

УДК 631.354.2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПУЛЬСУЮЧОГО ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ НА ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗЕРНА У ВІБРОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ ЗЕРНОСОЛОМИСТОГО ВОРОХУ

Котов Б. І., проф., д. т. н., Вінницький національний аграрний університет
Степаненко С. П., к. т. н., с.н.с., Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

Анотація

Мета. Розробка математичної моделі і розрахункових аналітичних залежностей для визначення траєкторій і параметрів переміщення зерна у віброзрідженому шарі вороху при дії пульсуючого повітряного потоку.

Методи. Базуються на методах детермінованого математичного моделювання та теоретичної механіки на базі рівнянь руху матеріальної точки при змінній швидкості повітряного потоку та дії пульсуючого повітряного потоку. Теоретичні дослідження проведені з використанням методів математичного аналізу і моделювання. Результати досліджень оброблені із застосуванням елементів теорії ймовірності і математичної статистики з використанням пакетів прикладних програм «MathCAD 14», «Microsoft Office 2007», «STATISTICA 6.0». Для визначення раціональних параметрів процесу застосовувалася методика статистичного планування експерименту.

Результати. Наведений математичний опис руху частинок зернової суміші в камері гравітаційно-повітряного сепаратора при дії пульсуючого потоку повітря змінної швидкості. Отримано траєкторії руху частинок з різним розміром.

Отримане рівняння руху частки при дії пульсуючого потоку повітря дозволяє визначити залежність швидкості руху матеріалу у вібро-

пневмозрідженому шарі зернового матеріалу від ряду факторів: геометричних параметрів отворів решета, кута подачі матеріалу, початкового кінематичного режиму матеріалу K_0 , показника кінематичного режиму решета K_p , а також коефіцієнту парусності частки.

Теоретично обґрунтовані технологічні можливості запропонованого способу сепарування зерна при дії пульсуючого потоку повітря та встановлено вплив на технологічні показники основних параметрів: швидкість повітря, коефіцієнта живого перерізу з врахуванням товщини шару матеріалу, що надходить до каналу.

Висновки. В результаті аналізу проведених теоретичних досліджень встановлена можливість підвищення ефективності розділення зернових матеріалів за аеродинамічними характеристиками та питомою вагою частинок, шляхом інтенсифікації і підвищенні ефективності сепарації зернового вороху при застосування пульсуючих повітряних потоків для поділу сумішей на пасивних решетах.

Ключові слова: сепаратор, повітряний потік, зернівка, змінна швидкість повітря, траєкторія, сила опору, фракції, пульсуючий потік повітря, коефіцієнт вітрильності.

UDC 631.362.3

THE INFLUENCE OF PULSATING AIR FLOW TO MOVE GRAIN FROM VIBRATION LIQUEFIED LAYER OF GRAIN STRAW MIXTURE

Kotov B. I., prof., PhD., Vinnitsa National Agrarian University
Stepanenko S. P., Ph.D. in Technical Science, leading researcher, NSC «IEAA»

Annotation

Purpose. Development of mathematical models and computational analysis to determine dependencies paths and options moving grain layer of the mixture under the action of a pulsating air flow.

Methods. Based on deterministic methods of mathematical modeling and theoretical mechanics at the equations of motion of a point under variable airflow and performance pulsed air flow. Theoretical studies conducted with the use of mathematical analysis and modeling. The research results processed

using elements of the theory of probability and mathematical statistics using software packages "MathCAD 14", "Microsoft Office 2007", "STATISTICA 6.0". To determine the rational parameters of the statistical method used experimental design.

Results. The mathematical description of the motion of particles of grain mixture in the chamber, air separator gravity under the action of a pulsating flow of air of variable speed. An trajectory of particles of different sizes.

The resulting equations of motion of particles under the action of a pulsating flow of air to determine the dependence of the velocity of material in grain layer of material on a number of factors: the geometric parameters of sieve openings, the angle of presentation, initial the kinematic mode material index kinematic mode sieves and sails share ratio.

Theoretically reasonable technological possibilities of the proposed method of separation of grain by the action of a pulsating air flow and impact on established technological performance parameters: air

speed factor with regard to living sectional thickness of material entering the channel.

Conclusions. The analysis of theoretical studies established the possibility of increasing the efficiency of separation grain materials on aerodynamic characteristics and the proportion of particles by intensifying and improving the efficiency of separation of grain accompanied applying pulsating air currents for division mixtures passive sieve.

Key words: separator air flow, weevil, variable air speed, trajectory, force resistance, factions, pulsating air flow, wind factor.

