

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПНЕВМОІМПУЛЬСНОЇ МАШИНИ ДЛЯ СЕПАРАЦІЇ НАСІННЯ ЗА ГУСТИНОЮ

В статті наведено аналіз експериментальних досліджень впливу параметрів та режимів роботи пневмоімпульсної машини для сепарації насіння за густиною. Обґрунтовано отримані параметри та режими роботи, також подано статистичний аналіз рівнянь регресії.

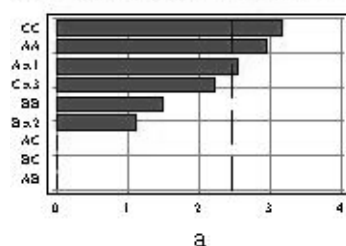
Україна має всі шанси щодо збільшення врожаїв зернових культур, які, в свою чергу, дуже залежать від якості посівного матеріалу. Разом з повним очищенням насіннєвого матеріалу від бур'яну одними з ознак, які істотно впливають на якість посівного матеріалу, є його крупність та густина. Дослідними станціями [1] встановлено, що посів насінинами з високим значенням густини призводить до підвищення врожайності на 2...10% завдяки отриманню більшої кількості рослин.

На кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету розроблено експериментальну пневмоімпульсну машину (ПІМ) для сепарації насіння за густиною шляхом переведення шару насіння в стан псевдозрідження за допомогою пульсуючого повітряного потоку [2-4]. Метою створення ПІМ є підвищення якісних показників процесу сепарації насіння за густиною.

Для визначення основних параметрів і режимів роботи ПІМ, а також їх вплив на якісні показники сепарації було проведено наступні експериментальні дослідження. Під час проектування експериментальної установки було закладено можливість регулювання кожного параметра, тобто кожен чинник має п'ять фіксованих значень, які було отримані під час теоретичних досліджень. На параметри оптимізації впливають дев'ять чинників. Якщо створити матрицю повнофакторного експерименту (ПЕФ) [5], то кількість дослідів буде складати $N = 5^9 = 1953125$. При п'ятикратній повторюваності буде перевищувати 9 мільйонів, що дуже складно для практичної реалізації. З метою спрощення проведення експериментальних досліджень було прийнято рішення про проведення трьох серій дослідів з використанням дробових реплік від ПЕФ виду $N = 2^9 + \text{зіркові точки}$. Для обробки експериментальних даних використовували пакет прикладних програм Statgraphic Plus [6].

Метою першої серії дослідів було реалізація матриці центрального композиційного плану $N = 2^3 + \text{зіркові точки}$, яка дозволить шляхом проведення експериментальних досліджень визначити оптимальні параметри тиску вентилятора (P_v), кутової швидкості пульсатора (ω_p) та висоти шару насіння (h_0) при яких відбувається процес сепарації. Значення всіх інших чинників брали на нульовому рівні. Параметрами оптимізації всіх серій дослідів були технологічний ефект сепарації (ТЕС) та продуктивність (Q). До основних параметрів відносили наступні чинники: $x_1(P_v) = (1, 1, 1, 2, 1, 3, 1, 4, 1, 5)$ кПа, $x_2(\omega_p) = (0, 6, 28, 8, 37, 10, 47, 12, 56, 14, 65)$ рад/с, $x_3(h_0) = (0, 04, 0, 06, 0, 08, 0, 10, 0, 12)$ м.

Стандартизована Парето-карта для ТЕС



Стандартизована Парето-карта для Q

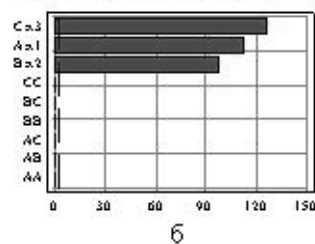


Рис. 1. Стандартизована Парето-карта $N = 2^3$ + зіркові точки:

а) – для ТЕС; б) – для Q

Аналізуючи Парето-карту для ТЕС (рис. 1, а), можна зробити висновок про те, що x_1 та квадратичні члени дають більш значні ефекти. Для (рис.1, б) продуктивності Q вплив квадратичних членів незначний і не перевищує 95% довірчу ймовірність. Поверхня відгуку та її контурний графік для ТЕС (рис. 2) показують, що найкращий ефект досягається при наступних значеннях чинників: $x_1(P_v) = (1,2 \dots 1,4)$ кПа, $x_2(\omega_n) = (8,37 \dots 12,56)$ рад/с, $x_3(h_0) = (0,08 \dots 0,12)$ м.

