

В.О. Швидя, асп., С.П. Степаненко, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.

Національний науковий центр „ІМЕСГ”, смт. Глеваха

Б.І. Котов, проф., д-р техн. наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Результати експериментальних досліджень пневмосепарації зерна у пневмовідцентровому сепараторі з удосконаленим експериментальним диском

Викладено результати експериментальних досліджень пневмовідцентрового сепаратора для очистки зерна. Визначено експериментальні залежності ефективності і чіткості процесу пневмосепарації від конструкційно-режимних параметрів сепаратора.

пневмосепарація, пневмовідцентровий сепаратор, очистка зерна, диск

Зернова суміш, отримана після збирання врожаю, складається з насіння різних культур та бур'янів, містить домішки мінерального і органічного походження. Виділення насіння основної культури в чистому вигляді є з однією із важливих і важких технологічних операцій в процесі прийому, зберігання і переробки зерна. При підготовці посівного матеріалу ступінь очистки зерна значно впливає на врожайність і стабільність якості зерна при зберіганні.

Якість очистки продовольчого зерна значно впливає на подрібнення і лущення, розділення проміжних продуктів цих процесів, визначає ефективність роботи наступних машин технологічної лінії зернопереробного підприємства.

Сучасне обладнання для сепарації зернової суміші по експлуатаційним якостям неповністю відповідає постійно зростаючим вимогам зернопереробної промисловості. Розробка нової технології сепарації зернової суміші і більш сучасної техніки для її здійснення ускладнюється в зв'язку з різноманіттям сепаруючих матеріалів і способів сепарації; складністю взаємодії часток сепаруючих матеріалів з повітряним потоком і робочими органами машини; недостатнім розвитком теоретичних основ сепарації і методів обґрунтування параметрів машин і режимів їх роботи.

Процесом сепарації займалося багато вчених, таких як В.І. Аніскін, П.М. Василенко, В.Ф. Веденєв, В.В. Гортинський, В.П. Гарячкін, А.Б. Демський, В.Л. Злочевський, Н.И. Косілов, В.А. Кубишев, П.Н. Лапшин, М.Н. Летошнев, А.А. Лопан, А.Я. Маліс, Е.А. Непомнящих, Г.Д. Терсків та інші вчені. Проте, в більшості досліджень по пневмосепарації [1, 2, 3] недостатньо уваги приділяється технологічному процесу вводу зернової суміші в повітряний потік. Як показує багаторічна практика [4], через необґрунтований режим вводу зернової маси в повітряний потік погіршується ефективність сепарації на 20% і продуктивність на 25%.

Як показують дослідження [5] застосування відцентрового введення зернової суміші в повітряний потік дозволяє підвищити продуктивність існуючих машин, проте через недостатньо обґрунтовані параметри, якість роботи залишається задовільною. Виходячи із

аналізу проведених досліджень отримана можливість підвищити ефект очистки за рахунок введення зернової суміші з меншою об'ємною концентрацією. Параметри та режими роботи такого виду сепараторів обґрунтовано недостатньо, тому актуальною задачею є дослідження технологічного процесу та обґрунтування параметрів пневмовідцентрового сепаратора для попереднього очищення зернових та насінневих сумішей.

Метою роботи є виявлення і оцінка впливу конструкційних параметрів розкидного диска та режимних параметрів пневмовідцентрового сепаратора на якісно-економічні показники розділення зернових сумішей.