УДК 631.354.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ВОЗДУШНОГО ПОТОКА НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЗЕРНА В ВИБРООЖИЖЕННОМ СЛОЕ ЗЕРНОСОЛОМИСТОГО ВОРОХА

Котов Б. И., проф., д. т. н., Винницкий национальный аграрный университет

Степаненко С. П., к. т. н., с. н. с., Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

Аннотация

Цель. Разработка математической модели и расчетных аналитических зависимостей для определения траекторий и параметров перемещения зерна в виброожигенном слое вороха при действии пульсирующего воздушного потока.

Методы. Базируются на методах детерминированного математического моделирования и теоретической механики на базе уравнений движения материальной точки при переменной скорости воздушного потока и действия пульсирующего воздушного потока. Теоретические исследования проведены с использованием методов математического анализа и моделирования. Результаты исследований обработаны с применением элементов теории вероятности и математической статистики с использованием пакетов прикладных программ «MathCAD 14», «Microsoft Office 2007», «STATISTICA 6.0». Для определения рациональных параметров процесса применялась методика статистического планирования эксперимента.

Результаты. Приведено математическое описание движения частиц зерновой смеси в камере гравитационно-воздушного сепаратора при действии пульсирующего потока воздуха переменной скорости. Получены траектории движения частиц с различным размером.

Полученное уравнение движения частицы при действии пульсирующего потока воздуха поз-

воляет определить зависимость скорости движения материала в вибропневмоожигенном слое зернового материала от ряда факторов: геометрических параметров отверстий решета, угла подачи материала, начального кинематического режима материала, показателя кинематического режима решета, а также коэффициента парусности доли.

Теоретически обоснованы технологические возможности предлагаемого способа сепарирования зерна при действии пульсирующего потока воздуха и установлено влияние на технологические показатели основных параметров: скорость воздуха, коэффициента живого сечения с учетом толщины слоя материала, поступающего в канал.

Выводы. В результате анализа проведенных теоретических исследований установлена возможность повышения эффективности разделения зерновых материалов с аэродинамическими характеристиками и удельным весом частиц, путем интенсификации и повышении эффективности сепарации зернового вороха при применении пульсирующих воздушных потоков для разделения смесей на пассивных решетках.

Ключевые слова: сепаратор, воздушный поток, зерновка, переменная скорость воздуха, траектория, сила сопротивления, фракции, пульсирующий поток воздуха, коэффициент парусности.

Постановка проблемы. Пропускная способность зернозбиральних комбайнів в значній мірі залежить від продуктивності молотильно-сепаруючих робочих органів [1, 4], а втрати зерна за комбайном, напряду визначаються ефективністю роботи повіт-

ряно-решітних очисток [4, 9-11]. Можливості збільшення продуктивності сепаруючих органів шляхом збільшення робочої площі решіток і оптимізації кінематичного режиму практично вичерпало [11, 12, 15, 16] і не завжди призводить до зменшення втрат зерна.

Необхідність підвищення ефективності сепарації дрібного зерносомистого вороху ґрунтується необхідністю зниження втрат зерна [7, 19, 20].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблемі підвищення ефективності роботи повітряно-решітних і вібраційних сепараторів в тому числі і комбайнових очисток присвячено достатня кількість досліджень [1-6, 12, 14]. З останніх робіт виділимо [1, 3, 5, 6, 13, 17], так в роботі [1] розглянуто питання переміщення соломистого вороху по поверхні жалюзійної решітки і зернини по поверхні жалюзі. В роботі [3, 18] розглянуто питання розшарування потоку зерна пасивними органами, що дало змогу підвищити ефективність розділення матеріалу на плоскому решеті. В роботі [4, 16, 19] отримані формули для визначення швидкості руху часток по коливальній площині з урахуванням динамічного коефіцієнта тертя між частинками в шарі.

Новим напрямом в проблемі інтенсифікації і підвищення ефективності сепарації зернового вороху слід вважати застосування пульсуючих повітряних потоків для поділу сумішей на пасивних решетах [5, 6, 21]. Але питання впливу пульсуючого потоку на переміщення зернини у віброзрідженому шарі залишились поза увагою дослідників.

Разом з тим з літературних джерел відомо, що переміщенню зернинки крізь шар віброзрідженого вороху, густина часток якого менша за густину зернинки, сприяють такі обставини: розпушування (збільшення об'єму і пористості шару) при дії вібраційних сил інерції, що діють на частку вороху та зерна і зменшують дію сили опору (внутрішнього тертя). Дія сили динамічного тиску повітряного потоку сприяє «зрідженню» шару, зменшує вірогідність потрапляння соломи в жалюзійну решітку, але й гальмує переміщення проходової фракції до решітки. Це, в свою чергу, знижує продуктивність і збільшує вірогідність виносу зерна із сходовою фракцією. При використанні пульсацій повітряного потоку, як показано в [5, 6] ефективність просіювання зернової фракції крізь шар вороху збільшується.