Поверхня відгуку та її контурний графік для Q показують, що при збільшенні значення тиску вентилятора (x_1), кутової швидкості пульсатора (x_2) зростає продуктивність, але відбувається перехід з процесу псевдозрідження шару (ПШ) без бурного кипіння в зону пневмотранспорту, що негативно вплине на ТЕС. Отримані експериментальним шляхом графіки (рис. 3-5) підтверджують, характер впливу вищеназаних чинників на параметри оптимізації. В результаті аналізу реплік побудовані нелінійні статистичні моделі (для ТЕС та Q) для натурального значення факторів. Статистична оцінка отриманих результатів дозволила зробити наступні висновки щодо рівноточності та адекватності отриманих моделей які подано у таблиці 1 для рівня надійності $P_H = 0,95$.

Таблиця 1

Статистична оцінка нелінійних моделей

Репліка		Кохрена		Фішера	
		Розрахункове	табличне	розрахункове	табличне
		Z^P	Z^I	F^P	F^I
$N = 2^3$ + зіркові точки	Q	0,068	0,242	0,066	3,0
	ТЕС	0,235		0,066	
$N = 2^4$ + зіркові точки	Q	0,068	0,192	0,297	2,8
	ТЕС	0,108		0,04	
$N = 2^{8-2}$ + зіркові точки	Q	0,0399	0,042	0,008	2,5
	ТЕС	0,036		0,068	

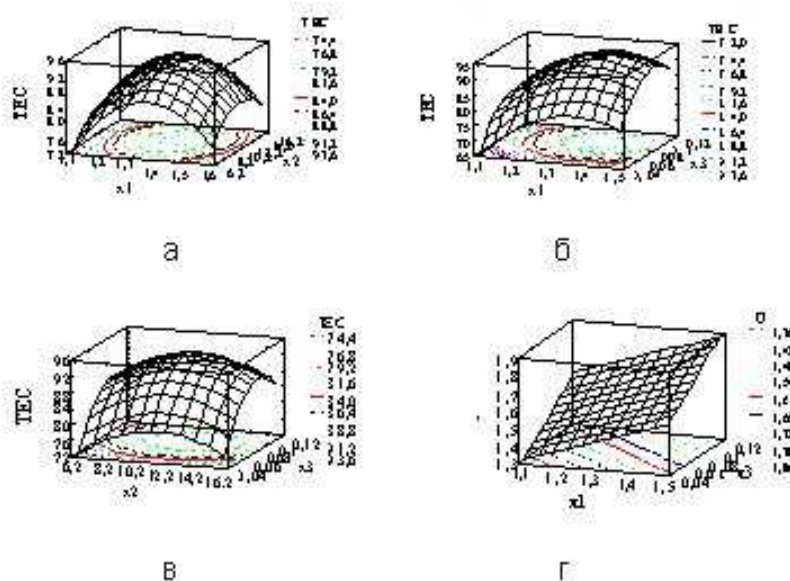


Рис. 2. Поверхні відгуку та графіки ліній рівного виходу для ТЕС та Q:
а) – $ТЕС=f(x_1, x_2)$ б) – $ТЕС=f(x_2, x_3)$; в) – $ТЕС=f(x_1, x_3)$; г) – $Q=f(x_1, x_2)$

