

Результати експериментальних досліджень багатоструменевого способу введення матеріалу в повітряно-інерційних зерноочисних машинах замкнутого типу

В статті наведені результати експериментальних досліджень багатоструменевого способу введення матеріалу в зону очищення зерна повітряним потоком повітряно-інерційними зерноочисними машинами. Одержані закономірності якісних показників пневмосепарційного процесу від конструктивних параметрів та режимів роботи повітряно-інерційного сепаратора. **зерноочисна машина (ЗОМ), пневмосепаруючий канал (ПСК), багатоструменевий ділильник, рівняння регресії, цільова функція**

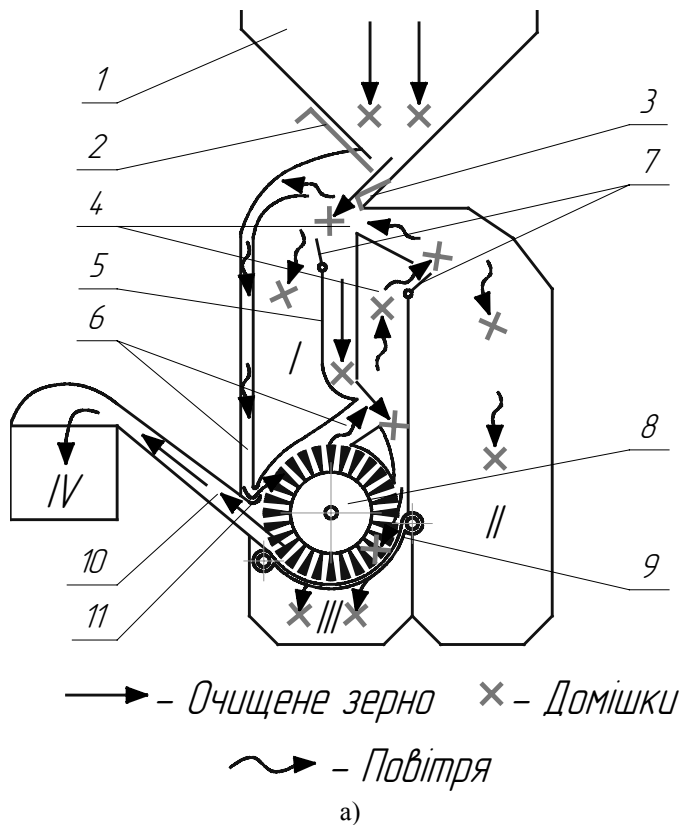
Якість і своєчасність проведення операцій післязбирального очищення зернових сумішей є визначальними факторами для забезпечення сприятливих умов подальшого зберігання та переробки зібраного врожаю. Тому підвищення ефективності роботи ЗОМ, а саме, збільшення повноти виділення та зниження кількості повноцінного зерна у відходах (чіткість сепарації) є актуальною задачею.

Аналіз існуючої техніки та способів очищення зернових сумішей [1, 2] дозволяє відмітити широке використання для цих цілей повітряно-решітних ЗОМ. Слід відмітити, що в більшості випадків показники питомої продуктивності решітної очистки в кілька раз перевищують аналогічні показники ПСК, що не лише стримує зростання продуктивності цих машин, але й знижує ефективність їх роботи. Це особливо спостерігається при роботі повітряно-інерційних ЗОМ замкнутого типу. Тому для усунення вказаних недоліків, з врахуванням напрямків інтенсифікації процесу пневмосепарації [3], було запропоновано багатоструменевий спосіб введення зернового матеріалу [4] в активну зону повітряної сепарації. Такий спосіб дозволяє значно знизити опір повітряному потоку в зоні введення матеріалу, а отже і сприяє уникненню перерозподілу швидкостей повітряного потоку по всьому поперечному перерізу каналу.

Проведені попередні дослідження вказаного способу введення матеріалу в ПСК [5] доводять його високу ефективність, а простота його здійснення, та можливість встановлення багатоструменевих ділильників на існуючі серійні машини без їх значного переобладнання, дозволяють зробити висновки про доцільність його використання. Крім того, проведені аналітичні дослідження [6, 7] повітряної сепарації зернових сумішей повітряним потоком з вдосконаленим способом введення матеріалу, аналізуючи які, можна відмітити можливість забезпечення такого способу введення матеріалу. Тому для встановлення раціональних параметрів роботи повітряної системи ЗОМ з вдосконаленим способом введення зернового матеріалу необхідно провести комплексну оцінку факторів які є визначальними при пневмосепарації.

