху) f_{cm} , або динамічного (під час руху) f_d тертя ковзання плоских частинок [6]:

$$m \cdot a > f \cdot m \cdot g, \text{ або } a > f \cdot g \quad (1)$$

Для частинок кулеподібної форми, виразивши коефіцієнт тертя-ковзання (f) через коефіцієнт тертя-гойдання (k) до радіуса частинки (r), вираз (1) набуде вигляду:

$$a > \frac{k}{r} \cdot g, \quad (2)$$

Умови руху частинок (1) і (2) виписано для горизонтальної ситової поверхні.

Для нахилених ситових поверхонь з кутом нахилу α до горизонтальної проекції, частинки можуть рухатись вгору, по похилій поверхні сита, або вниз за тих же умов перевищення сил інерції над силами тертя ($P_i > f \cdot G$) із правкою на сили притискування частинки (перпендикулярна складова $P_i^{np} = P_i \cdot \sin \alpha$ та $P_G^{np} = f \cdot G \cdot \cos \alpha$) або послаблення сил тертя, у випадку переміщення частинки вниз [6]

$$P_i^{px} > f \cdot G^{zalb} = (P_i \cdot \cos \alpha - G \cdot \sin \alpha) > f \cdot (P_i \cdot \sin \alpha + G \cdot \cos \alpha), \quad (3)$$

Для випадку переміщення частинки вниз, рушійна сила не буде послаблена додатковою притискуючою складовою сили інерції ($P_i^{np} = P_i \cdot \sin \alpha$) та сили тяжіння ($P_G^{np} = f \cdot G \cdot \sin \alpha$), а сили тертя ($f \cdot G$) будуть зменшені.

Продуктивність ситового сепаратора (Q) визначають через добуток питомого навантаження зернової суміші на 1 см ширини сита (q) на його ширину (B):

$$Q = q \cdot B, \quad (4)$$

Питоме навантаження (q) залежить від ряду конструктивних параметрів сепаратора, що забезпечують вимогу (1) та ефективність фракціонування суміші (4, 5). Для визначення (q) автори рекомендують застосовувати дослідну формулу щодо встановлення висоти шару ЗС, що рухається по поверхні сита:

$$h = \frac{q}{v_{сеп} \cdot \gamma \cdot K}, \quad (5)$$

де q – питоме навантаження на 1 см ширини сита, кг/(м·с); $v_{сеп}$ – середня швидкість переміщення шару ЗС по поверхні сита м/с; γ – об'ємна маса ЗС, кг/м³; K – коефіцієнт розпушеності шару ЗС.

З огляду на умови переміщення шару ЗС (1) та продуктивності сепаратора (4, 5) із факторів впливу на продуктивність зерноочисної машини необхідно виділити коефіцієнт тертя-ковзання (f) по поверхні сита, а на продуктивність – об'ємну масу ЗС (γ) та коефіцієнт розпушеності шару ЗС (K).

Очевидно, що за незмінних параметрів зерноочисної машини та складу ЗС, на зазначені коефіцієнти (f , γ і K) найсуттєвіше впливають вологовміст компонентів шару зерна (W_i) та умови переміщення ЗС.

Зважаючи на те, що останній показник впливає в більшій мірі лише на коефіцієнт розпушеності шару ЗС (K) і для послаблення його впливу застосовують відомі механічні пристрої.

Слід відмітити, що на коефіцієнти (f і K) впливає в більшій мірі вологість поверхневих шарів частинок компонентів ЗС, а вологість внутрішніх шарів лише на коефіцієнт (γ) і в меншій мірі – на коефіцієнт K

Що стосується сепарування ЗС за ознакою відмінностей аеродинамічних показників окремих її компонентів, то судячи із аеродинамічного балансу сил (форм. 6), вміст вологи компонентів ЗС начебто не повинен суттєво впливати на показники процесу аеросепарації за виключенням компонентів із значною залежністю їх густини (ρ) від вологовмісту (d) [6]:

$$G - R = m \cdot g - \xi \cdot F \cdot \frac{\rho_{z.n.} \cdot v_{z.n.}^2}{2} > (<) 0, \quad (6)$$

де G і R – протидіючі сили тяжіння частинки та динамічного потоку газів; m і F – маса (кг) та площа проекції зернинки на площину, нормальну до вектора відносної її швидкості, або міделевий перетин (m^2), $\rho_{z.n.}$ і $v_{z.n.}$ – густина ($кг/м^3$) та швидкість (м/с) газового потоку; ξ – коефіцієнт аеродинамічного опору зернинки газовому потоку.