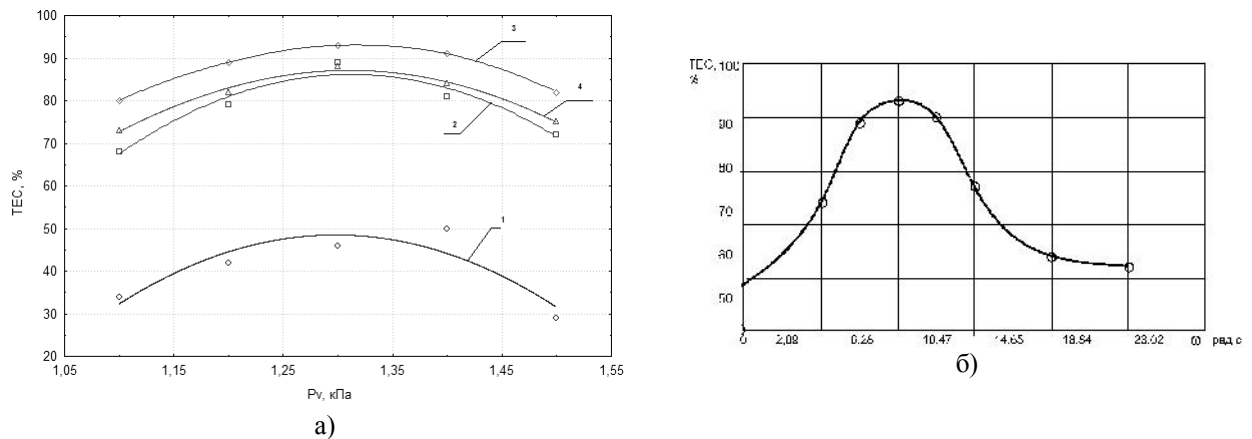


Рис. 3. Графіки параметрів ПІМ на ТЕС:
а) впливу тиску вентилятора; б) кутової швидкості пульсатора

Метою другої серії експериментальних досліджень було отримання найбільшого значення Q шляхом збільшення робочої довжини перегородки та з збереженням значення ТЕС. Значення чинників $x_1 \dots x_3$ взято з попередньої серії дослідів. Попередні дослідження показали, що ми маємо можливість підвищити продуктивність. Так як значення $x_1 - x_3$ вже визначені і їх зміна призведе до переходу процесу псевдозрідження в режим пневмотранспорту, то спробуємо визначити оптимальну робочу довжину перегородки. Для проведення експерименту склали матрицю $N = 2^4 +$ зіркові точки.

Отримані стандартизовані Парето-карти (рис. 4, а та б) показують, що на ТЕС найбільший вплив чинить квадратичне значення довжини робочої частини перегородки, а на продуктивність лише її довжина. Значення чинників $x_1 \dots x_3$ малозначиме тому, що їх значення були взяті з попередньої серії дослідів. Для їх оцінки використовували показник Дурбіна-Ватсона (DW), який визначали тестом Lack-of-Fit за допомогою пакета прикладних програм Statgraphics Plus. Тест показав, що рівняння статистично значимі при $\alpha = 0,0825$, значення $DW_1 = 1,954$, $DW_2 = 2,27$, які менші за табличне $DW = 1,75$, тобто моделі не потребують автокореляції в остачах.

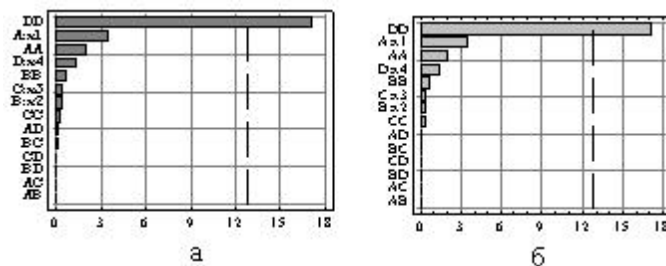


Рис. 4. Стандартизовані Парето-карти для $N = 2^4 +$ зіркові точки:
а) – для ТЕС; б) для Q .

Графіки поверхонь відгуку та ліній рівного виходу показують (рис. 5), що оптимальне значення робочої довжини перегородки лежить в межах 0,55-0,75 м, в наступній серії експериментальних досліджень фіксуємо значення довжини на рівні 0,6 м. Аналогічні значення показує графік впливу робочої частини перегородки на ТЕС (рис. 5), який побудовано за експериментальними даними.