Мета даних досліджень полягає у визначенні основних закономірностей впливу параметрів повітряно-інерційної ЗОМ з багатоструменевим способом введення зернового матеріалу на якісні показники процесу очистки.

Для дослідження впливу окремих факторів на цільові функції та знаходження раціональних значень окремих факторів було виготовлено експериментальну установку (рис. 1).



а) – схема експериментальної установки; б) – загальний вигляд експериментальної установки
 1 – бункер; 2 – дозуючий пристрій; 3 – багатоструменевий ділильник; 4 – ПСК; 5 – напрямник зернового матеріалу; 6 – повітропроводи; 7 – регулювальні заслінки; 8 – лопатевий ротор; 9 – решето; 10 – відвантажувальний рукав; 11 – ежектор;
 I та II – приймальні камери легких домішок; III – приймальна камера дрібних домішок; IV – приймальна камера очищеного зерна

Рисунок 1 – Експериментальна установка

Експериментальна установка (рис. 1) складається з бункера 1, що має дозуючий пристрій 2, багатоструменевого ділильника 3, похилого та вертикального ПСК 4, напрямляча зернового матеріалу 5, повітропроводів 6, регулювальних заслінок 7, лопатевого ротора 8, підсівного решета 9, відвантажувального рукава 10, ежектора 11 та приймальних камер I і II – легких домішок, III – дрібних домішок, IV – очищеного зерна.

Технологічний процес роботи установки наступний. Зерновий матеріал потрапляє з бункера в похилий ПСК першої аспірації, в якому відбувається виділення легких домішок в приймальну камеру. Далі зерновий матеріал, що пройшов попередню обробку похилим повітряним потоком, напрямником подається в вертикальний ПСК другої аспірації, при цьому виніс повноцінного зерна у відходи в обох каналах регулюється регулювальними заслінками. Повітряний потік створюється лопатками ротора, що обертається, який крім вищевказаної функції захоплює зерно, очищене від легких домішок, переміщає його по решітній частині, та за рахунок інерційних сил відвантажує з машини. Під час проходження зернового матеріалу через решето, дрібні домішки просіваються і потрапляють в приймальник дрібних домішок. Установка має замкнений цикл циркуляції повітря, що забезпечується використанням ежектора, який дозволяє за рахунок різниці тисків спрямовувати відпрацьований повітряний потік в робочу зону ротора.

Кількість матеріалу, що подається на обробку регулюється дозуючою заслінкою. Перед введенням зернового матеріалу в ПСК встановлено пасивний багатоструменевий ділильник [4, 5, 7], який розділяє матеріал і вводять останній в робочу зону каналу окремими струменями.

Лопатевий ротор приводиться в дію від електродвигуна потужністю 3 кВт з частотою обертів вала 1500 об/хв через клинопасову передачу. Регулювання частоти обертання ротора здійснюється варіатором з діапазоном частот обертання 500-3000 об/хв.

Максимальну ефективність процесу очистки зернового матеріалу повітряним потоком можна досягти при раціональних співвідношеннях конструктивних параметрів розробленого пневмосепаратора між собою, чого неможливо досягти при окремому вивченні їх впливу. З метою встановлення їх взаємного впливу необхідно застосувати методику математичного планування експерименту, задачею якої є одержання статистичної математичної моделі об'єкту досліджень у вигляді рівняння регресії.

Побудова і дослідження статистичної математичної моделі зводиться до наступного:

- попереднє дослідження об'єкту;
- вибір критерію оптимізації, впливових чинників і побудова моделі;
- оцінка адекватності і відтворюваності одержаної математичної моделі;
- використання моделі для оптимізації досліджуваного процесу.