Для визначення впливу пульсацій повітряного потоку на переміщення частинки (зернинки) в шарі вороху необхідно мати математичну модель, яка дозволить проаналізувати і кількісно оцінити вплив окремих параметрів процесу на рух частинки.

Мета роботи. Розробка математичної моделі і розрахункових аналітичних залежностей для визначення траєкторій і параметрів переміщення зерна у віброзрідженому шарі вороху при дії пульсуючого повітряного потоку.

Результати досліджень. Зручною та досить точною моделлю внутрішньошарових процесів вібраційного переміщення може бути рівняння відносного руху частинки у коливальному середовищі [7, 8], яке справедливе для будь-якого дисперсного середовища, що має властивість інертності.

Виключаючи складові вірогідних процесів у детермінованому вигляді процес переміщення частки у віброзрідженому шарі дисперсного матеріалу при дії повітряного потоку (змінного в часі) можна описати рівнянням (1).

Просіювання зернової складової вороха крізь пневмозріджений рухомий шар зерносомистої суміші, що знаходиться на поверхні жалюзійного решета, яке здійснює коливальний рух розглянемо за таких умов.

Зерносомиста суміш, що знаходиться під впливом зовнішнього силового поля, складається з двох фракцій, причому частинки дрібної соломи утворюють «постіль». Швидкість витання частинок постілі приймаємо рівною швидкості повітряного потоку, що фільтрується крізь шар, які утворюють псевдозріджений шар зернового матеріалу із середньою постійною пористістю.

Зернинки (частинки) які відрізняються масою та аеродинамічними властивостями занурюються або спливають в цьому шарі прийнято називати проходовими. Взаємодія таких частинок між собою не впливає на їх переміщення і властивості постілі. Установлений режим коливання частинок постілі характеризується постійним значенням параметрів коливань в кожній точці постілі.

В цьому випадку, вплив частинок постілі на проходову частинку розглядається як вплив суцільного середовища, яке здійснює коливання за заданим гармонічним законом та зв'язаний з проходовою частиною силою опору (типу в'язкого тертя).

Для опису такого процесу широко використовують рівняння [10], яке у векторній формі має вигляд:

$$m_E \cdot \vec{V} = P = m_0 \cdot (\Delta - 1) \cdot \vec{U} + F, \quad (1)$$

де \vec{V} – вектор швидкості частки відносно середовища;

\bar{U} – абсолютна швидкість середовища в точці, що співпадає з центром тяжіння частки;

m_0, m – маса середовища в об'ємі частки і маса проходової частинки (зернини); $m/m_0 = \Delta$; $m_E = m' + m$;

m' – «приєднана» маса частинки до середовища.

P – зовнішня сила, що діє на частинку в середовищі;

F – сила опору руху частинки.

Для встановлення якісних характеристик процесу просіювання проходової частинки складемо рівняння її переміщення руху при таких спрощених припущеннях:

- Зерносоломистий ворох (постіль) знаходиться в русі під дією силового поля, що створюється повітряним потоком і вібрацією опорної поверхні решета;

- Поле швидкостей повітря і частинок однорідне;

- Швидкість коливань постілі співпадає із швидкістю коливань решета і носить гармонічний характер.

На частинку діють такі сили:

- Сила тяжіння $G = mg$;

- Сила інерції в переносному русі

$$P_i = mA\omega_1^2 \sin(\omega t);$$

- Сила тиску повітряного потоку

$$R = mg \frac{(V_a - V)^2}{V_b^2};$$

- Сила опору вздовж траєкторії переміщення частин:

$$F = k_\mu \cdot V = k_\mu(\varepsilon) \cdot V.$$

У наведених співвідношеннях позначено: A, ω_1 – амплітуда і частота коливань решета; V, V_a – швидкість частинки і повітряного потоку; V_b – швидкість витання частинки у стисненому потоці; k_μ – коефіцієнт опору при прийнятті закону Стоксівського руху; ε – порозність шару зернового матеріалу.

Вводячи переносну систему координат ХОУ, жорстко зв'язану з транспортуючою вібраційною площиною (при цьому вісь ОХ спрямована вздовж площини під кутом α до горизонту, а вісь ОУ нормально до неї) і проєктуючи сили діючі на частинку у псевдозрідженому шарі отримаємо диференціальні рівняння руху частки:

$$m \cdot \ddot{x} = \bar{m}g \sin \alpha \pm \bar{m}A_1\omega_1^2 \cdot \cos \beta \cdot \sin(\omega_1 t) - F_x \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} + mg \frac{(V_a - \dot{x})^2}{V_b^2} \cos \gamma, \quad (2)$$

$$m \cdot \ddot{y} = \bar{m}g \cos \alpha \pm \bar{m}A_1\omega_1^2 \cdot \sin \beta \cdot \sin(\omega_1 t) - F_y \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} + mg \frac{(V_a - \dot{y})^2}{V_b^2} \sin \gamma. \quad (3)$$

β – кут спрямованості коливань;

γ – кут нахилу напрямку потоку повітря до вісі ОХ.