На нашу думку, виключенням із цього правила можуть бути випадки із наявністю механічно-зв'язаної вологи, що перебуває в рідкому стані на поверхні частинок компонентів ЗС і суттєво погіршує її сипкість та однорідність.

Оскільки в практичній діяльності такі випадки часто зустрічаються, особливо при заготівлі пізніх зернових культур, тому аеросепарування такої ЗС без попередньої її підготовки є неефективним.

Низька ефективність процесу аеросепарування, в свою чергу спричиняє низьку ефективність та малу продуктивність ситового сепарування.

Отже і на показники процесу аеросепарування великий вплив має наявність механічно-зв'язаної вологи та підвищений вологовміст поверхневих шарів частинок ЗС. Вирішення цієї проблеми, на нашу думку, в зневодненні компонентів ЗС. Проте з огляду на значну енергоємність процесу зневоднення, з одного боку, та впливу на сипкість компонентів ЗС лише вологості поверхневих шарів частинок цієї ЗС, тому доцільно покращувати сипкість ЗС сушінням лише поверхневих шарів частинок компонентів.

Ще одним додатковим аргументом на підтвердження цієї тези є результати досліджень впливу різноманітних інтенсифікаторів на ефективність сепарування ЗС. Своїми експериментальними дослідженнями Л.І.Гросула та Л.М. Тищенко [1, 12] довели, що зазначені інтенсифікатори (динамічні, поверхневі та об'ємні), збуджуючи шар ЗС, підвищують пропускну спроможність сепаратора. Проте підвищення продуктивності сепаратора супроводжується відносним збільшенням сходової фракції ЗС та зміною висоти шару переміщасмої ЗС по ситовій поверхні особливо при застосуванні стрічково-хвилеподібних об'ємних інтенсифікаторів [12]. Зміщення рівноваги розподілу енергії шару зерна до периферійних частин сита та частки сходової фракції супроводжується погіршенням подільності суміші.

Нижче розглянемо особливості масо- та тепломасообміну для задач зменшення вологовмісту лише поверхневих шарів частинок ЗС для розв'язання задач виділення життєво активних домішок зерна (покращення показників процесу фракціонування) та сушіння всієї зернини (зменшення енергоємності сушіння) для задач приведення зерна в стійкий стан його зберігання.

Кінетичні рівняння Фоккера-Планка розподілу густини частинок в системі координат $f(t, \mathcal{P})$ ($\int f(t, \mathcal{P}) \cdot d\mathcal{P} = N(t)$) із умовами відповідності рівнянню неперервності [6]:

$$\left(\frac{\partial f}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathcal{P}(t, \mathcal{P})) \right) = \psi(t, \mathcal{P}) \quad (7)$$

та рівняння Больцмана [1, 6] функції описання просторового розподілу частинок по імпульсам :

$$\left(\frac{\partial f(\mathcal{P}, t)}{\partial t} \right) = \int [W(\mathcal{P}, \mathcal{P}') f(\mathcal{P}', t) - W(\mathcal{P}', \mathcal{P}) f(\mathcal{P}, t)] d^3 \mathcal{P}' \quad (8)$$

є найбільш прийнятними для описання подільності двокомпонентної ЗС в розрідженому (псевдозрідженому) стані предмету досліджень цієї роботи з виділення домішок меншої натурної маси (ДМН) від зерна основної культури.

Де $N(t)$ – число частинок в системі у момент часу t ; $\mathcal{P}(t, \mathcal{P})$ - потік ЗС в системі в момент часу t ; $\psi(t, \mathcal{P})$ - функція зовнішніх джерел та пошарового потоку зерна; $f(p, \mathcal{P})$ - імпульси частинок ЗС із масою m ; $W(\mathcal{P}, \mathcal{P}')$ - вірогідність переходу частинки від імпульсу \mathcal{P} до \mathcal{P}' впродовж часу t .

Дослідження проводили на лабораторному ситовому сепараторі (ЗЛС) та тепловологообмінній камері із зразками ЗС найважче відокремлюваними та найпоширенішими біологічними сміттєвими домішками зерна зернових культур ДМН. Сипкість ДМН та зерна оцінювали по коефіцієнтам внутрішнього та зовнішнього тертя.

