

6. Черновол, М.И. Повышение износостойкости деталей сельскохозяйственной техники электроконтактной обработкой стальных газотермических покрытий [Текст] / М.И. Черновол, Т.В. Ворона, В.И. Жорник, М.А. Белоцерковский // Материалы III международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в машиностроении» (ИннТехМаш-15) 28–29 октября 2015 года, Полоцкий государственный университет (ПГУ), Новополоцк, 2015. – С. 211-214.

**Vladimir Nikolaychuk, Lect.**

*Vinnitsky National Agrarny University, Vinnitsa, Ukraine*

**Yevhen Solovykh, Prof., DSc., Tetiana Vorona, PhD tech. sci., Stanislav Katerinich, Assoc. Prof., PhD tech. sci.**

*Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitsky, Ukraine*

### **Increase of resistance to abrasive wear of working bodies of agricultural machines**

Manufacture of working bodies of agricultural machines with wear-resistant coatings is carried out, as a rule, in order to increase their resistance to abrasive wear. To counteract the effects of abrasive media, the metal must have a solid component. Such a component in the metal can be carbides, borides, carborides, carbonitrides, intermetallic compounds, and in some cases these functions can perform martensite.

The results of the research showed that one of the most effective ways to solve the problem of increasing the wear resistance and the service life of the working parts of agricultural machines operating in the presence of abrasive particles is the use of electric arc spraying of coatings in combination with electrocontact treatment. The tests of the coatings have shown the effectiveness of the application of gas-thermal spraying and electrocontact treatment for the production of coatings with high physicomechanical and tribological properties. According to the results of the studies the best resistance to abrasive wear showed a coating of 40X13 steel. Thus, it is most expedient to use coatings of martensitic steels for the manufacture of working bodies of agricultural machinery, which are operated in the presence of abrasive.

Investigations of the wear resistance of steel coatings in abrasive friction have been carried out. It is shown, expediency, the working bodies of agricultural machinery, operating in the presence of abrasive, be made from a coating of martensitic grade steels to increase their resistance to abrasive wear. Tests of knives with coatings from martensitic steel 40X13 showed an increase in their wear resistance by 25-30%, and their service life by 2.5-3 times.

**wear resistance, working bodies, resistance to abrasive wear, coatings, gas-thermal spraying, electrocontact treatment**

Получено 10.11.17

**УДК 631.365**

**Б.І. Котов, проф., д-р техн. наук**

*Подільський державний аграрно-технічний університет (ПДАТУ), м. Кам'янець-Подільський, Україна*

**С. П. Степаненко, канд. техн. наук**

*Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», м.Київ, Україна, E-mail: stepanenko\_s@ukr.net*

**Р.А. Калініченко, канд. техн. наук**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м.Київ, Україна*

## **Концептуальні основи створення технічних засобів первинної обробки зерна в умовах господарств АПК**

Обґрунтовано перспективу подальшого вдосконалення технічних засобів первинної обробки зерна, визначені математичні залежності повітряного фракціонування зерна.

**технічні засоби, первинна обробка, зерно, повітряне фракціонування зерна**

© Б.І. Котов, С. П. Степаненко, Р.А. Калініченко, 2017

**Б.И. Котов, проф., д-р техн. наук**

*Подольский государственный аграрно-технический университет (ПГАТУ), г. Каменец-Подольский, Украина*

**С. П. Степаненко, канд. техн. наук**

*Национальный научный центр „Институт механизации и электрификации сельского хозяйства”, г. Киев, Украина*

**Р.А. Калиниченко, канд. техн. наук**

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина*

## **Концептуальные основы создания технических средств первичной обработки зерна в условиях хозяйств АПК**

Обоснованно перспективу дальнейшего совершенствования технических средств первичной обработки зерна, определены математические зависимости воздушного фракционирования зерна.

**технические средства, первичная обработка, зерно, воздушное фракционирование зерна**

**Постановка проблеми.** Головними задачами післязбиральної (первинної) обробки зернових, олійних і круп'яних культур є максимальне збереження зібраного урожаю і забезпечення збереження якісних показників. Масштаби (об'єми) первинної обробки урожаю безпосередньо у зернопродуктуючих господарствах різної форми власності в останні роки значно збільшуються з метою зменшення собівартості готової продукції. Зростаюча напруженість енергетичного балансу господарств, дефіцит різних видів ресурсів, значна вартість зернопереробного обладнання, визначають важливість перегляду концепції вдосконалення технологій і на їх основі створення технічних засобів первинної обробки і зберігання зерна.

Основною особливістю первинної обробки зерна в умовах господарств є її поточний характер, коли усі технологічні операції виконуються під час комбайнового збирання урожаю, що зумовлює нерівномірну вологість, значну засміченість зернового вороху і висуває додаткові вимоги до конструкцій технічних засобів, режимів їх функціонування.