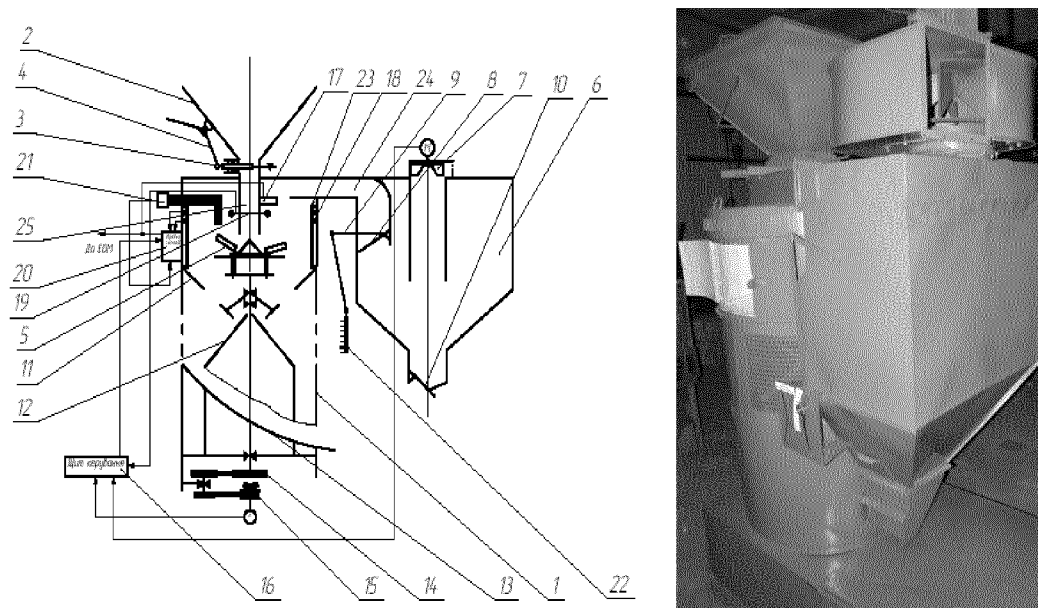
Для перевірки адекватності математичних моделей і проведення експериментальних досліджень по пневмовідцентровій сепарації лабораторією науково-технічних проблем післязбиральної обробки зерна ННЦ "ІМЕСГ" було розроблено експериментальну установку пневмовідцентрового сепаратора.

Конструкція, загальний вигляд і принцип роботи експериментальної установки пневмовідцентрового типу дії показано на рис.1. Загальний вигляд експериментального розкидного диска представлено на рис.2.

Установка включає корпус 1 в середній частині якого виконані отвори для забору повітря, до верхньої частини якого приєднано бункер 2. В нижній частині бункера 2 розміщується заслінка 3 та механізм регулювання заслінки 4. До верхньої частини корпусу 1 приєднується також через повітропровід 24 осадна камера 6, в якій розміщується клапан 8 і механізм регулювання клапана 9. До верхньої частини осадної камери 6 приєднується вентилятор 7. В нижній частині осадної камери 6 для герметизації в процесі роботи розміщується вакуумний клапан 10. До внутрішньої стінки корпусу 1 для транспортування важкої фракції приєднано скатний конус 11, в якому для забору повітря виконано вікна. Нижче і співвісно з ним розміщується розподільчий конус 12.

Між ним і внутрішньою стінкою корпусу 1 по дотичній приєднуються вивідні канали 13, які утворюють гвинтову лінію. Всередині корпусу 1, в верхній його частині розташований розкидний диск 5, який складається з розподільчого конусу 1 розміщеного в центрі, розміщених по колу секторів 3, до яких приєднуються лопатки 2. Сектори розкидного диска 3 приєднуються за допомогою болтів 5 до основи 6, якими можна регулювати кут нахилу сектора до основи 6 в двох площинах одночасно. Між сектором 3 і основою 6, співвісно на регульовальні болти для жорсткості і здійснення невеликих за амплітудою коливань сектора 3 встановлено пружини 4 (рис.2). Розкидний диск 5 (рис.2.) кінематично з'єднаний з механізмом приводу 14.

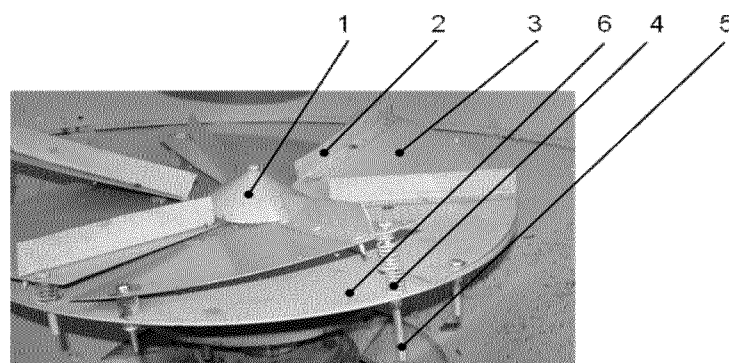
Механізм приводу 14 приводиться в дію шківом-варіатором 15, що встановлений на електродвигуні, за допомогою ремінної передачі. Над розкидним диском 5, співвісно з ним встановлено зернопровід 25, верхньою частиною який приєднується до бункера 2. До зовнішньої стінки зернопроводу 25 для спостереження за процесом встановлено лампи підсвічення 19. Для фіксації рівномірності розподілу маси по висоті та кільцю аспіраційного каналу, до внутрішньої стінки корпусу 1 приєднуються пофарбована плівка 23. Між плівкою 23 і внутрішньою стінкою корпусу 1 для виміру значення швидкості руху фракції в каналі встановлено блок п'єзодатчиків 18, сигнал з яких обробляється на АЦП 20, що приєднується до зовнішньої стінки корпусу 1. Також в верхній частині корпусу 1 для виміру швидкості повітряного потоку встановлено трубку Піто 21. Електродвигуни шківа-варіатора 15 та вентилятора 7 керуються з щита керування 16, що розміщується поза машиною.