Після проведеного теоретичного аналізу можна виділити основні геометричні, кінематичні та аеродинамічні параметри, які впливають на процес пневмосепарації. Попередні пошукові експериментальні та теоретичні дослідження дають можливість визначити вплив окремих факторів та визначити їх рівні. До факторів, що мають значний вплив на процес пневмосепарації віднесли: питома зернове навантаження на одиницю довжини каналу q_B , початкова швидкість введення зернового матеріалу в ПСК V_0 , частота обертання лопатевого ротора n та ширина багатоструменевого ділильника b . Параметричні обмеження, які являють собою рівні варіювання факторів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Рівні варіювання факторів експериментальних досліджень

№ п.п.	Фактори		Рівні варіювання		Інтервал варіювання
	Найменування	Позначення	Верхній (+)	Нижній (-)	
1	Питома зернове навантаження q_B , кг/дм·год.	x_1	2000	1000	500
2	Початкова швидкість введення зернового матеріалу V_0 , м/с	x_2	0,5	0,3	0,1
3	Частота обертання лопатевого ротора n , об/хв.	x_3	1200	900	150
4	Ширина багатоструменевого ділильника b , мм.	x_4	12	4	4

Критерій оптимізації, що характеризує об'єкт досліджень повинен задовольняти наступні умови:

- описувати ефект процесу з позиції кінцевої мети;
- мати певну універсальність для групи подібних процесів;

- повинен бути сукупною і вичерпною характеристикою об'єкта досліджень;
- бути статично ефективним, тобто мати низьку чутливість до незначних коливань системи;
- повинен мати чіткий фізичний зміст.

Виходячи з вище приведених умов, критеріями оптимізації для процесу очистки є ефект очистки η , % ($y_1 = \eta$) та чіткість сепарації z , % ($y_2 = z$).

Можливість відтворюваності даних експериментальних досліджень визначали за допомогою критерію Кохрена (G), а перевірку адекватності проводили за допомогою критерію Фішера (F).

Для визначення взаємозв'язку між конструктивними та технологічними параметрами ЗОМ і визначення їх раціональних значень в роботі проведено математичне планування експерименту.

Процедуру планування експериментальних досліджень, визначення значимості факторів та решту обчислень виконували за допомогою пакету прикладних програм «STATISTICA 6.0» (рис. 2)