Технології післязбиральної обробки зерна у теперішній час базуються в основному на використанні машин і обладнання, створених для централізованої заготівельної системи, що розраховане на короткочасне його завантаження і підвищену продуктивність. Суттєва зношеність і моральна застарілість, невиправдано велика питома матеріало- і енергоємність існуючих агрегатів обумовлює значні втрати, травмування і низьку якість очищення, великі експлуатаційні витрати і вартісні показники готової продукції. Тому вдосконалення зернообробних машин і обладнання при існуючій технології не може привести до зниження матеріальних, енергетичних і виробничих затрат та підвищення продовольчої, насінневої, технічної якості зернових матеріалів в післязбиральний період, а також при зберіганні. Для задоволення сучасних вимог виробника зерна і переробника необхідно вдосконалювати, змінювати технологічні принципи очищення, фракціонування, сушіння і оперативного зберігання, оскільки саме технологічні принципи функціонування робочих органів визначають ефективність якісних і вартісних показників первинної обробки зерна. Таким чином, питання технічного переоснащення зерновиробничої галузі господарств набувають особливої важливості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Огляд літературних джерел і публікацій останніх років свідчить про значну увагу, що приділяється дослідниками і науковими організаціями до питань розвитку технологій і техніки для післязбиральної обробки зерна [1-8]. Особливості первинної обробки зерна і напрямки її вдосконалення висвітлені в працях [2, 4-6, 21]. Питання розвитку технологій і засобів сепарації зерна знайшли висвітлення в роботах [2-4]. Особлива увага приділяється питанням

підвищення ефективності і зниження енергоємності процесів і обладнання для сушіння зерна [6-10], активного вентилявання [12, 13, 21] і охолодження штучним холодом [7, 11, 21], як методу тимчасового консервування.

Аналізуючи розглянуті публікації можна визначити наступне. Основною причиною підвищених втрат продукції в зернових господарствах є практична відсутність сучасної технічної бази первинної обробки і зберігання зерна.

Нова технічна база в умовах, що склалася у сільськогосподарському виробництві має забезпечити можливість післязбиральної обробки і зберігання зерна у місцях його виробництва з реалізацією у вигідні для власника строки.

В таких умовах при створенні системи машинного парку зернопродукуючих господарств доцільно орієнтуватися на реалізацію (застосування) двоетапної технології в період (масового) збирання урожаю, як найбільш ресурсонапружений, здійснювати процеси (операції), спрямовані на тимчасове збереження зібраного зерна, а у післязбиральний період – доведення зерна до нормальних кондицій в залежності від призначення (продовольче, насіннєве, фураж) і закладення на зберігання.

**Постановка завдання.** Обґрунтування технологічних принципів (засад) створення технічного забезпечення зерногосподарств і підготовка пропозицій щодо підвищення ефективності первинної обробки зерна.

**Виклад основного матеріалу.** Створення перспективних технічних засобів для первинної обробки зерна та насіння повинно здійснюватися на основі таких концептуальних положень.

Обробка і зберігання урожаю зернових здійснюється на місці його виробництва із застосуванням двоетапної технології, яка передбачає проведення в період збирання урожаю мінімального об'єму робіт: попереднє очищення, поділ на фракції за технологічним призначенням (насіння, продовольче зерно, фураж) і тимчасова (оперативна) консервація гальмування мікробіологічних процесів активним вентиляванням атмосферним або штучно охолодженим повітрям. В післязбиральний період доведення зернової маси до нормованих кондицій (сепарація, досушування, трієрування, спецобробка) і закладання на тривале зберігання.

При цьому доцільно використовувати мобільні зерноочисні і сушильні агрегати, особливо для господарств з малими і середніми об'ємами виробництва зерна, для яких економічно невиправдано купівля і утримання стаціонарної техніки. Крім того, це збільшить річне навантаження на обладнання для післязбиральної обробки зерна.

Для машин, що задовольняють вимогам кожного етапу, необхідно визначити першочергові завдання на кожну технологічну операцію: очищення, фракціювання (за ознаками), активне вентилявання, сепарація, сушіння, зберігання, спеціальні види обробки зерна.

На етапі попередньої очистки першочерговою задачею є виділення і видалення дрібних, вологих і сміттєвих домішок, які є основним джерелом псування зерна, зниження стійкості його при зберіганні. Вологість насіння бур'янів та інших органічних домішок, як правило, в два і більше разів перевищують вологість зерен основної культури свіжозібраного урожаю. Життєдіяльність цих домішок стійка, інтенсивність дихання їх насіння вища і супроводжується тепловиділенням, яке призводить до самозігрівання зернової маси. Наявність вологих домішок погіршує сипкість зерна, ускладнює фільтрацію повітря.

Таку операцію необхідно виконувати, навіть якщо зерно має невисоку вологість, це дозволить скоротити енерговитрати на активне вентилявання або досушування [2, 14, 21]. В зв'язку з цим, машини попередньої обробки зернових матеріалів повинні

забезпечувати інтенсивне виділення смітєвих домішок з обов'язковим видаленням дрібних (повнота видалення не менше 0,6...0,7) [5, 21].

Одним із недоліків існуючих технологій механічної обробки зерна є нераціональне завантаження сепаруючих робочих органів (вібраційні решета, пневмокани, трієри) зумовлене подачею всього необробленого матеріалу на одну машину. Так, наявність легких та з малою густиною домішок зумовлює їх спливання до поверхні шару матеріалу при віброрешітній сепарації, що ускладнює їх видалення проходом на решеті і значно послаблює дію основних ознак поділу і знижує загальний ефект сепарації.

Тому важливою задачею першого етапу є підготовка зернового вороху (матеріалу) до сепарації шляхом фракціонування повітряними потоками або суміщення цієї операції з очищенням від дрібних домішок решетою. Це повинно забезпечити підсилення дії ознак поділу на наступних робочих органах (віброрешетні, вібропневморешетні трієри та інші) і ефективно вентильовання або підсушування зернової маси в бункерах та сховищах.