а) – схема експериментальної установки; б) – загальний вигляд експериментального зразка

1 – корпус 2 – бункер; 3-заслінка; 4 – механізм регулювання заслінки; 5 – розкидний диск; 6- осадна камера; 7-вентилятор; 8-клапан; 9-механізм регулювання клапана; 10-вакуумний клапан; 11-скатний конус; 12- розподільчий конус; 13-вивідний канал; 14-механізм приводу; 15-шків-варіатор; 16-щит керування; 17- фотоблок; 18-блок п'єзодатчиків; 19-лампи підсвічення; 20-АЦП; 21 – трубка Піто; 22 – шкала; 23 – плівка пофарбована; 24 – повітропровід; 25 - зернопровід

Рисунок 1 – Експериментальна установка пневмовідцентрового сепаратора



1 – розподільчий конус; 2 – лопатка; 3 – сектор; 4 – пружина; 5- регулювальний болт; 6 – основа

Рисунок 2 – Загальний вигляд експериментального розкидного диска

Технологічний процес на установці здійснюється наступним чином. Зерновий матеріал з бункера 2 через вікно, утворене стінками бункера 2 та заслінкою 3 по зернопроводу 25 подається на розподільчий конус 1 (рис.2) розкидного диска 5. Під дією відцентрової сили зернова суміш сходить з розподільчого конуса 1 і притискається силою Коріоліса до секторів 3 розкидного диска 5, які розміщено під кутом до основи 6. (рис. 2). Під дією відцентрової сили матеріал рухається до краю сектора 3 розкидного диска 5 і сходить з нього з деякою початковою швидкістю і під деяким кутом до горизонту в висхідний повітряний потік. Внаслідок малої швидкості вітання легкі домішки захоплюються повітряним потоком в повітропровід 24 і осідають в осадній камері 6. Важкі частки, маючи більшу швидкість вітання, чим легкі, пролітають аспіраційний канал по параболічній траєкторії і стикаються з пофарбованою плівкою 23, залишаючи на ній слід. Внаслідок пружного удару важкі частки відскакують від пофарбованої плівки 23 віддаючи

частину ударного імпульсу блоку п'єзодатчиків 18 і, скочуючись по скатному конусу 11, потрапляють на розподільчий конус 12, розташований нижче. Сходячи з розподільчого конусу 12, важкі частки падають на гвинтові вивідні канали 13, кут нахилу гвинтової лінії яких більший за кут тертя важких часток і надходять до приймального лотка де і збираються в необхідній кількості.

При проведенні досліджень на розробленій експериментальній установці за критерій оптимізації було взято дві функції: ефективність і чіткість сепарації.

Ефективність сепарації експериментального сепаратора оцінювали за ступенем виділення сміттєвих домішок за стандартними методиками [6], використовуючи формулу Малісса:

$$\Xi = \frac{a-c}{b} \times 100\%; \quad (1)$$

де a - кількість виділених повітряним потоком легких домішок;

b – кількість легких домішок в вихідній зерновій суміші, які можна виділити повітряним потоком;

c – кількість важкої фракції, виділеної повітряним потоком.

Аналіз на вміст важких часток у виділених повітряним потоком легкої фракції проводились згідно ГОСТ 10939-64 на наборі лабораторних сит, при цьому чіткість сепарації визначалась за формулою [6]:

$$\Upsilon = \frac{a-c}{a} \times 100\%. \quad (2)$$

Для визначення впливу режимних параметрів експериментальної установки і конструктивних параметрів розкидного диска робочого на ефективність сепарації та чіткості сепарації проведена методика проведення багатофакторного експерименту.