При використанні пульсуючого потоку повітря математично важко описати дискретно-періодичну зміну швидкості повітря, що подається крізь жалюзійне решето, тому в першому наближенні можна прийняти зміну швидкості повітря в часі за гармонічним законом і описати рівнянням:

$$V_a = A_0 + A_2 \cdot \sin \omega_2 t, \quad (4)$$

де A_2 – амплітуда коливань швидкості повітря;

A_0 – зміщення лінії симетрії коливань відносно початку координат.

Враховуючи, що швидкість повітря змінюється в часі від 0 до $2A_2$, тобто $A_0 = A_2$ то зміна швидкості повітря в часі визначиться:

$$V_a(t) = A_2(1 + \sin \omega_2 t). \quad (5)$$

Швидкість переміщення частинки у пневмовіброзрідженому шарі набагато менша від швидкості повітря в шарі ($\dot{x} \ll V_a$, $\dot{y} \ll V_a$), тому сила опору повітряному потоку буде визначатися співвідношенням:

$$R = mg \frac{[A_2 \cdot (1 + \sin \omega_2 t)]^2}{V_b^2}. \quad (6)$$

Параметри процесу руху частки в коливальній середовищі визначаються розв'язком рівнянь (2), (3) і (6) за допомогою обчислювальних методів з використанням ПК. Перепишемо рівняння у вигляді:

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} + K_X \frac{dx(t)}{dt} = G_X + A_{1X} \cdot \sin(\omega_1 t) + A_{2X} \cdot (1 - \sin(\omega_2 t))^2, \quad (7)$$

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + K_Y \frac{dy(t)}{dt} = G_Y + A_{1Y} \cdot \sin(\omega_1 t) + A_{2Y} \cdot (1 - \sin(\omega_2 t))^2, \quad (8)$$

$$\text{де } G_X = \frac{m - m_0}{m} g \sin \alpha; \quad G_Y = \frac{m - m_0}{m} g \cos \alpha;$$

$$A_{1X} = \frac{m - m_0}{m} A_1 \omega_1^2 \cos \beta; \quad A_{1Y} = \frac{m - m_0}{m} A_1 \omega_1^2 \sin \beta;$$

$$A_{2X} = K_V A_2^2 \cos \gamma; \quad A_{2Y} = K_V A_2^2 \sin \gamma;$$

K_V – коефіцієнт вітрильності.

Початкові умови до системи рівнянь (7) і (8) запишемо у вигляді:

$$t = 0; \quad x = y = 0; \quad \dot{x}(0) = x_o; \quad \dot{y}(0) = y_o; \quad \ddot{x}_o = v_{ox}; \quad \ddot{y}_o = v_{oy}.$$

Величина ефективного коефіцієнту опору руху частки в середовищі може бути визначено з рівняння:

$$K_{X,Y} = 3 \cdot \pi \cdot \nu \cdot \rho_a(\varepsilon) \cdot d_E \cdot m^{-1}, \quad (9)$$

де ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості середовища;

$\rho_a(\varepsilon) = \rho_M (1 - \varepsilon)$ – динамічна густина середовища;

ρ_M – густина речовини;

d_E – еквівалентний діаметр проходової частинки.

Величина порозності віброзрідженого шару визначається за формулами [7]:

$$\text{при дії вібрацій } \varepsilon = \varepsilon_0 \cdot (1 - e^{-k A_1 \omega^2}), \quad (10)$$

де ε_0 – порозність шару при відсутності вібрацій;

$$\text{при дії вібрацій і повітряного потоку } \varepsilon = 1 - A_0 V_a^2 \frac{a + (A \omega^2 - g)^{-2}}{b + (A \omega^2 - g)^{-2}}, \quad (11)$$

де A_0, a, b – емпіричні коефіцієнти.

В прийнятій системі координат проекції руху часток є розв'язком системи рівнянь (7-8) при початкових умовах. Результати розв'язку проведеного числовим методом в програмному середовищі Math CAD наведено на рис.1 і рис. 2 у вигляді траєкторій руху часток з різними значеннями, якими характеризуються аеродинамічні властивості окремих зернин (вага, розмір).