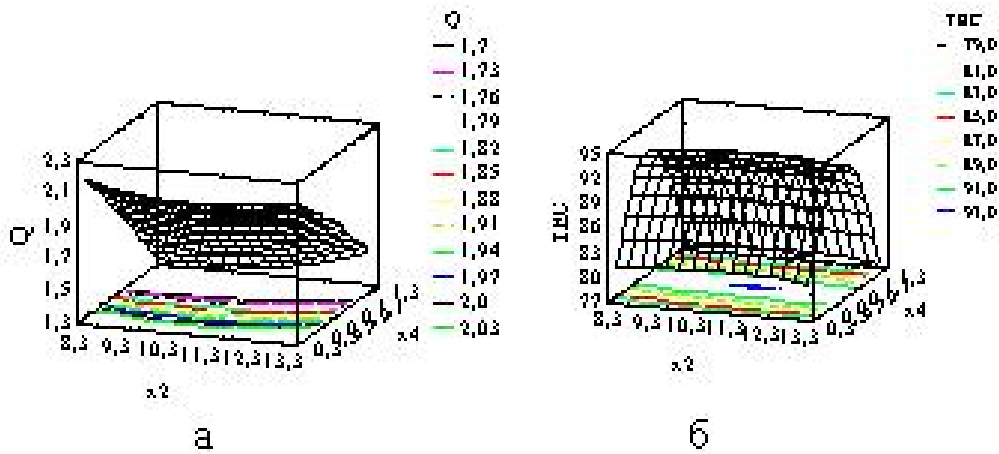


Рис.5. Поверхні відгуків та графіки ліній рівного виходу:
а) – $Q=f(\omega_n, L)$; б) $TEC=f(\omega_n, L)$.

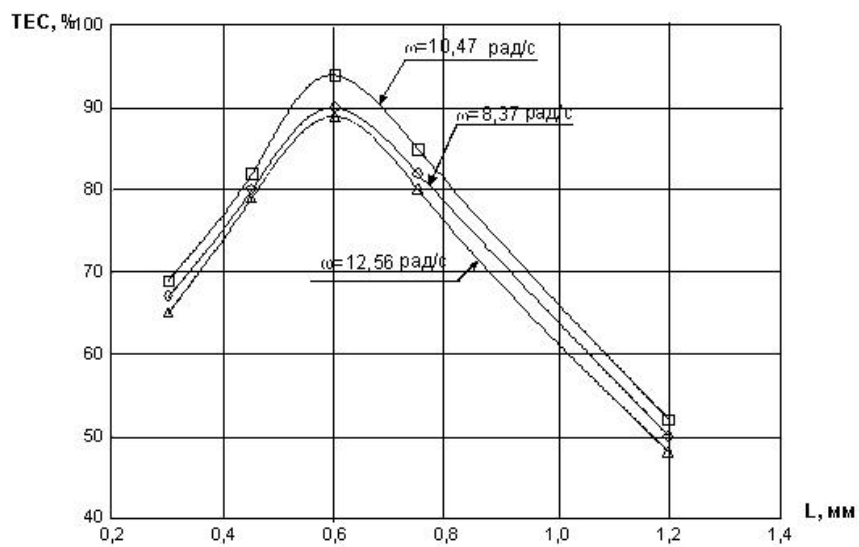


Рис.6. Графік впливу робочої довжини перегородки на TEC

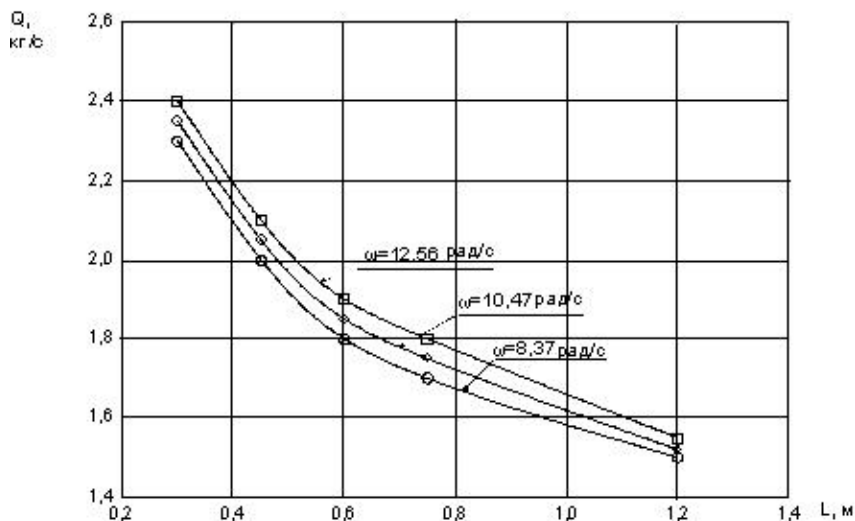


Рис.7. Графік впливу робочої довжини перегородки на продуктивність

Метою третьої серії експериментальних досліджень було вивчення впливу всіх параметрів ПМ на якісні показники роботи. На попередніх серіях дослідів визначено оптимальні значення тиску вентилятора (P_v), кутової швидкості пульсатора (ω_n), висоту

шару насіння (h_0) та робочу довжину перегородки (L), зафіксована на значенні $L=0,6$ м. Складено матрицю центрального композиційного плану $N = 2^{8-2}$ + зіркові точки, яка дозволить шляхом проведення експериментальних досліджень визначити оптимальні параметри $x_1 \dots x_8$, при яких відбувається процес сепарації, який забезпечить поєднання ТЕС та продуктивності машини (Q).