Необхідні кількісні і якісні показники отриманих фракцій (розмір, питома вага, маса 1000 зерен) визначається за товарними властивостями зерна (насіннєве, продовольче та фуражне зерно). Доцільність видалення із зернової маси фуражної фракції і наступна її окрема обробка (теплом, холодом, консервантами) вже доведена практикою.

Достатньо ефективним і простим в реалізації є спосіб фракціонування зернового вороху (свіжозібране зерно) повітряними потоками за аеродинамічними властивостями. За даними [3, 5] найбільший ефект фракціонування зерна спостерігається при високоякісній пневмосепарації: збільшується повнота виділення легкої фракції в 2 рази, а дрібних смітєвих домішок в 1,5 рази; знижуються питомі затрати на первинну обробку відповідно на 20 і 10%. Перевагами повітряного потоку, в порівнянні з решітними машинами, є менша залежність повітряних каналів (камер) від вологості вихідного матеріалу.

З усіх ознак розділення зернового матеріалу – густина компонентів найбільшим чином корелює зі швидкістю витання. З аналізу фізико-механічних властивостей зернового вороху випливає, що за допомогою звичайних повітряних каналів неможливо повністю виділити із основного матеріалу менш проходові компоненти з меншою густиною перед сепаруванням на решетах або в трієрі. В той же час, за аеродинамічними ознаками можна поділити вихідний матеріал на різноякісні фракції і отримати основну, найбільш цінну фракцію з домішками, які мають більшу за основні компоненти густину, фракцію легких домішок та проміжну фракцію, що складається із суміші основних компонентів і близьких до них за густиною.

Такий технологічний захід підготовки вихідного матеріалу до сепарації на решетах і трієрах дозволяє здійснити подальшу сепарацію отриманих фракцій (на окремих машинах). Це призводить до підвищення подільних можливостей робочих органів при сепаруванні кожної фракції, дозволяє підвищити продуктивність машин при рівних якісних показниках.

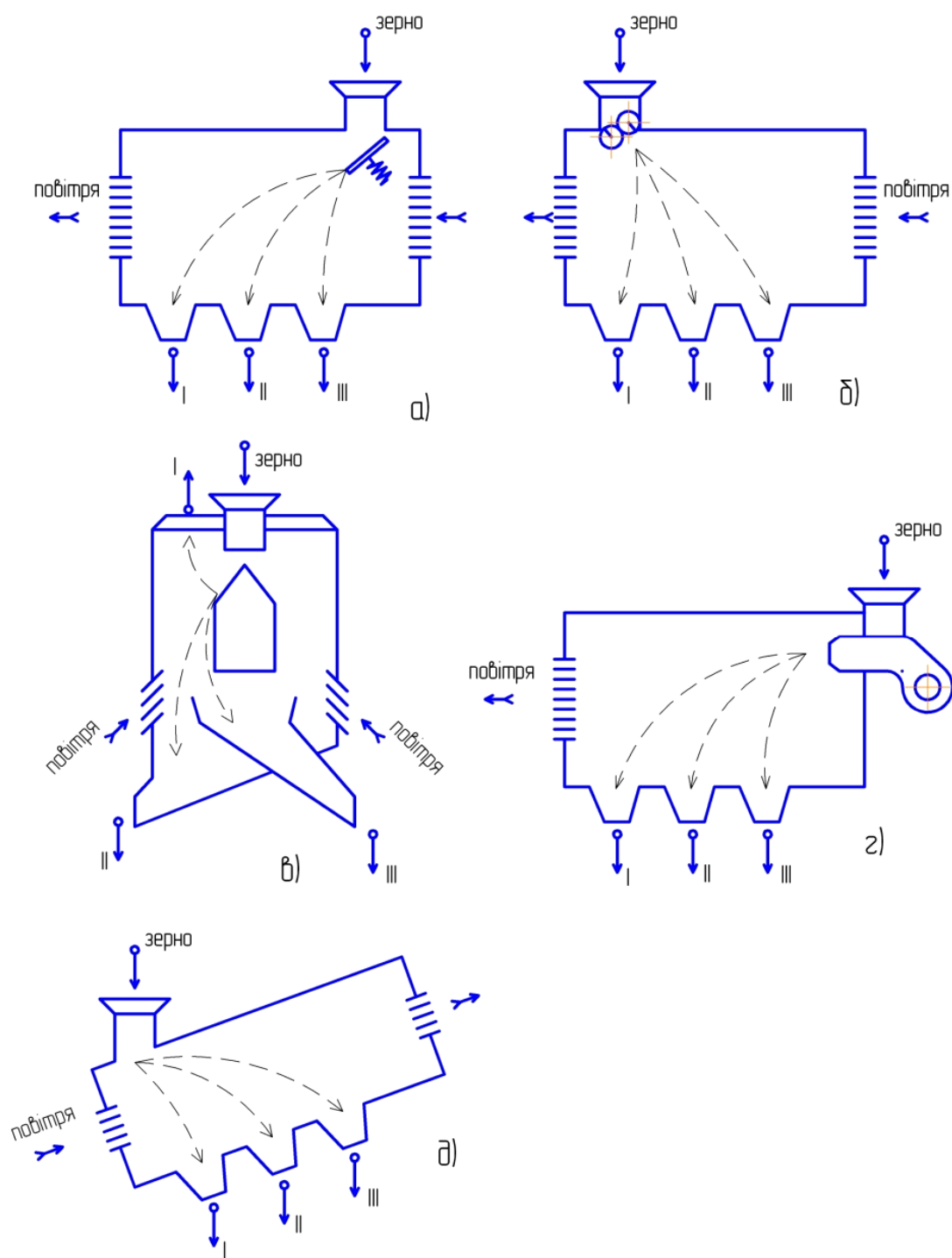


Рисунок 1 – Схеми пневмосепаруючих систем для фракціонування зернових матеріалів

Повітряні сепаратори для розділення зернового матеріалу за аеродинамічними властивостями застосовують сепарування у вертикальному, похилому (нахиленому) поперечному та горизонтальному потоках повітря.