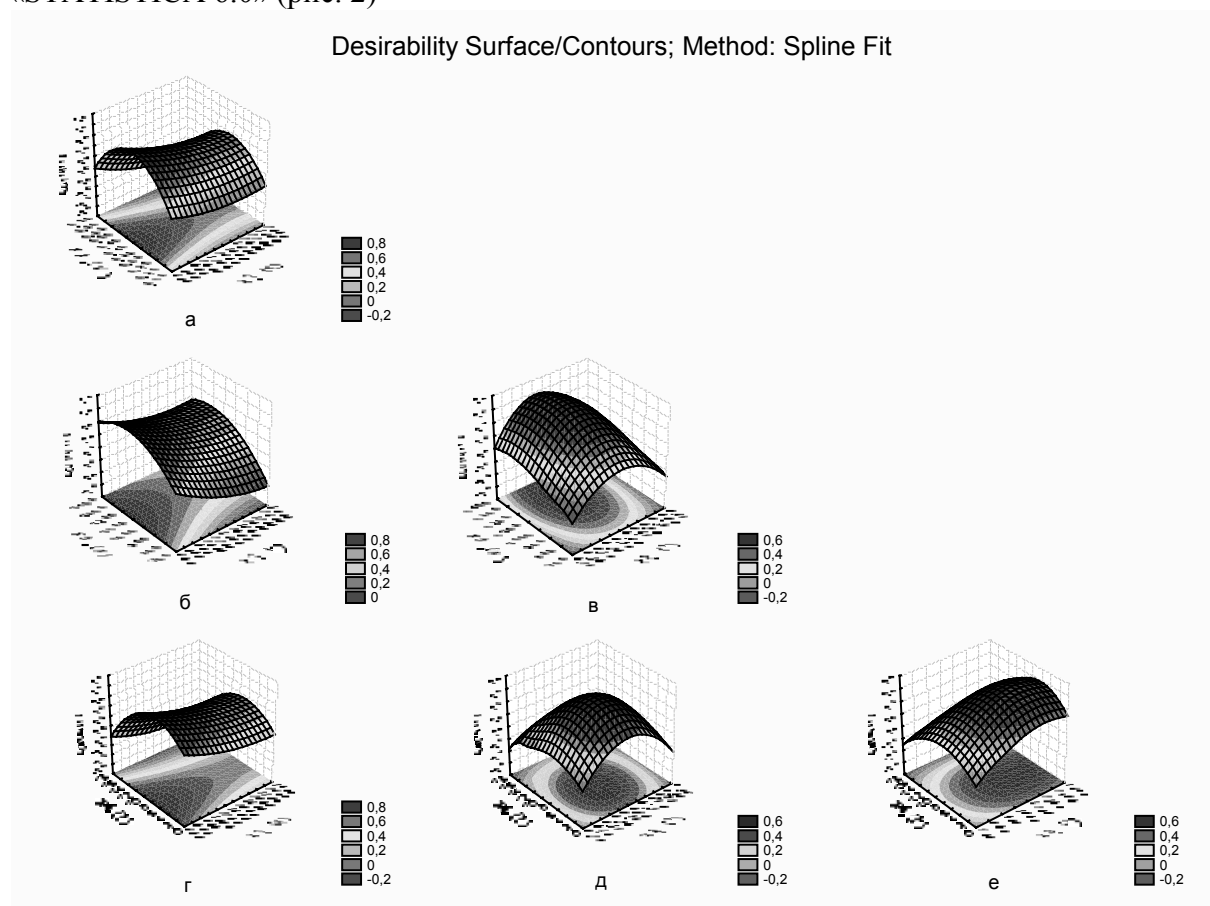
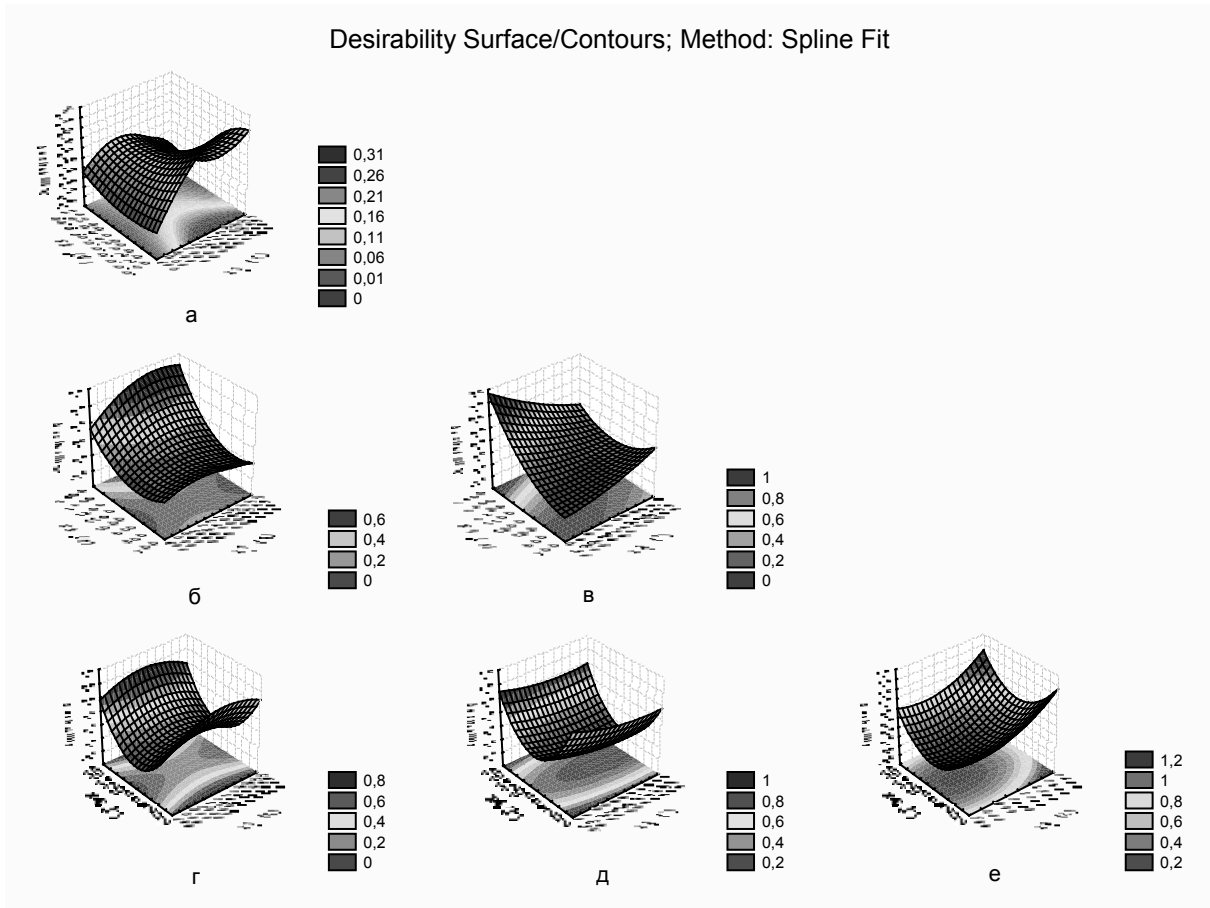