Багатофакторні експерименти виконувались по D-оптимальному плану Бокса [7], який потребує меншої кількості дослідів і найбільш адекватно описує процеси пневмовідцентрової сепарації.

При складанні таблиці рівнів і інтервалів варіювання використовувались стандартні методики планування експерименту [8]. План Бокса розрахований на використання трьох рівнів для кожного фактора: - верхнього (+1), основного (0) і нижнього (-1), представленого в закодованому вигляді:

$x_1 = k$, мм, - крок установки по гвинту секторів розкидного диска;

$x_2 = n$, об/хв, - частота обертання розкидного диска;

$x_3 = q$, т/год, - подача зернового матеріалу на розкидний диск;

$x_4 = V$, м/с – швидкість висхідного повітряного потоку.

Значення рівнів і інтервали варіювання наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення і кодування рівнів факторів процесу пневмовідцентрової сепарації

Рівень варіювання	Незалежні фактори			
	x_1 , мм	x_2 , об/хв	x_3 , т/год	$x_4 = V$, м/с
Нижній (-1)	60	100	5	5
Середній (0)	90	130	20	7
Верхній (+1)	120	160	35	9
Інтервал варіювання (ϵ_i)	30	30	15	2

По відомим формулам [9] було визначено коефіцієнти регресії. Для розрахунку отриманих математичних моделей на однорідність, адекватність та значимість коефіцієнтів рівняння регресії використовувались стандартні методики [9].

Після аналізу на адекватність та значимість коефіцієнтів рівняння регресії отримано наступні рівняння регресії:

– для визначення ефективності пневмовідцентрової сепарації:

$$Y(x_1, x_2, x_3, x_4) = 0.76 \cdot x_1 + 12.91 \cdot x_2 - 0.07 \cdot x_1 \cdot x_4 - 0.002 \cdot x_2 \cdot x_3 - 29.03 \quad (3)$$

– для визначення чіткості пневмовідцентрової сепарації:

$$Y(x_1, x_2, x_3, x_4) = 93.5 + 0.126 \cdot x_3 - 0.836 \cdot x_4 - 0.039 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0.574 \cdot x_1 \cdot x_4 \dots \\ + 0.064 \cdot (x_2)^2 - 0.609 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0.193 \cdot x_3 \cdot x_4 \quad (4)$$

Обробку результатів проведених експериментальних досліджень виконали за допомогою обчислювальної техніки та прикладного програмного забезпечення, математичних та статистичних пакетів обробки даних (MathCad, MatLab, Statistica 6.0) у вигляді графічних залежностей (рис. 3 - 6).

На рис. 3–4 представлено графічні залежності ефективності сепарації Y від частоти обертання розкидного диска ω , швидкості висхідного повітряного потоку V , кроку установки по гвинту секторів розкидного диска k та подачі зернового матеріалу q . Графічні залежності побудовані на основі рівняння (3).

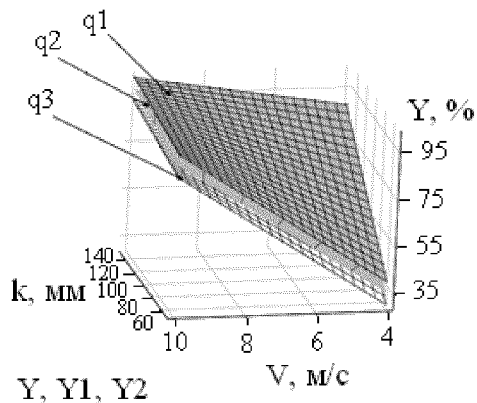


Рисунок 3 – Поверхні відгуку ефективності пневмовідцентрової сепарації Y (%) від кроку гвинта установки секторів на розкидному диску k та швидкості повітряного потоку V при різних значеннях подачі зернової суміші q : $q_1=5$ т/год; $q_2=20$ т/год; $q_3=35$ т/год