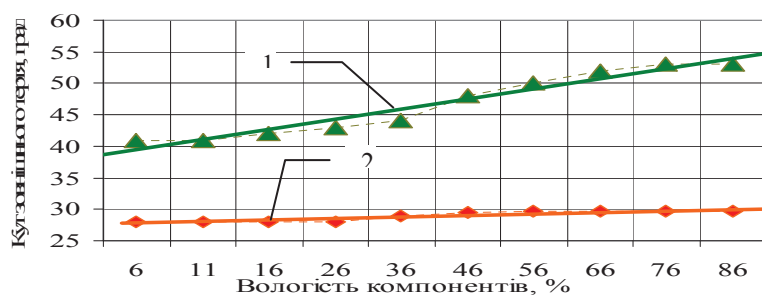


Рис.1 – Залежність кута зовнішнього тертя компонентів зернової суміші від їх вологовмісту: 1 – ДМН; 2 – зерна пшениці

На рис. 1 та табл. 1 і 2 наведено результати досліджень впливу вологості ДМН на кут зовнішнього та внутрішнього тертя. Наведені результати досліджень (табл.1 та рис.1) підтверджують наші припущення щодо неоднакової динаміки змін сипкості різних компонентів ЗС та порівняно більшу залежність коефіцієнтів зовнішнього тертя ДМН порівняно із рештою компонентів ЗС.

Таблиця 1 – Вплив вологості ДМН на їх сипкість

Вологість ДМН, %	Кути тертя,					
	внутрішнього	зовнішнього (металева поверхня)				дерев'яна поверхня (товщина шару 10 мм)
		товщина шару 5 мм	товщина шару 10 мм	товщина шару 20 мм	товщина шару 30 мм	
6	75	41	38	35	33	39
11	--"---	41	38	35	32	39
16	--"---	42	40	35	33	40
26	--"---	43	41	37	33	41
36	--"---	44	42	38	37	43
46	--"---	48	45	42	40	47
56	--"---	50	47	43	42	50
66	--"---	52	49	45	43	53
76	--"---	53	50	45	43	54
86	--"---	53	50	45	43	55

На підставі отриманих експериментальних даних отримано напівемпіричні рівняння залежності кута зовнішнього тертя (Ψ) ДМН (9) і зерна пшениці (10) від їх вологості (W):

$$\Psi_{ДМН} = 38,38 + 0,198 \cdot W_{ДМН}, \quad (9)$$

$$\Psi_z = 27,5 + 0,039 \cdot W_z, \quad (10)$$

Як видно із цих залежностей, сипкість ДМН в значно більшій мірі залежить від вологості цих частинок порівняно із зерном (для даних ДМН – більш як в п'ять разів).

Таблиця 2 – Вплив вологості зерна пшениці на її сипкість

Показники	Значення					
вологість, %	13	18	23	28	32	37
температура, °С	15	15	15	15	15	15
зовнішнього (по дереву)	28	28	28	29	29	31
зовнішнього (по металу)	28	28	28	29	29	30

Примітки: для зерна пшениці 5кл., натура при вологості 13 % становить 752 г/л,

Задача другої групи досліджень зводилась до встановлення впливу вологовмісту компонентів ЗС на продуктивність та ефективність сепарування.

Результати впливу вологості поверхневих шарів компонентів ЗС на її подільність та продуктивність викладено на рис. 2 та табл. 3.