Для фракціонування зернового матеріалу повітряним потоком найбільш опрацьованим є аеродинамічний принцип поділу, який реалізується за схемою вводу матеріалу в супутній горизонтальний або похилий повітряний струменевий потік. Така схема використана в аеродинамічних (за класифікацією розробників) сепараторів

«САД» та «Алмаз», які здійснюють поділ зернового матеріалу на 6-10 фракцій з одночасним очищенням від легких сміттєвих домішок (рис. 1а).

Для створення пневмосепаруючих систем поділу зернового матеріалу на фракції ставиться задача вибору найбільш ефективної раціональної для певних культур і типу машин (стаціонарна, мобільна) схема організації процесу: пневмогравітаційний, аеродинамічний прямоочний, пневмоінерційний, проточний, струменевий.

При використанні для фракціонування вихідного матеріалу повітряних потоків слід зробити вибір на користь пневмоінерційного способу (та сепаратора), враховуючи такі переваги: в пневмоінерційному сепараторі підсилюється дія аеродинамічних ознак; в пневмоінерційному сепараторі можна отримати будь яку кількість фракцій з можливістю регулювання їх якості [15]. Остання перевага досягається за рахунок горизонтального розміщення повітряного каналу. У звичайних вертикальних каналах існуючих сепараторів отримують тільки дві фракції – легкі домішки і очищений матеріал. І останнє, при пневмоінерційному сепаруванні фракціонування суміщається з попередньою очисткою.

Особливе значення для якості очищення, поділу на фракції, продуктивності і енергозатрат повітряних сепараторів має швидкість вводу (подачі) матеріалу в канал або камеру. При однаковій якості поділу збільшення швидкості вводу матеріалу в повітряний потік дозволяє збільшити продуктивність сепаратора і зменшити затрати енергії на створення великої швидкості повітряного потоку. Тому, при підвищених подачах зернового матеріалу, краща якість поділу забезпечується при схемі протитоку, тобто ввід матеріалу під певним кутом проти руху повітряного потоку (рис. 1б).

Вертикальні повітряні потоки забезпечують якісну сепарацію при невеликих подачах матеріалу в канал; при збільшенні подачі ефективність їх роботи знижується. Тому для каналів з прямокутним перетином можливості підвищення продуктивності обмежені.

Одним із напрямків вдосконалення пневмогравітаційних сепараторів в плані збільшення продуктивності і розширення функціонального призначення є розробка спеціальної зони поділу і видалення фракцій матеріалу з нижньої зони каналів. Повне і якісне розділення може бути отримано при вільному і достатньо тривалому русі зернин в повітряному потоці.

Якість розділення матеріалу за аеродинамічними властивостями залежить від способу введення матеріалу в повітряний потік і найбільш ефективним є подача зерна моношаром (тобто шаром в одну зернину). Реалізація тонкошарової подачі матеріалу в прямокутний канал обмежена шириною каналу; збільшення ширини ускладнюється необхідністю рівномірного розподілу.

Разом з тим, реалізувати тонкошарову подачу у вертикальний потік повітря можна при використанні каналу колового або кільцевого перетину з живильником у формі прямого конуса, частини тора (поверхня обертання утворена криволінійною твірною, розташована так, що її поверхня в напрямку руху частки збільшується), а вивантаження «товарних» фракцій здійснювати у нижній частині каналу гравітаційним прямоотоком. Застосування такої схеми (рис. 1в) дозволяє отримати поділ зернового матеріалу на фракції у вертикальному каналі з високою ефективністю. При цьому, зона подачі матеріалу в повітряний потік працює на видалення легкої сміттєвої фракції в верхню частину каналу. Ефективність функціонування такої схеми сепаратора доведена експериментальною експлуатацією [16].

Якісним продовженням цього класу пневмогравітаційних сепараторів є звуження каналу в напрямку руху повітряного потоку. При цьому час перебування зернівок в каналі збільшується.

Попередньо (на стадії проектування) орієнтований вибір раціональної схеми організації повітряного фракціонування можна зробити (при відсутності експериментальних даних) на основі аналізу траєкторій руху двох компонентів зернового матеріалу, які відрізняються швидкістю витання для будь якого типу пневмосепараторів (напрямків руху повітря і матеріалу на вході в канал).

Визначити траєкторії руху і оцінити ступінь їх розщеплення (відхилення) можна за спрощеними формулами [19].