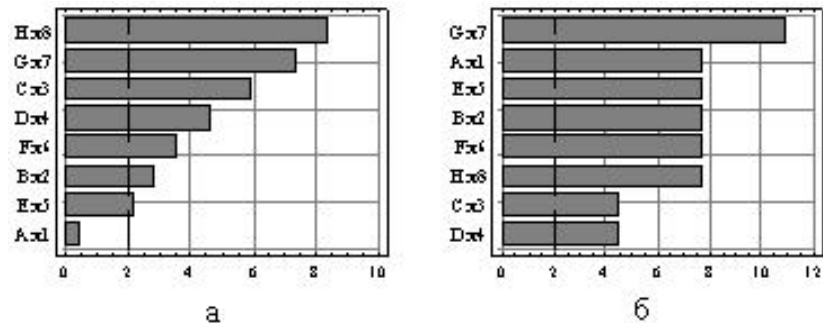


Рис. 8. Стандартизована Парето-карта для $N = 2^{8-2}$ + зіркові точки:
а) – для ТЕС; б) – для Q

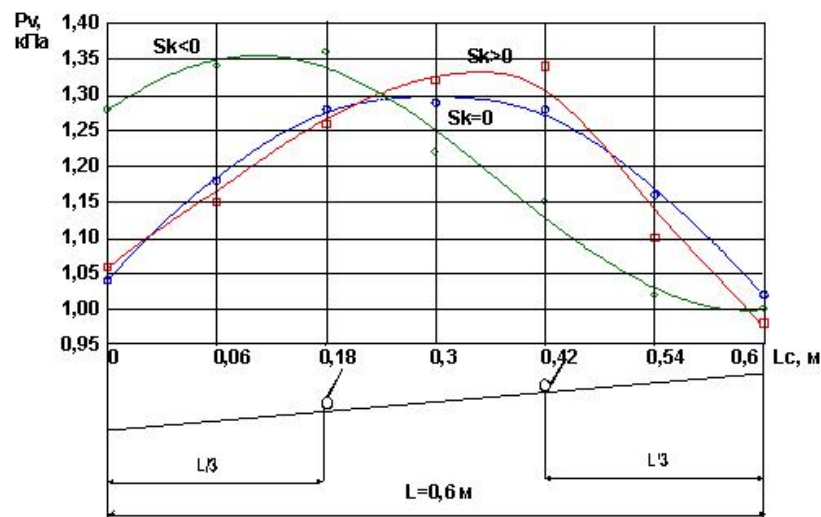


Рис. 9. Вплив коефіцієнту асиметрії на ТЕС

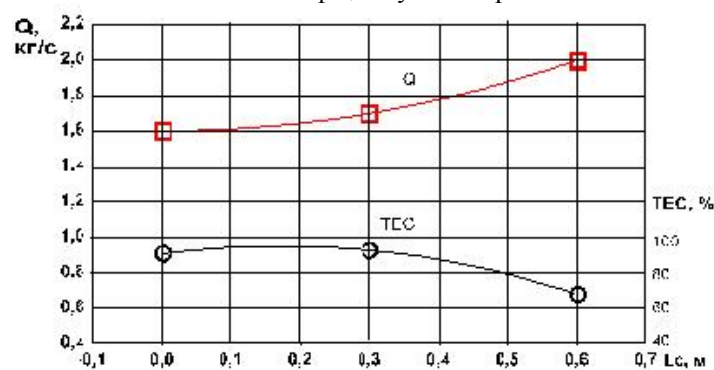


Рис. 10. Графік впливу довжини сітки на ТЕС та Q

Аналізуючи проведені серії дослідів, можна зробити наступні **висновки**:

- 1) збільшення P_b (x_1) призводить до підвищення продуктивності та до зменшення значення ТЕС (див. рис. 3, б), оптимальне значення $P_b=1,3$ кПа;
- 2) кутова швидкість пульсатора ω_n (x_1) істотно впливає лише на ТЕС (див. рис. 3, а), отримані експериментальним шляхом значення лежать в межах $8,37 \dots 12,57$ рад/с. Зменшення або вихід за встановлені межі призводить до різкого зниження ТЕС, що пояснюється збільшенням дії на частки сили лобового тиску повітряного потоку;