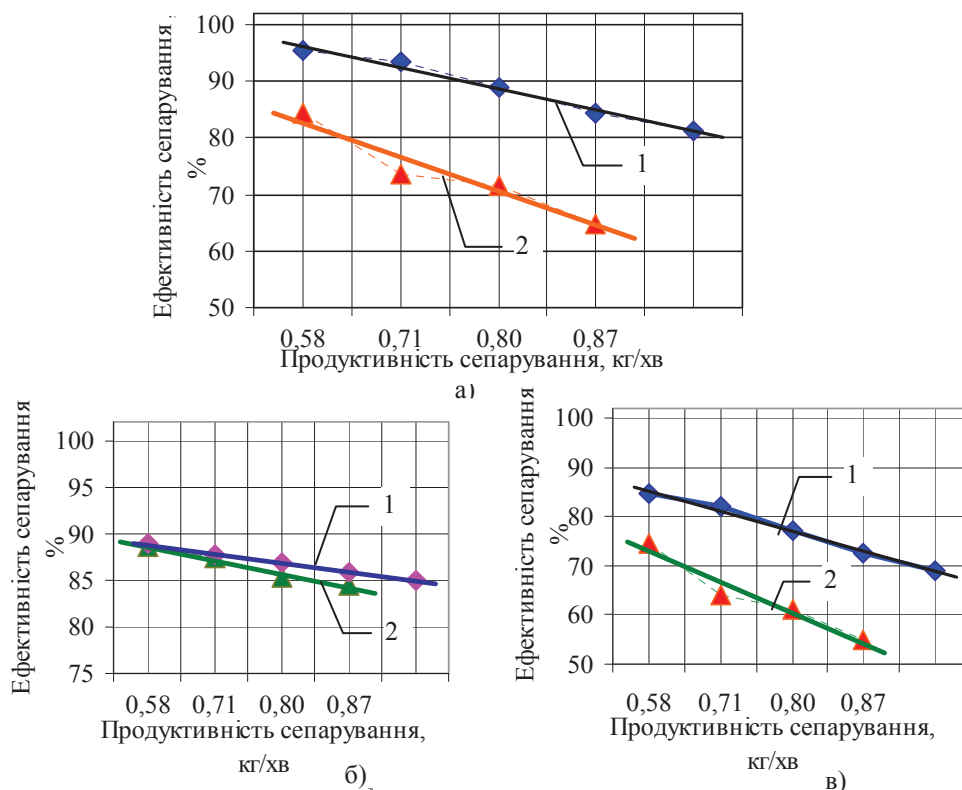
Тривалість сепарування ЗС (тривалість перебування ЗС на ситовій поверхні) змінювали продуктивністю сепаратора різною товщиною шару ЗС

Таблиця 3 – Вплив продуктивності сепарування на ефективність подільності ЗС

Параметри зерна		Параметри ДМН		Продуктивність сепаратора, кг/хв	Ефективність очищення по вмісту, %		
зразок	W, %	Wδ, %	δo, %		домішок в зерні	зерна в домішках	узагальнений
1	28,8	29	6,0	0,58	89	84	75
2				0,71	87	74	64
3				0,80	85	72	61
4				0,87	84	65	55
1	24,2	24	5,0	0,64	89	95	85
2				0,68	88	93	82
3				0,71	87	89	77
4				0,75	86	84	72
5				0,79	85	81	69

Примітки: відносна вологість повітря в приміщенні, 57%, температура повітря 23,5 °С, температура зерна 22 °С.

На рис.3 і 4 та табл. 4 представлено результати цих досліджень з ефективності сепарування контрольного та дослідного зразків суміші зерна пшениці і домішок меншої натурної маси (ДМН)



1) – не оброблена ЗС; 2) – оброблена поверхня частинок ЗС.

Рис. 3 – Вплив продуктивності сепарування ЗС вологістю 28 % на ефективність її подільності по а) вмісту ДМН в ЗС, б) вмісту зерна в домішках та в) узагальненій

Приймаючи до уваги значний вплив вологості ЗС на продуктивність та ефективність сепарування, були виконані експериментальні дослідження із підтвердження теоретичних положень щодо впливу лише поверхневих шарів частинок компонентів ЗС на її подільність (рис. 4).

Подальшою групою досліджень було підтверджено теоретичні положення щодо несуттєвого впливу вологості більш віддалених від поверхневих шарів частинок ЗС. Оскільки продуктивність, як показник, що характеризує тривалість процесу сепарування, знаходиться в зворотній залежності від ефективності