Для схеми пневмоінерційного сепаратора (рис. 1,б)

$$\vartheta_x = v_{ox} e^{-kt}; \quad x = \frac{v_{ox}}{k} (1 - e^{-kt}), \quad (1)$$

$$\vartheta_y = \frac{c}{k} - \left( \frac{c}{k} - v_{oy} \right) e^{-kt}; \quad y = \frac{c}{k} t - \frac{1}{k} \left( \frac{c}{k} - \vartheta_{oy} \right) (1 - e^{-kt}), \quad (2)$$

для схеми пневмогравітаційного сепаратора (рис. 1в)

$$\vartheta_x = v - (v - v_{ox}) e^{\frac{-t}{k_0}}; \quad x = v \cdot t - k_o (v - v_{ox}) \left( 1 - e^{\frac{-t}{k_0}} \right), \quad (3)$$

$$\vartheta_y = g_o - (g_o - v_{oy}) e^{\frac{-t}{k_0}}; \quad y = g_o t - k_o (g_o - v_{oy}) \left( 1 - e^{\frac{-t}{k_0}} \right), \quad (4)$$

$$\text{де } k = 1,11 k_{\Pi} v_B; \quad c = g - k v_B; \quad \psi = \sqrt{\left( \frac{y}{\vartheta} \right)^2 + \left( 1 + \frac{x}{\vartheta} \right)^2} = 1,02 - 1,12;$$

$$k_0 = \frac{1}{k \psi v}; \quad g_o = \frac{g}{k \cdot \psi \cdot v}; \quad v_{ox} = v_o \cos \alpha_o; \quad v_{oy} = v_o \sin \alpha_o;$$

$\psi$  - коефіцієнт пропорційності;

$k_{\Pi}$  - коефіцієнт вітрильності;

$v$  - узагальнююча швидкість;

$v_B$  - швидкість витання;

$v_o$  - швидкість частинки на вході в потік;

$\alpha_o$  - кут подачі зерна.

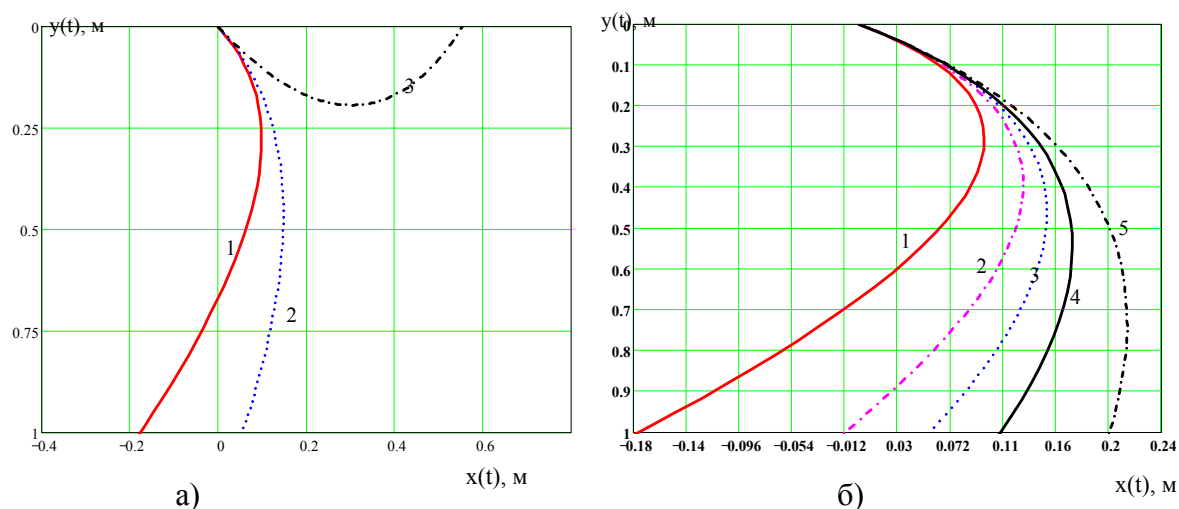
Визначивши для кожного поточного моменту часу  $t = t_i$  координати  $y_i(t_i)$  та  $x_i(t_i)$  у відповідних напрямках будуватиметься траєкторія переміщення частинки із швидкістю витання  $\vartheta_{B1}$  та  $\vartheta_{B2}$ .

Траєкторії руху компонентів зернового матеріалу в повітряних потоках наведено на (рис. 2).

Створення малозатратних решітних сепараторів для невеликих господарств на базі прутково-решітних поверхней, що працюють при самопливі гравітаційного руху сепаруємого зернового матеріалу [17, 18, 20] дозволить значно поновити машинний парк зерноочисної техніки.

Тимчасове міжопераційне зберігання попередньо розділеного на фракції зернового матеріалу застосовується, коли збільшення потужності коштовного зерносушильного обладнання для забезпечення поточного сушіння зерна в періоди пікових надходжень економічно недоцільно для господарств з малим об'ємом виробництва (500-600 т/рік). В цьому випадку головним завданням є запобігання (попередньо очищеного зерна), самозігріванню і, відповідно, псуванню. Попередити або ліквідувати джерела самозігрівання зернової маси можна тільки охолодженням.

Найбільш ефективний і розповсюджений метод охолодження є активне вентилявання атмосферним повітрям, який дозволяє в процесі відбору теплоти зерна підвищити вирівненість зернової маси за вологістю, попередити розвиток пліснявих грибів, знизити температуру (особливо олійних культур).