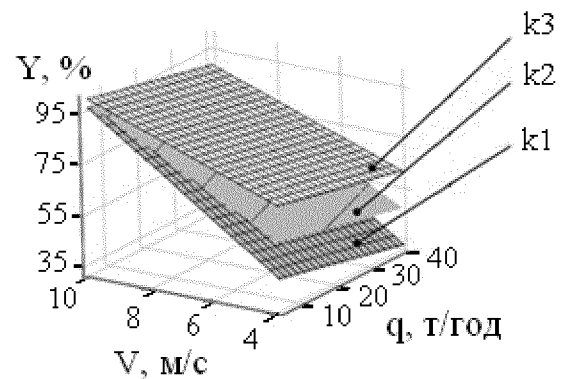


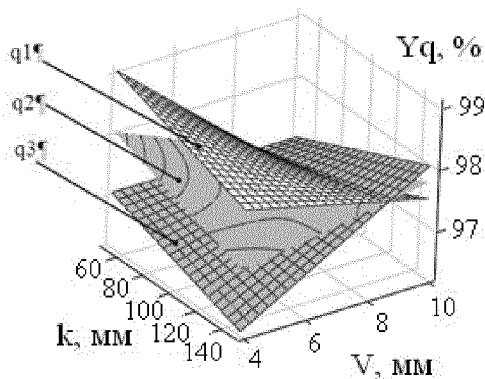
Рисунок 4 – Поверхні відгуку ефективності пневмовідцентрової сепарації Y (%) від подачі зернової суміші q та швидкості повітряного потоку V при різних значеннях кроку гвинта k (мм) установки секторів на розкидному диску: $k_1=60$ мм; $k_2=90$ мм; $k_3=120$ мм.

З аналізу графіків, які представлено на рис. 3 - 4, видно, що при збільшенні кроку установки секторів розкидного диска по гвинту до 120 мм та підвищенні швидкості висхідного повітряного потоку до 9 м/с ефективність сепарації суттєво підвищується і становить близько 96%. Збільшення подачі зернової суміші на розкидний диск погіршує ефективність сепарації, так як питома об'ємна густина зернової суміші, що сходить з розкидного диска збільшується.

Поверхня відгуку, представлена на рис. 4. дає можливість зробити висновок проте, що збільшуючи швидкість висхідного повітряного потоку до 9 м/с та зменшуючи подачу зернової суміші на розкидний диск ефективність сепарації підвищується.

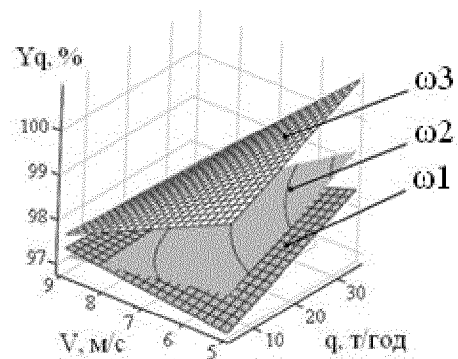
Таким чином, при швидкості висхідного повітряного потоку 9 м/с, кроку установки секторів по гвинту 120 мм, подачі зернового матеріалу на розкидний диск 5 т/год та частоті обертання 100 об/хв. ефективність сепарації найбільша і становить близько 96%.

На рис. 5–6 представлено графічні залежності чіткості пневмодцентрової сепарації Y від частоти обертання розкидного диска ω , швидкості висхідного повітряного потоку V , кроку установки по гвинту секторів розкидного диска k та подачі зернового матеріалу Q . Графічні залежності побудовані на основі рівняння (4).



Y_q, Y_{q1}, Y_{q2}

Рисунок 5 – Поверхні відгуку чіткості пневмосепарації Y_q (%) від кроку гвинта установки секторів на розкидному диску k та швидкості повітряного потоку V при частоті обертання розкидного диска $\omega = 100$ об/хв та при різних значеннях подачі зернової суміші q : $q_1 = 5$ т/год; $q_2 = 20$ т/год; $q_3 = 35$ т/год



Y_q, Y_{q1}, Y_{q2}

Рисунок 6 – Поверхні відгуку чіткості пневмосепарації Y_q (%) від подачі зернової суміші на розкидний диск q та швидкості повітряного потоку V при кроку установки секторів на розкидному диску $k = 90$ мм та при різних значеннях частоти обертання розкидного диска ω : $\omega_1 = 100$ об/хв; $\omega_2 = 130$ об/хв; $\omega_3 = 160$ об/хв.