Аналіз отриманих результатів показує, що використання пульсуючого повітряного потоку зі змінною швидкістю дозволяє суттєво збільшити величину розщеплення траєкторій руху часток і відповідно ефективність сепарації зернового матеріалу, тобто швидкість проходження проходової частинки крізь вібропневмозріджений шар зернового матеріалу. В порівнянні з існуючими сепараторами які використовують горизонтальні, похилі та вертикальні пневмоканили ефективність поділу зернового матеріалу збільшується на 40-48 %.

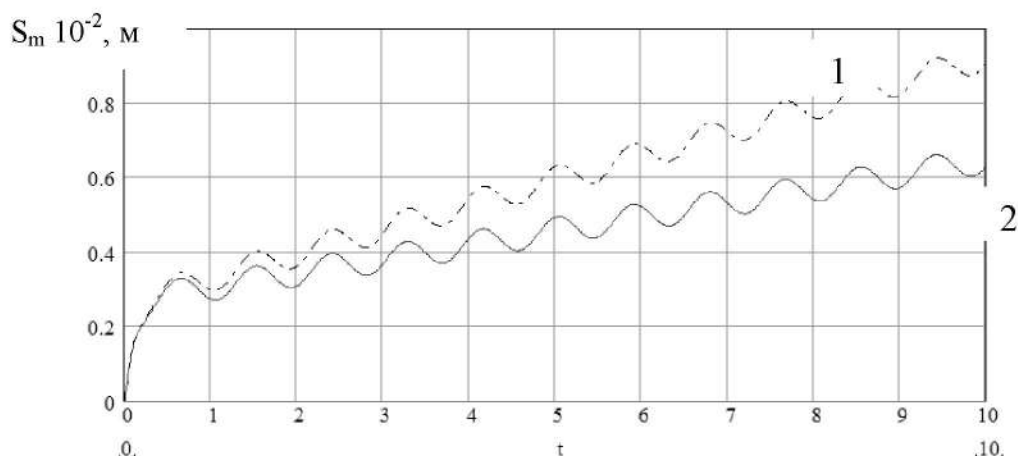


Рис. 1. Зміна переміщення частки в шарі зерна при сталому потоці повітря.

1 - $m = 4,2 \cdot 10^{-6}$ кг; 2 - $m = 2,4 \cdot 10^{-6}$ кг.

Fig. 1. Changing moving particles in a layer of grain at a constant air flow

1 - $m = 4,2 \cdot 10^{-6}$ кг; 2 - $m = 2,4 \cdot 10^{-6}$ кг.

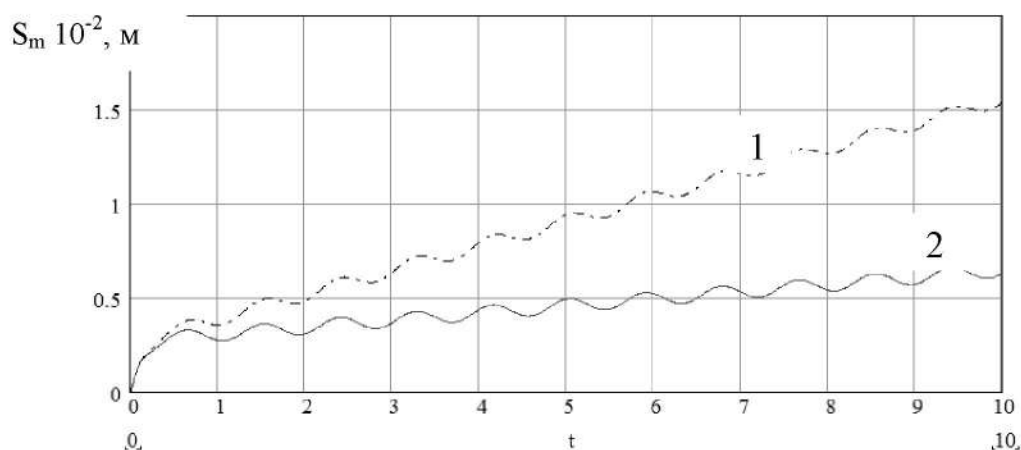


Рис. 2. Зміна переміщення частки в шарі зерна при змінному (пульсуючому) потоці повітря.

1 - $m = 4,2 \cdot 10^{-6}$ кг; 2 - $m = 2,4 \cdot 10^{-6}$ кг.

Fig. 2. Changing moving particles in a layer of grain at a variable air flow

1 - $m = 4,2 \cdot 10^{-6}$ кг; 2 - $m = 2,4 \cdot 10^{-6}$ кг.

Висновки. В результаті аналізу проведених теоретичних досліджень встановлена можливість підвищення ефективності розділення зернових матеріалів за аеродинамічними характеристиками та питомою вагою частинок, шляхом інтенсифікації і підвищенні ефективності сепарації зернового вороху при застосування пульсуючих повітряних потоків для поділу сумішей на пасивних решетах.