- 3) коефіцієнт встановлення діляників k_d (x_3) впливає також лише на ТЕС і експериментально встановлено оптимальне його значення – 1,2. Зменшення значення коефіцієнту призводить до появи часток з вищим значенням густини в наступній фракції, а також до втрат насіння по фракціях. Збільшення коефіцієнту призводить до забору ділянками насінин верхніх шарів, що теж негативно впливає на якість сепарації;
- 4) діаметр лопатевого колеса пульсатора D_p (x_4) істотно впливає як на продуктивність, так і на ТЕС наступним чином: зменшення призводить до збільшення Q і погіршення ТЕС. Тобто експериментально отримали підтвердження обраного шляху щодо використання пульсуючого повітряного потоку, а також потрібність повного перекриття пульсатором повітряного каналу, яке приводить до покращення показника ТЕС до 90...93%;
- 5) кут нахилу перегородки α (x_5) слід обирати таким, що дорівнює $\alpha = 2^\circ$, що дозволить поєднати найкращі значення продуктивності та ТЕС;
- 6) висоту шару насіння h (x_6) при даних значеннях конструктивних та режимних параметрів повинна складати $h = 0,10...0,12$ м, бо її зменшення призведе до зміни опору шару насіння і призведе до його кипіння, а збільшення – до відсутності процесу псевдозрідження;
- 7) довжина сітки для виходу повітря L_c (x_7) суттєво впливає на режим процесу псевдозрідження (рис. 4.14). При повному перекритті ПІМ працює в режимі пневмотранспорту і спостерігається підвищення продуктивності до 2,2 кг/с і зменшення ТЕС до 62%. Для найкращого поєднання показників якості сепарації експериментально встановлено залежність $L_c = 0,5L$, перекриття частини каналу слід робити перед блоком діляників, щоб збільшити швидкість проходження обробленого матеріалу;
- 8) коефіцієнт асиметрії S_k (x_8) показує зміну епюри тисків по довжині каналу в залежності від того, яка з двох заслінок піднята (рис.9). Якщо $S_k = 0$, це означає, що всі заслінки опущені, при цьому значенні підвищується продуктивність, а ТЕС падає. При $S_k = (-1)$ перша заслінка піднята, друга опущена, створюються найбільш сприятливі умови для сепарації, а при $S_k = 1$ з'являються перемішування обробленого матеріалу в зоні перед блоком діляників.

Таблиця 2

Порівняльні характеристики сепараторів

Показник	Одиниці виміру	Сепаратор	
		ПСС-2,5	Дослідний (ПІМ)
Площа деки	м ²	1,2	0,078
Витрати повітря	м ³ /с	9000	750
Потужність електродвигуна	кВт	4	2,2
Продуктивність	кг/с	0,6...0,7	1,7...1,9
Технологічний ефект сепарації	%	82...91	89...93

Проведені експериментальні дослідження підтвердили достовірність результатів отриманих теоретичним шляхом, дозволили уточнити ряд конструктивних параметрів і дають можливість зробити висновок про доцільність використання пневмоімпульсної машини для сепарації насіння за густиною (табл. 2).

The thesis is developed the problem to pneumatic-impulsive separation according to density. Contains analytical and experimental investigations of a seed separation according to density in the state of fluidization.

Література

1. Очистка и сортирование семян. / За ред. И.Г. Воронова. – М.: Сельхозиздат, 1959. – 581 с.
2. Комаристов В.Ю., Петренко М.М. Довідник з механізації після збиральної обробки зерна. – К.: Урожай, 1990. – 194 с.
3. Петренко М.М., Богатирьов Д.В. Теоретичні дослідження пневмоімпульсної сепарації за густиною // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 32. – Кіровоград: КДТУ, 2002. – С. 140-146.
4. Пневмоімпульсна машина для сепарації насіння за густиною / М.М. Петренко, Д.В. Богатирьов.- Пат. 54270 А Україна, МПК 7 A01C1/00.- №2002075688; Заяв. 10.07.2002; Опубл. 17.02.2003. Бюл. № 2.- 3 с.
5. Петренко М.М. Основи наукових досліджень в сільськогосподарському машинобудуванні. – Кіровоград: Державне видавництво, 1997. – 148 с.
6. В. Дюк. Обработка данных на ПК в примерах. – СПб.: Питер, 1997. – 240 с.

Одержано 22.10.2004 р.