а) у вертикальному каналі; б) в горизонтальному каналі  
 1 –  $k_{\Pi} = 0,263$ ; 2 –  $k_{\Pi} = 0,2$ ; 3 –  $k_{\Pi} = 0,174$ ; 4 –  $k_{\Pi} = 0,153$ ; 5 –  $k_{\Pi} = 0,121$

Рисунок 2 – Траєкторії руху компонентів матеріалу

Системи вентилявання для охолодження зерна рекомендується [11] застосовувати в таких випадках: в періоди збирання коли вологість зерна не потребує високотемпературного сушіння; якщо продуктивність наявної в господарстві сушарки менша, ніж об'єм денного надходження зерна з поля; при використанні вологого фуражного зерна безпосередньо в господарствах; після високотемпературного сушіння в рамках двостадійної технології [9, 10].

Але досягнути потрібного (безпечного) рівня температури зберігання свіжозібраного зерна при підвищеній температурі атмосферного повітря не завжди можливо. Тому в останні роки все ширше за кордоном використовують вентилявання зерна штучно охолодженням до  $5-10^{\circ}\text{C}$  повітрям, яке отримують в пересувних холодильних машинах (холодопродуктивністю  $9,5-100$  кВт). Охолоджене до  $8-10^{\circ}\text{C}$  продовольче зерно може зберігатися 2-7 місяців, а фуражне 3-9 місяців [12, 13]. При наявності вентиляційного (та холодильного) обладнання (вентилюємі сховища бункерного або ангарного типу) процес охолодження можна реалізовувати за місцем тимчасового (бункера активного вентилявання), або тривалого зберігання (вентилюємі силоси типу СМВК - ВАТ Карлівка КМЗ).

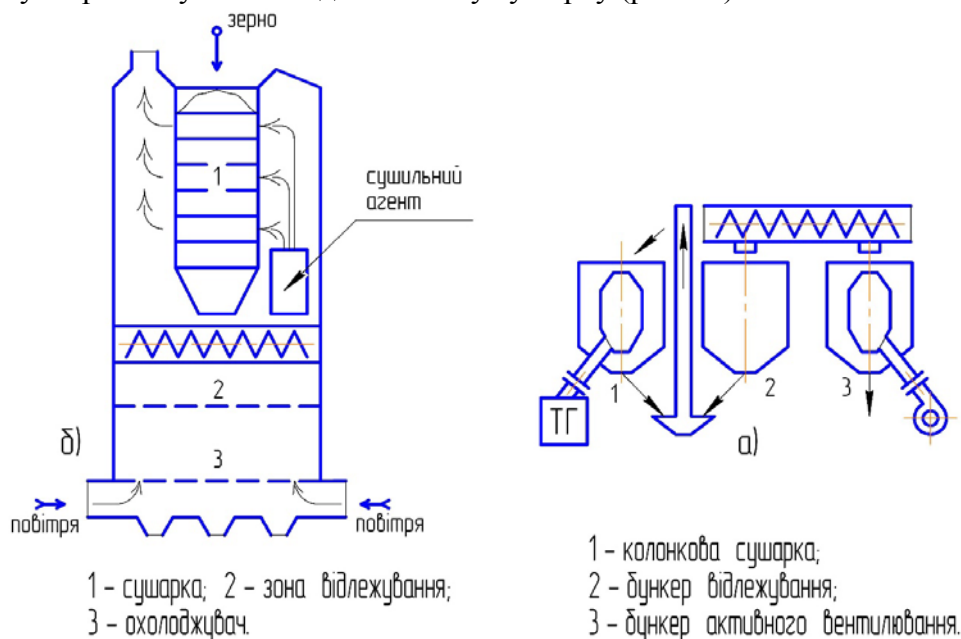
Основним з напрямків радикального зменшення енергозатрат на доведення зерна до кондицій, які забезпечують його стійке тривале зберігання, а саме зневоднення до вологості 14 %, вирішення утвореного протиріччя між потребою швидкої переробки урожаю і відсутністю необхідних ресурсів є широке застосування двостадійної технології зерносушіння.

Але реалізація цього способу сушіння містить в собі ряд технічних і організаційних складностей: розширення технологічного ланцюга, додаткове обладнання, тривалість процесу та інші технічні заходи.

Сутність двостадійної технології полягає в тому, що на першій стадії процесу зерно (попередньо очищене від дрібних вологих домішок) підсушують у

високотемпературних зерносушарках (температура сушильного агента для продовольчого зерна  $t_A=90-120^\circ$ , насіннєвого до  $t_A=60^\circ$ ) до проміжної вологості  $W_p$ , що на 3-4% перевищує кінцеве кондиційне значення ( $W_k=14\%$ ); далі нагріте в зерносушарці зерно термостабілізується в режимі відлежування (для вирівнювання розподілу вологи і температури всередині кожної зернівки). Наступна операція охолодження зерна і досушування активним вентиляванням атмосферним повітрям супроводжується видаленням вологи з поверхневих шарів зернівок з більшою інтенсивністю. Основною перевагою такої технології є підвищення пропускної здатності зерносушарки (при базовій випаровуваній здатності зерносушарки); крім того зони охолодження сушарки використовуються для сушіння. Продуктивність обладнання для сушіння підвищується на 35-45 %, питомі затрати енергії зменшуються на 30%.

Незважаючи на певні технічні і організаційні складності (розширення технологічного ланцюга, додаткове обладнання збільшення строків переробки та інше), які на сьогодні стримують широке застосування двостадійного сушіння, ця технологія безперечно має енергозберігаючу спрямованість, про що свідчить багаторічний досвід її використання в США, Англії, Італії та інші. Щодо впровадження двостадійної технології сушіння в зернопродукуючих господарств з об'ємом виробництва 500-800 т зерна, то технічна реалізація може бути здійснена на базі існуючих вентиляємх бункерів БВ-40, або виділення бункерів активного вентилявання ОБВ-160 переробкою одного з бункерів типу БВ-40 під колонкову сушарку (рис. 3а).