сепарування, тому, на нашу думку, доцільно застосовувати комплексний показник ефективності сепаратора, як добуток його фактичної продуктивності на фактичну узагальнену ефективність процесу сепарування. Цей показник, є індивідуальним для кожної конструкції сепаратора, є відносним показником, що характеризує ефективність процесу сепарування, та застосовується для порівняння із паспортними параметрами процесу сепарування. Результати досліджень впливу вологості поверхневих шарів частинок ЗС на ефективність сепарування представлено на рис. 5 та в табл.5. Вологість поверхневих шарів цих частинок змінювали тривалістю конвективного тепло-масообміну та параметрами робочих газів. Для рухомого шару зерна за умов короткотривалої міжфазової взаємодії вологість поверхневих шарів різних компонентів, залежно від вологовмісту та параметрів тепловологообміну, може відрізнятися на 5 – 10 %. Крім змінення сипкості компонентів ЗС, із змінням їх вологовмісту може змінюватися їх фізичні властивості, що впливають на ділимість суміші. Для забезпечення умов відмінності вологовмісту поверхневих шарів компонентів ЗС було застосовано спосіб короткотривалого міжфазового тепловологообміну робочими газами підігрітими до 120 °С впродовж $\tau = 5 - 10$ с.

Виходячи з вище викладеного, в дослідях залежності продуктивності ситового сепаратора від вологовмісту периферійних шарів частинок компонентів ЗС прийнято різну їх вологість. При підготовці ЗС для її фракціонування на ситовому сепараторі, вологість ДМН ($W_{\text{ДМН}}$) було прийнято рівній вологості зерна основної культури ($W_{\text{ДМН}}^0 \approx W_{\text{зерна}}^0$). Зважаючи на більшу інтенсивність конвективного вологообміну ДМН. Швидкість зневоднення ДМН:

$$\frac{\partial W_{\text{АЛД}}}{d\tau} = (1,4 - 1,6) \cdot \frac{\partial W_{\text{зерн}}}{d\tau}, \quad (11)$$

їх вологість по завершенню конвективного тепловологообміну ДМН до 2 – 3 % відрізнялася від вологості зерна ($W_{\text{ДМН}}^1 \approx W_{\text{зерна}}^1 + (1 - 3)\%$).

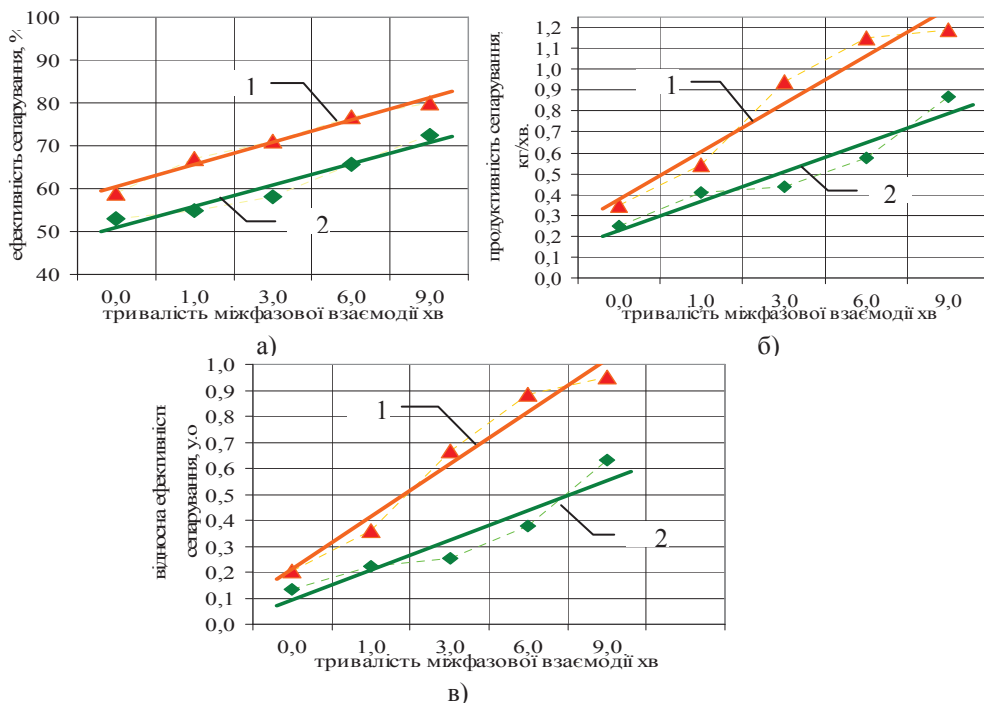


Рис. 5 – Вплив тривалості міжфазової взаємодії на а) – ефективність сепарування, б) – продуктивність сепарування та в) – відносну ефективність сепарування: 1 – дослідний зразок ЗС; 2 – контрольний зразок ЗС.