Бібліографія

1. Кузьмич А. Я. Обґрунтування параметрів та режимів роботи сепаруючих поверхонь повітряно-решітних очисток комбайнів / А. Я. Кузьмич // Автореф. дис.канд.техн.наук. Глеваха.: 2013, – 18 с.

2. Степаненко С. П. Визначення впливу швидкості занурення зернини у зерноsumіші зернового потоку на загальну якість сепарування насіння / С. П. Степаненко // Вісник степу

(науковий збірник). Кіровоград.: Центрально-українське видавництво. 2005. – С.121-123.

3. Котов Б. І. Теоретичні передумови інтенсифікації вібропневматичного розділення зернових матеріалів на решетах / Б. І. Котов, С. П. Степаненко // Конструювання, виробництво та експлуатація с-г машин. Кіровоград. – 2005. – Вип.35. – С.209-214.

4. Алферов С. А. Воздушно-решетные очистки зерноуборочных комбайнов / С. А. Алферов // М.: – Агропромиздат, 1987. – 159 с.

5. Петренко Н. Н. О возможности использования пульсирующего воздушного потока для воздушно-решетной очистки зернового вороха / Н. Н. Петренко, И. В. Марченко, К. Н. Марченко // Конструювання, виробництво та експлуатація с-г машин. Кіровоград. – 2002. – Вип.32. – С.117-121.
6. Петренко Н. Н. Анализ процесса сепарации зерна на решетке в среде пульсирующего воздушного потока / Н. Н. Петренко, И. В. Марченко, К. Н. Марченко // Конструювання, виробництво та експлуатація с-г машин. Кіровоград. – 2003. – Вип.33. – С.141-149.
7. Котов Б. І. Вібропневматичне розділення насінневих сумішей / Б. І. Котов // Вісник аграрної науки. - 2004. - №5. – С.55-58.
8. Котов Б. І. Ідентифікація параметрів сипкого середовища у віброзрідженому стані за експериментальними даними / Б. І. Котов// Збірник наукових праць Національного аграрного університету. – К.: 2003. т.XV. – С.161-163.
9. Бурков А. И. Зерноочистительные машины. Конструкция, расчет, испытания. / А. И. Бурков, Н. П. Сычугов // – Киров. НИИСХ СВ. – 2000. – 261 с.
10. Малис А. Я. Машины для очистки зерновоздушным потоком / А. Я. Малис, А. Р. Демидов // – М. Машгиз. 1962. – 240 с.
11. Нелюбов А. О. Пневмосепарирующие системы сельскохозяйственных машин / А. О. Нелюбов, Е. Ф. Ветров//. – М. – Машиностроение. – 1977. – 192 с.
12. Злочевський В. Л. Інтенсифікація процесу аеродинамічного розділення зернових матеріалів // Автореф. дис...д-р. техн. наук. – Новосибірськ.: СибІМЭ СО ВАСХНІЛ. – 1986. – 35 с.
13. Степаненко С. П. Дослідження процесу пневматичної сепарації насіння в кільцевому зигзагоподібному сепараторі / С. П. Степаненко // Вісник ХНУСГ. – Харьков. – 2008. – Вип.75, т.І. – С. 59-65.
14. Абдуєв М. М. Обґрунтування параметрів сепаратора з нахиленим повітряним каналом для розділення зернових сумішей / М. М. Абдуєв // Автореф. дис... канд.техн.наук. – Харків, 2007. – 21 с.
15. Гончаров Є. С. Резерви удосконалення пневматичної сепарації зернових матеріалів / Є. С. Гончаров // Механізація і електрифікація сільського господарства, 1971 г., № 18. – С. 30 – 37.
16. Гончаров Е. С. Механико-технологическое обоснование и разработка универсальных вибрационных зерновых сепараторов / Е. С. Гончаров // Автореф. дис. ... докт. техн. наук, – М.: 1986. – 33 с.
17. Швидя В. О. Теоретичне дослідження аеродинамічного процесу сепарації зерна / В. О. Швидя // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – Вип. 10, Т. 5. — С. 56 – 63.
18. Котов Б. І. Результати експериментальних досліджень пневмосепарації зерна у пневмовідцентровому сепараторі з удосконаленим експериментальним диском / Б. І. Котов, С. П. Степаненко, В. О. Швидя // Зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету – Вип. 23. — Кіровоград: КНТУ, 2010. — С. 250 – 257.
19. Розробити техніко-технологічні основи вдосконалення сепарації зерна і насіння за комплексом фізико-механічних властивостей. Звіт про НДР: У 2 т. – Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2008. – 156 с.
20. Котов Б. І. До теорії розділення зерна в повітряному потоці / Б. І. Котов, С. П. Степаненко, В. О. Швидя, Ю. Г. Коваль // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 39. – Кіровоград, 2009. – С. 209–214.
21. Степаненко С. П. Математическая модель движения зерна в коническом аспирационном канале / С. П. Степаненко, В. О. Швидя // Механізація та електрифікація сільського господарства: [Загальнодержавний збірник]. – 2015. - Вип.2(101). / [ННЦ“ІМЕСГ”]. – Глеваха, 2015. – С.108-115.