а) лінія з бункерних установок; б) двостадійний процес в зерносушарці ERCL (Італія)

Рисунок 3 – Технологічні схеми реалізації двостадійного сушіння зерна

Схема реалізації технології двостадійного сушіння в одному агрегаті (зерносушарка ERCL (Італія) наведена на (рис. 3б).

Залежність питомих енерговитрат від режиму сушіння зерна при високих температурах сушильного агента і активному вентиляванні наведено на (рис. 4 а, б).

В умовах вітчизняного машинобудування немає ніяких перешкод для реалізації аналогічної схеми на базі вентиляємих силосів СМВК ємністю 500-690 т зерна і зерносушарки ДСП-10 (БАТ «Карлівський машинобудівний завод»).

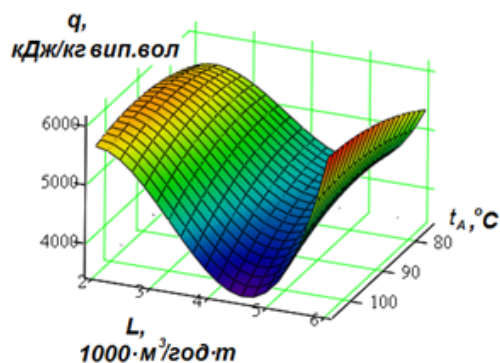


Рисунок 4а – Питомі витрати енергії при високотемпературному сушінні ( $W_0=20\%$ ,  $W_n=17\%$ ,  $t_A=75\div105^\circ\text{C}$ , витрати сушильного агента –  $L_A=2\div6$  тис.  $\text{м}^3/\text{год}\cdot\text{т}$ ).

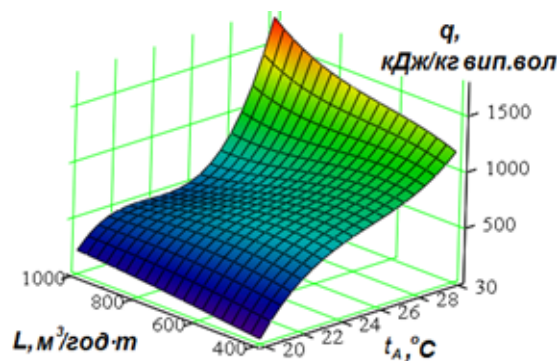


Рисунок 4б – Питомі витрати енергії при низькотемпературному досушуванні ( $W_n=17\%$ ,  $W_K=14\%$ ,  $t_A=20\div30^\circ\text{C}$ , витрати сушильного агента –  $L_A=0,4\div1$  тис.  $\text{м}^3/\text{год}\cdot\text{т}$ ).

**Висновки.** Сучасні технології післязбиральної обробки зерна основані на використанні комбінованих повітряно-решітних машинах і високотемпературних сушарок практично вичерпали ресурс енергоефективності. Перспективи подальшого вдосконалення технічних засобів ґрунтуються на засадах попереднього фракціонування зернових матеріалів в повітряних сепараторах, подальшій обробці в гравітаційно-решітних машинах і тимчасовому зберіганні та двостадійному сушінні зерна.

## Список літератури

1. Адамчук, В.В. Концепція перспективи комплексного вирішення проблеми післязбиральної обробки і зберігання зерна в сільськогосподарських підприємствах України [Текст] / В.В. Адамчук, А.С. Заришнюк, А.Н. Прилуцький, С.П. Степаненко // Механізація та електрифікація с-г. – Глеваха. – 2014. – Вип. 99. – С. 40-56.
2. Зюмин, А.Н. Перспективы механизации послеуборочной обработки и хранения зерна [Текст] / А.Н. Зюмин, А.Г. Чижилов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2002. – № 6. – С. 16-20.
3. Кошулько, В.С. Тенденции развития технологий и технических средств для сепарации зерновых материалов [Текст] / В.С. Кошулько // Хранение и переработка зерна. – 2014. – № 2 (179). – С. 22-24.
4. Котов, Б.І. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів [Текст] / Б.І. Котов, С.П. Степаненко, М.Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація с-г машин. – 2003. – Вип. 33. – С.53-59.
5. Ермольев, Ю.И. Перспективные технологии и технические средства для очистки зерна [Текст] / Ю.И. Ермольев // Механизация и электрификация с-х. – 2002. – № 6. – С.28-29.
6. Гапонюк І.О. Вітчизняні зерносушарки: стан та перспективи / І.О. Гапонюк // Хранение и переработка зерна. – 2014. – № 2. – С.25-29.
7. Грекова, Н.В. Пути совершенствования технологии активного вентилирования [Текст] / Н.В. Грекова, К.И. Громов // Хранение и переработка зерна. – 2014. – № 2. – С. 29-32.
8. Котов, Б.І. Визначення впливу технологічних режимів двостадійного сушіння на енергетичні показники процесу [Текст] / Б.І. Котов, Р.А. Калініченко // Конструювання, виробництво і експлуатація с-г машин. – 2003. – Вип. 33. – С. 60-65.
9. Подгородетский, О.А. К вопросу снижения энергозатрат в технологии двухстадийной сушки зерна [Текст] / О.А. Подгородетский // Хранение и переработка зерна. – 2013. – № 6. – С. 43-45.
10. Эффективные технические решения в технологии двухстадийной сушки зерна // Хранение и переработка зерна. – 2016. – № 12. – С.39-41.
11. Дринча, В.М. Основные концептуальные положения активного вентилирования зерна [Текст] / В.М. Дринча, Б.Д. Цыдендоржиев // Вестник Орел ГАУ. – 2010. – № 1. – С.35-38.
12. Петруня, Б.М. Перспективи застосування штучного холоду для збереження зерна [Текст] / Б.М. Петруня, С.М. Кудашев, О.С.Титлов // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2004. – Вип. 27. – С.26-30.
13. Верхованцева, В.О. Обґрунтування режимних параметрів охолодження зернової сировини в процесі зберігання [Текст] : автореф. дис.... канд. техн. наук : 05.18.12 / Верхованцевої Валентини Олександрівни. – Вінниця, 2016. – 22 с.