Таблиця 4 – Вплив вологості поверхневих шарів компонентів ЗС на її подільність та продуктивність

Зерно пшениці		Параметри газів			Параметри ДМН			Ефективність очищення по вмісту, %				
зразок	W ₀ , %	швидкість, м/с	температура, t °С	трив-ть м/ф взаємодії, с	W ₁ , %	δ ₀ , %	вміст домішок δ ₃ , %	δ ₁ , %	Продуктивність, кг/хв			
	W ₁ , %	δ ₃ , %	δ ₁ , %	ДМН в зерні	зернин в домішках	узагальнена						
контрольний	12,8	12,8	--	--	13,0	6,5	0,0	6,1	0,53	100,0	95	
	17,8	17,8			18,0	6,5	1,6	6,0	0,42	98,2	91	
	22,8	22,8			23,0	6,5	19,2	4,9	0,38	81,0	64	
	27,8	27,8			28,0	6,5	27,5	4,8	0,26	82,1	70,8	58
дослідний	32,8	32,8	75	60	33,0	5,2	34,8	4,6	0,26	88,7	63,3	56
	12,8	12,7			12,8	6,5	0,0	6,2	0,54	96,2	100,0	96
	17,8	17,4			17,4	6,5	1,0	6,0	0,52	92,6	98,9	92
	22,8	22,4			22,6	6,5	4,0	5,1	0,51	83,2	95,7	80
	27,8	27,5	27,7	6,5	26,1	4,8	0,32	82,1	72,3	59		
	32,8	32,4	33,0	5,3	31,5	4,6	0,30	86,6	66,7	58		

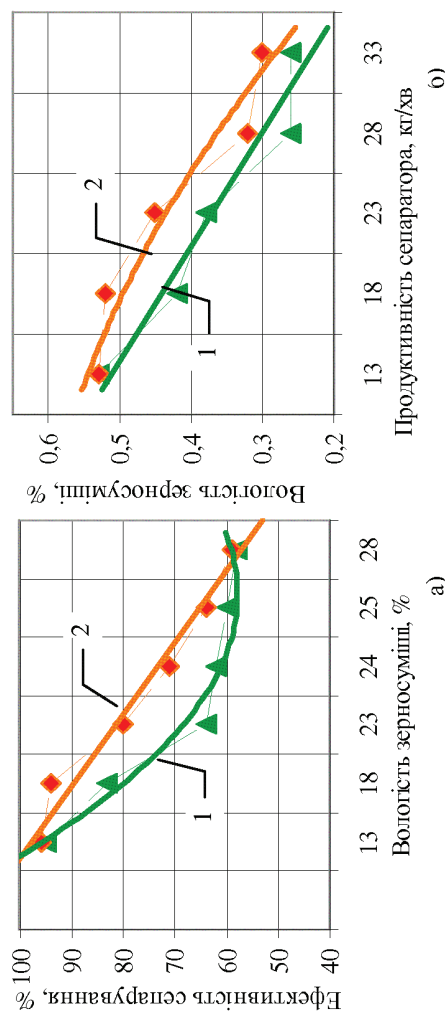


Рис. 2. Вплив вологості поверхневих шарів компонентів зернової суміші на а) ефективність подільності та б) продуктивності сепарування;
1 – контрольного та 2 – дослідного зразків суміші зерна і ДМН.

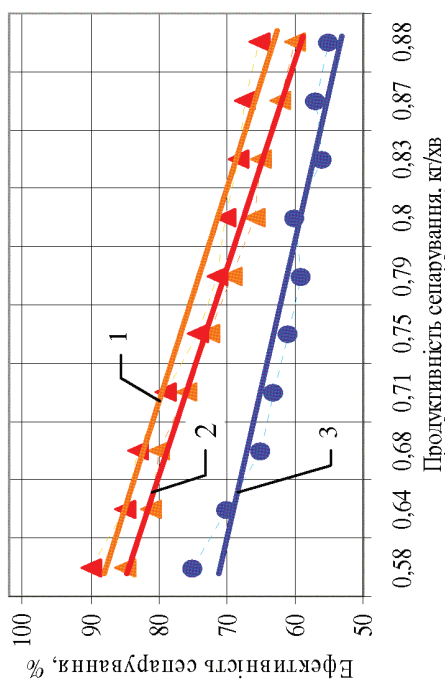


Рис. 4. Вплив продуктивності сепарування ЗС різної вологості на його ефективність;
1) – вологість суміші W₀¹ = 14,2; 2) – W₀² = 24%; 3) – W₀³ = 28%

Висновки

1. Сипкість домішок ЗС меншої натурної маси (ДМН) більшою мірою та зерна меншою прямо пов'язана з їх вологістю. На коефіцієнт зовнішнього тертя значною мірою впливає вологість лише периферійних шарів компонентів ЗС. Вологовміст периферійних шарів частинок ДМН змінюється кількакратно швидше від зернин.