Рисунок 2 – Поверхні відгуку та лінії рівного виходу для ефекту очистки $Y_1(\eta)$

Для визначення найбільш суттєвого впливу факторів на цільову функцію використовували відображення стандартизованої Парето-карти (рис. 4)

На карті Парето наочно можна побачити фактори та їх взаємозв'язок, що мають статистично-значимі ефекти. На це вказує те, що відповідні стовпці перетинають вертикальну лінію, яка являє 95% тест для визначення значимості.

Desirability Surface/Contours; Method: Spline Fit



а) - $Y_1 = f(x_2, x_1)$; б) - $Y_1 = f(x_3, x_1)$; в) - $Y_1 = f(x_3, x_2)$; г) - $Y_1 = f(x_4, x_1)$; д) - $Y_1 = f(x_4, x_2)$; е) - $Y_1 = f(x_4, x_3)$

Рисунок 3 – Поверхні відгуку та лінії рівного виходу для чіткості сепарації $Y_1(z)$

Після проведення серії дослідів, побудови Парето-карт для двох параметрів оптимізації та побудови поверхонь відгуків, були отримані рівняння регресії в кодованих чинниках:

$$Y_1 = 72,6 - 12,15x_1 - 5,767x_2 + 12,633x_3 - 9,883x_4 + 2,992x_1^2 - 16,001x_2^2 - 7,508x_3^2 - 16,583x_4^2 - 1,925x_1x_2 + 2,175x_1x_3 + 0,25x_1x_4 - 2x_2x_3 - 0,675x_2x_4 - 1,775x_3x_4$$

$$Y_2 = 6,0 + 0,9x_1 - 2,1x_2 + 7,1x_3 - 0,517x_4 - 2,379x_1^2 + 0,696x_2^2 + 3,02x_3^2 + 6,321x_4^2 - 1,525x_1x_2 + 1,6x_1x_3 - 0,275x_1x_4 - 3,075x_2x_3 + 0,3x_2x_4 - 0,325x_3x_4.$$

Аналізуючи поверхні відгуку та лінії рівного виходу для ефекту очистки (рис.2) і чіткості сепарації (рис. 3) можемо зробити висновок, що раціональна ширина багатоструменевого ділильника (b) лежить в межах 6-8 мм. Саме при таких його параметрах, навіть при підвищених зернових навантаженнях до 2000 кг/дм·год, вдається досягти ефекту очистки на рівні 65-70%, що відповідає вимогам до попереднього очищення зерна і вдвічі вище ефекту очистки при аналогічному зерновому навантаженні з традиційним способом введення зернового матеріалу. Це пояснюється тим, що наявність проміжків між струменями зернового матеріалу сприяє більш ефективному очищенню по площі перерізу всього каналу, невеликі розміри багатоструменевого ділильника (до 6 мм) є неефективними, оскільки зерновий

матеріал, як високодисперсне середовище в такому випадку огинає перешкоду і фактично вводиться суцільним потоком, в той час, як збільшення товщини ділильника (більше 8 мм.) призводить до зменшення активної зони введення зерна, а отже, до значного збільшення товщини шару зернового матеріалу, що в кінцевому результаті призводить не лише до зниження ефекту очистки, а й збільшення кількості повноцінного зерна у відходах (погіршується чіткість сепарації).