Reference

1. Kuzmych A. Ya. Obgruntuvannya parametriv ta rezhymiv roboty separuyuchykh poverkhon povitryano-reshitnykh ochystok kombayniv / A. Ya. Kuzmych // Avtoref. dys.kand.tekhn.nauk. Hlevakha.: 2013 – 18 s.
2. Stepanenko S. P. Vyznachennya vplyvu shvydkosti zanurennya zernyny u zernosumishi zernovoho potoku na zahalnu yakist separuvannya nasinnya / S. P. Stepanenko // Visnyk stepu (naukovyy zbirnyk). Kirovohrad.: Tsentralno-ukrayinske vydavnytstvo. 2005. – S.121-123.
3. Kotov B. I. Teoretychni peredumovy intensyfikatsiyi vibropnevmatychnoho rozdilennya zernovykh materialiv na reshetakh / B. I. Kotov, S. P. Stepanenko // Konstruyuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya s-h mashyn. Kirovohrad. – 2005. – Vyp.35. – S.209-214.
4. Alferov S. A. Vozdushno-reshetnye ochystky zernouborochnykh kombaynov / S. A. Alferov // M.: - Ahropromyzdat, 1987. – 159 s.
5. Petrenko N. N. O vozmozhnosti yspolzovanyya pul'syruyushcheho vozdushnogo potoka dlya vozdushno-reshetnoy ochystky zernovoho vorokha / N. N. Petrenko, Y. V. Marchenko, K. N. Marchenko // Konstruyuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya s-h mashyn. Kirovohrad. – 2002. – Vyp.32. – S.117-121.
6. Petrenko N. N. Analiz protsessa separatsyy zerna na reshete v srede pul'syruyushcheho vozdushnogo potoka / N. N. Petrenko, Y. V. Marchenko, K. N. Marchenko // Konstruyuvannya,

vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya s-h mashyn. Kirovohrad. – 2003. – Vyp.33. – S.141-149.

7. Kotov B. I. Vibropnevmatychno rozdilenya nasinnyevykh sumishey / B. I. Kotov // Visnyk ahrarnoyi nauky. - 2004. - №5. – S.55-58.

8. Kotov B. I. Identyfikatsiya parametriv sypkoho seredovyshcha u vibrozridzhenomu stani za eksperymentalnyimi danymi / B. I. Kotov // Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho ahrarnoho universytetu. – K.: 2003. t.KhV. – S.161-163.

9. Burkov A. Y. Zernoohystrytelnye mashyny. Konstruktsiya, raschet, uspytaniya. / A. Y. Burkov, N. P. Sychuhov // - Kyrov. NYYSKh SV. – 2000. – 261 s.

10. Malys A. Ia. Mashyny dlia ochystky zernavozdushnym potokom / A. Ia. Malys, A. R Demydov // - M. Mashyz. 1962. – 240 s.

11. Neliubov A. O. Pnevmoreparuyushcheye systemy sel'skokhoziaistvennykh mashyn / A. O. Neliubov, E. F. Vetrov//. – M. – Mashynostroenye. – 1977. – 192 s.

12. Zlochevskiy V. L. Yntensyfykatsiya protsesa aerodynamicheskoho razdeleniya zernovykh materialov // Avtoref. dys...d-r. tekhn. nauk. – Novosybyrsk.: SyBYME SO VASKhNYL. – 1986. – 35 s.

13. Stepanenko S. P. Doslidzhennia protsesu pnevmatichnoi separatsii nasinnia v kiltsevomu zyhzhopodibnomu separatori / S. P. Stepanenko // Visnyk KhNUSH. – Kharkov. – 2008. – Vyp.75, t.1. – S. 59-65.

14. Abduiev M. M. Obruntuvannia parametriv separatora z nakhylenym povitrianyim kanalom dlia rozdilennia zernovykh sumishei / M. M. Abduiev // Avtoref. dys...kand.tekhn.nauk. – Kharkiv, 2007. – 21 s.

15. Honcharov Ye. S. Rezervy udoskonalennia pnevmatichnoi separatsii zernovykh materialiv / Ye. S. Honcharov // Mekhanyzatsiya y elektryfikatsiya sel'skoho khoziaistva, 1971 h., № 18. — S. 30 – 37.