2. При короткотривалій міжфазовій взаємодії вологовміст поверхневих шарів різних компонентів ЗС змінюється неоднаково: вологість ДМН змінюється швидше від вологості зерна в 1,3 – 16 разів порівняно із зерном пшениці. Зі збільшенням початкової вологості ЗС швидкість зневоднення ДМН більше перевищує швидкість зневоднення зерна, при меншій – менше.

3. Отримано напівемпіричні рівняння залежності продуктивності та ефективності сепарування суміші зерна та ДМН від їх вологості на ситовому сепараторі. В діапазоні зростання вологості ЗС пшениці і ДМН ($\delta = 6\%$) $W_0 = 13 - 33\%$, продуктивність процесу сепарування зменшується більш як вдвічі, а ефективність сепарування – на 30% і змінюється по лінійній залежності: $G = -0,0095 \cdot \left(\frac{\partial W}{\partial \tau}\right) + 0,58$.

4. Зміною вологості лише поверхневих шарів частинок зернової суміші суттєво зростає продуктивність (до 45%) та ефективність (до 25%) процесу сепарування.

5. Конвективний спосіб є найбільш доцільним для зневоднення периферійних шарів частинок ДМН. Теоретично та практично обґрунтованими є такі параметри робочих газів: $t_{\theta} = 110 - 140\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v = 0,4 - 0,9$ м/с. На лабораторній установці підтверджено раціональні параметри робочих газів для зневоднення периферійних шарів частинок ДМН.

Література

1. Гросул Л.Г. Механіко-технологічні основи процесів та агрегатного устаткування для виробництва круп// Автореф. дис. доктора техн. наук – Одеса, ОДАХТ, 2002, – 37с.
2. Домарецький В.Н. Технологія харчових продуктів: [Підручник] / В.Н.Домарецький, М.В.Остапчук, А.І.Українець – К.: НУХТ. – 2003. – 572с.
3. Жидко В.И. Зерносушение и зерносушилки / В.И.Жидко, В.А. Резчиков, В.С. Уколов. М.: – 1982. – 329 с.
4. Малин Н.И. Теоретические основы технологических процессов // Хранение и переработка зерна / Н.И. Малин, Т.И. Веселовская – М.: Хлебопродинформ, 2001. – 100 с.
5. Мельник Б.Е. Технология приемки, хранения и переработки зерна / Б.Е.Мельник, В.Б.Лебедев, Г.Л.Винников – М.:Агропромиздат,1990.– 367 с.
6. Остапчук Н.В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств: [Уч. пособие.]// – К.: Вища шк. – 1991. – 367 с.
7. Правила по организации и ведению технологического процесса на элеваторах. – М.: Министерства заготовок СССР, 1972. – 49 с.
8. Пунков С.П. Элеваторно-складская промышленность. Учебное пособие для студ. вузов/ С.П.Пунков, А.И.Стародубцева// – М.:Колос, 1980. – 256 с.
9. Трисвятский Л.А. Хранение зерна. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат. – 1985. – 351 с.
10. Элеваторная промышленность за рубежом/ Гусева Т.Н. (Воздушно-ситовые сепараторы. Модульный триерный блок. Модульная шахтная зерносушилка COMBIPLUS//– М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР. Хранение и переработка зерна, Вып 8, 1989. – 28 с.
11. Теслер Л.А. Элеваторная промышленность за рубежом. – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР Элеваторная промышленность, 1978.
12. Тищенко Л.М. Интенсификация сепарирования зерна// – Харьков: – Основа. – 2004. – 222 с.
13. Производство, хранение и использование зерна в Канаде / Ю.П.Ковалев, Л.И.Кочетков//– М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР. Хранение и переработка зерна, Вып 2, 1985. – 85 с.