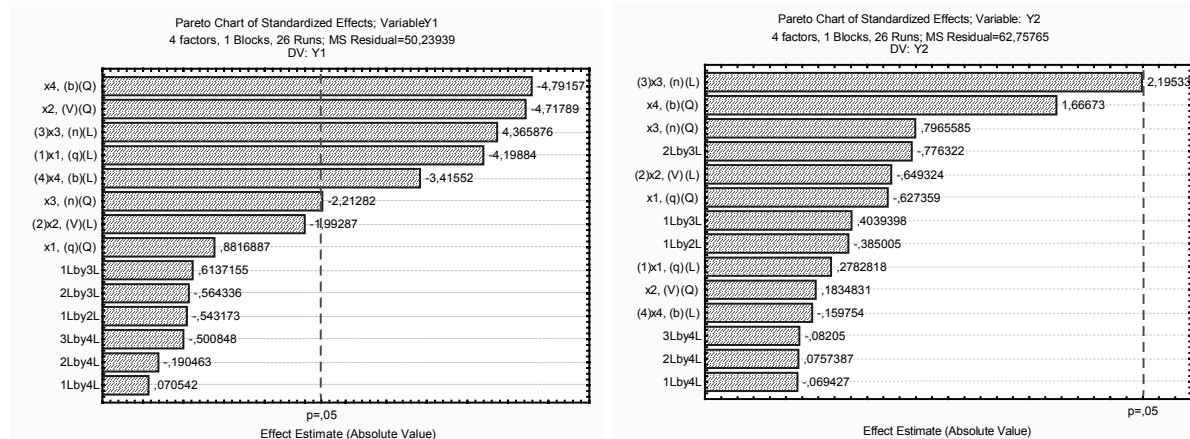


Рисунок 4 – Межа статистичного значення коефіцієнту математичного чекання

Висновки:

1. В результаті проведених експериментальних досліджень отримані рівняння регресії та графічні залежності для ефекту очистки та чіткості сепарації при очищенні зернових сумішей ЗОМ повітряно-інерційного типу із багатоструменевим введенням зернового матеріалу в ПСК.

2. Експериментально встановлено область раціональних значень параметрів і режимів роботи повітряно-інерційної ЗОМ з багатоструменевим способом введення зернового матеріалу, при яких спостерігається підвищення якісних показників роботи (ефект очистки $\eta = 65 - 70\%$, чіткість сепарації $z = 2 - 4\%$):

- питоме зернове навантаження $q_B = 1800 - 2000$ кг/дм·год;
- початкова швидкість введення зернового матеріалу $V_0 = 0,3 - 0,4$ м/с;
- частота обертання лопатевого ротора $n = 1050 - 1100$ об/хв.;
- ширина багатоструменевого ділильника $b = 6 - 8$ мм.

Список літератури

1. Зерноочистительные машины. Конструкция, исследование, расчет и испытание / Бурков А.И., Сычугов Н.П. – Киров: изд-во НИИСХ Северо-Восток, 2000. – 258 с.
2. Васильковський М.І., Гончарова С.Я., Лещенко С.М., Нестеренко О.В. Аналіз сучасного стану повітряної сепарації зерна. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 36. – Кіровоград: КНТУ, 2006 – С. 111-114.
3. Васильковський М.І., Васильковський О.М., Лещенко С.М., Нестеренко О.В. Огляд і напрямки вдосконалення пневмосепаруючих робочих органів ЗОМ // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 37. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – С. 99-104/
4. Спосіб введення зернового матеріалу в аспіраційний канал повітряного сепаратора: Патент України № 65067 МКВ В 02В1/00 // М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, Р.В. Кісільов, С.М. Лещенко, С.М. Мороз. – 4 с.

5. Васильковський М.І., Васильковський О.М., Лещенко С.М., Нестеренко О.В. Інтенсифікація процесу повітряної сепарації зерна. // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Випуск 24. – Мелітополь, 2006 - С. 161-165.
6. Васильковський М.І., Васильковський О.М., Лещенко С.М. Обґрунтування основних параметрів замкненої двохступеневої пневмосепаруючої системи ЗОМ // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. Вип. 59 – Харків, 2007. – С. 177-186.
7. Носуленко В.І., Сало В.М., Лещенко С.М., Васильковський М.І., Гончаров В.В. Передумови багатоструменевого способу введення зернових матеріалів в пневмосепаруючі канали зернових сепараторів. // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип.20. – Кіровоград: КНТУ, 2008. – С. 251-255.

В статті приведені результати експериментальних досліджень многоструйного способу введення матеріала в зону очистки зерна воздушним потоком воздушно-инерционными зерноочистительными машинами. Получены закономерности качественных показателей пневмосепарационного процесса от конструктивных параметров и режимов работы воздушно-инерционного сепаратора.

In the articles resulted results of experimental researches of multi-jet method of introduction of material are in the area of cleaning of grain by the current of air by air-inertia grain cleaners. Conformities to the law of high-quality indexes of grain cleaning process are got from structural parameters and modes of operations of air-inertia separator.