Аналіз графічних залежностей, які представлено на рис. 5 – 6, показує, що при збільшенні подачі зернової суміші на розкидний диск чіткість сепарації зменшується. Чіткість сепарації зменшується також при зменшенні швидкості повітряного потоку і кроку установки по гвинту секторів розкидного диска. Це пояснюється тим, що при збільшеній подачі зернового матеріалу та невеликій швидкості повітряного потоку ймовірність захоплення важких часток повітряним потоком незначна. При швидкості повітряного потоку 9 м/с подача зернового матеріалу в межах від 5 до 35 т/год не впливає на чіткість сепарації. Це пояснюється тим, що при такій швидкості повітряного потоку досягнута нижня границя швидкості вітання важкої фракції, тому захоплення відбувається при будь-якій подачі зернового матеріалу. При швидкостях повітряного потоку більших за 9 м/с, збільшення подачі зернового матеріалу в діапазоні від 35 до 10 т/год призводить до збільшення чіткості сепарації, а в діапазоні від 10 до 5 т/год до зменшення чіткості сепарації. Поверхня відгуку, зображена на рис.6 показує, що при швидкості повітряного потоку 8,5 м/с зміна частоти обертання розкидного диска в діапазоні від 100 об/хв до 130 об/хв. не впливає на чіткість пневмодцентрової сепарації. При збільшенні частоти обертання розкидного диска чіткість сепарації збільшується.

Таким чином, максимальна чіткість сепарації 100 % спостерігається при швидкості висхідного повітряного потоку 5 м/с, кроку установки секторів по гвинту 60 мм, подачі зернового матеріалу на розкидний диск 45 т/год та частоті обертання 160 об/хв.

Висновок: Проведені експериментальні дослідження дали змогу отримати нові емпіричні математичні моделі (рівняння регресії), на основі яких можна оцінити якість роботи експериментального сепаратора і перевірити адекватність теоретичних моделей. Експериментально доведено, що збільшення кроку установки секторів на розкидному диску призводить до підвищення ефективності сепарації. Встановлено, що оптимальні

конструкційно-режимні параметри установки, при яких збільшується ефективність (92-97%) і чіткість сепарації (95-96%) знаходиться в межах:

- швидкість повітряного потоку $V = 7 - 7,5$ м/с;
- кроку установки по гвинту секторів на розкидному диску $k = 80 - 100$ мм
- подачі зернового матеріалу $q = 15 - 25$ т/год;
- частоті обертання розкидного диску $\omega = 120 - 140$ об/хв.

Список літератури

1. Малис А.Я., Демидов А.Р. Машины для очистки зерна воздушным потоком. — М.: Машгиз, 1962.
2. Гортинский В.В., Демский А.Б., Борискин А.М. Процессы сепарации на зерноперерабатывающих предприятиях. — М.: Колос, 1980. - 303 с.
3. Заика П.М., Мазнев Г.Е. Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств. — М.: Колос, 1978. — 287 с.
4. Авдеев Н.Е. Центробежные сепараторы для зерна. — М.: Колос, 1975. — 152с.
5. Современные средства предварительной очистки зерна. // Механизация и электрофикация сельского хозяйства, 1986, №8. — С.60 — 63.
6. Гортинский В.В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. М., Колос. 1973. — 295 с.
7. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рошин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1980. — 168 с., ил.
8. Ковшов В.Н. Постановка инженерного эксперимента. — Киев — Донецк: Вища школа, Главное изд-во, 1982, — 120с.

В.Швидя, С. Степаненко, Б. Котов

Результаты экспериментальных исследований пневмосепарации зерна у пневмоцентробежном сепараторе с усовершенствованным экспериментальным диском

Изложены результаты экспериментальных исследований пневмоцентробежного сепаратора для очистки зерна. Определено экспериментальные зависимости эффективности и чёткости процесса пневмосепарации от конструкционно-режимных параметров сепаратора.

V. Shvidia, S. Stepanenko, B. Kotov

Results of experimental researches of pneumatic separation corn at pneumatic centrifugal separator with the improved experimental disk

The results of experimental researches of pneumatic centrifugal separator for cleaning of corn are expounded. Experimental dependences of efficiency and clearness of process of pneumatic separation are certain on the construction-regime parameters of separator

Одержано 26.03.10