14. Калініченко, Р.А. Визначення енерговитрат при вентилюванні зернової маси в залежності від засміченості [Текст] / Р.А. Калініченко // Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха. – 2002. – Вип. 86. – С.153-156.
15. Степаненко, С.П. Аналіз розвитку конструкцій пневмосепаруючих систем сепараторів [Текст] / С.П. Степаненко, В.О. Швидя, І.С. Попадюк // Механізація та електрифікація с-г. Глеваха. – 2017. – Вип. 5. – С. 132-142.
16. Колодій, О.С. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника [Текст] : автореф. дис.... канд. техн. наук : 05.05.11 / О.С. Колодій. – Мелітополь, 2015. – 23 с.
17. Лузан, П.Г. Нові конструкції решіткових сепараторів зернових сумішей [Текст] / П.Г. Лузан, О.М. Васильківський // Конструювання виробництва та експлуатації с-г машин. – 1999. – Вип. 27. – С.123-127.
18. Мороз С.М. Обґрунтування параметрів транспортера-сепаратора зерна [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Мороз Сергій Миколайович; Кіровоградський державний технічний університет. – Кіровоград, 2012. – 18 с.
19. Stepanenko, S.P. Research pneumatic gravity separation grain materials (Исследование воздушногогравитационной сепарации зерновых материалов). [Text] / S.P. Stepanenko // International scientific jornal. Mechanization in agriculture, conserving of the resources. Scientific technical union of mechanical engineering industry-4.0 Bulgarian association of mechanization in agriculture. Issue 2, - Bulgarian, 2017. – S. 54-56.
20. Васильковський, О.М. Розробка конструкції та обґрунтування параметрів відцентрового решіткового сепаратора зерна [Текст] : автореф. дис.... канд. техн. наук : 05.05.11 / Васильковський Олексій Михайлович ; Кіровоградський державний технічний університет. – Кіровоград. – 2001. – 21 с.
21. Котов Б.І. Моделювання технологічних процесів в типових об'єктах післязбиральної обробки і зберігання зерна (сепарація, сушіння, активне вентилювання, охолодження) [Текст] / Б.І. Котов, Р.А. Калініченко, С.П. Степаненко, В.О. Швидя, В.О. Лісецький. – Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М. – 2017. – 552 с.

**Borys Kotov, Prof., Dsc.**

*State Agrarian and Engineering University in Podilya, Kamyanets-Podilsky, Ukraine*

**Sergiy Stepanenko, PhD tech. sci.**

*National scientific centre "Institute for Agricultural Engineering and Electrification", Kyiv, Ukraine*

**Roman Kalinichenko, PhD tech. sci.**

*National University of life and environmental sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

### **Conceptual foundations for creating technical facilities for primary grain processing in the conditions of agro-industrial complex farms**

Purpose. Identification of the basic principles of increasing the efficiency of grain fractionation by air flows. Theoretical studies are based on the main provisions of theoretical mechanics, in particular, dynamics, as well as the theory of differential equations of the first and second order.

A mathematical description of the motion of particles of a grain mixture in a gravitational-air separator chamber is exposed to the effect of a horizontal and vertical air flow of variable velocity. Trajectories of motion of particles with different sizes are obtained. With certain assumptions, the obtained regularities in the rate of movement of a material particle (point) from coordinates.

Conclusions. Theoretical studies have established the possibility of increasing the efficiency of separating grain materials with aerodynamic characteristics, by changing the horizontal flow velocity in the direction of motion with countercurrent flow of material, and also on the basis of theoretical studies it is determined that particles of grain material can be divided into fractions by aerodynamic properties in vertical channels with lower discharge. The technology of post-harvest grain processing is currently based mainly on the use of machines and equipment designed for a centralized harvesting system, designed for short-term loading and increased productivity. Substantial wear and tear and obsolete morale, unreasonably large specific material and energy consumption of existing units cause significant losses, injuries and poor cleaning quality, high operating costs and cost figures for finished products.

Therefore, the improvement of grain processing machinery and equipment under existing technology can not lead to a decrease in material, energy and production costs and an increase in the food, seed, technical quality of grain materials in the afterbirth period, as well as in storage. To meet the current requirements of the grain manufacturer and the processor, it is necessary to improve, change the technological principles of purification, fractionation, drying and operational storage

**separator, airflow, grain, variable air speed, trajectory, resistance force, fractions, vertical channel, windage coefficient**

Одержано 22.11.17