16. Honcharov E. S. Mekhanyko-tekhnolohycheskoe obosnovanye y razrabotka unyversalnykh vybratsyonnykh zernovykh separatorov / Ye. S. Honcharov // Avtoref. dys. ... dokt. tekhn. nauk, – M.: 1986. – 33 s.

17. Shvydia V. O. Teoretychne doslidzhennia aerodynamichnoho protsesu separatsii zerna / V. O. Shvydia // Pratsi Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu. – Melitopol: TDATU, 2010. – Vyp. 10, T. 5. – S. 56 – 63.

18. Kotov B. I. Rezultaty eksperymentalnykh doslidzhen pnevmoseparatsii zerna u pnevmovidtsentrovomu separatori z udoskonalenym eksperymentalnym dyskom / B. I. Kotov, S. P. Stepanenko, V. O. Shvydia // Zb. nauk. prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu, – Vyp. 23. — Kirovohrad: KNTU, 2010. — S. 250 – 257.

19. Rozrobyty tekhniko-tekhnolohichni osnovy vdoskonalennia separatsii zerna i nasinnia za

kompleksom fizyko-mekhanichnykh vlastyvoitei. Zvit pro NDR: U 2 t. – Hlevakha: NNTs «IMESH», 2008. – 156 s.

20. Kotov B. I. Do teorii rozdilennia zerna v povitrianomu pototsi / B. I. Kotov, S. P. Stepanenko, V. O. Shvydia, Yu. H. Koval // Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn. Zahalnoderzhavnyi mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. Vyp. 39. – Kirovohrad, 2009. – S. 209–214.

21. Stepanenko S. P. Matematycheskaia model dvyzheniya zerna v konycheskom aspyratsyonnom kanale / S. P. Stepanenko, V. O. Shvydia // Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva: [Zahalnoderzhavnyi zbirnyk]. – 2015. - Vyp.2(101). / [NNTs “IMESH”]. – Hlevakha, 2015. – S.108-115.

Reference

1. Kuzmych A. Y. Justification of parameters and modes of separating surface air reshitnyh ochystok harvesting / AJ K. // Author. dys.kand.tehn.nauk. Hlevakha.: 2013 - 18 p.

2. Stepanenko S. P. Determining the impact speed immersion in zernosumishi seed grain flow separation on the overall quality of seeds / S. P. Stepanenko // Bulletin steppe (scientific journals). Kirovograd.: Central Ukrainian publishing. 2005. - pp.121-123.

3. Kotov B. I. Theoretical background of intensification vibropnevmatichnoho separation grain material on sieves / B. I. Kotov, S. P. Stepanenko // Design, production and operation with Gd machines. Kirovograd. - 2005. - Vyp.35. - pp. 209-214.

4. Alferov S. A. Reshetnye air-cleaning zernouborochnykh combine / C. A. Alferov // M.: – Agropromizdat, 1987. – 159 p.

5. Petrenko N. N. Opportunities Using pulsyruyusheho the air flow for air-cleaning grain reshetnoy Woroch / N. N. Petrenko, I. V. Marchenko, K. N. Marchenko // Design, production and operation with Gd machines. Kirovograd. - 2002. - Vyp.32. - pp.117-121.

6. Petrenko N. N. Analysis process separatsyy grains in a sieve environment air flow / N. N. Petrenko, I. V. Marchenko, K. N. Marchenko // Design, production and operation with Gd machines. Kirovograd. - 2003. - Vyp.33. - pp.141-149.

7. Kotov B. I. Separating seed mixtures / B. I. Kotov // Bulletin of Agricultural Science. - 2004. - №5. - pp.55-58.

8. Kotov B. I. Identification parameters loose environment in the state on experimental data / B. I. Kotov // Proceedings of the National Agrarian University. - K.: 2003 t.HV. - pp.161-163.

9. Burkov A. I. Grain-cleaning machines. Design, calculation, tests. / A. I. Burkov, N. P. Sychuhov // - Kirov. Agricultural Research Institute SV. - 2000. - 261 p.

10. Malis A. J. Machines for cleaning grain flow / A. Y. Malis, A. R. Demidov // - M. Mashgiz. 1962. - 240 p.
11. Nelyubov S. A. Pneumo separating system of agricultural machinery / S. A. Nelyubov, E. F. Vetrov // - M - Mechanical engineering. - 1977. - 192 p.
12. Zlochevsky V. L. The intensification of the process of aerodynamic separation grain materials // Abstract. dis ... Dr. tehn. Sciences. - Novosibirsk CO. : SibIME of Agricultural Sciences. - 1986. - 35 p.
13. Stepanenko S. P. Investigation of air separation annular seed in separator / S. P. Stepanenko // Bulletin HNUSH. - Kharkov. - 2008. - Vyp.75, v.1. - P. 59-65.
14. Abduev M. M. Justification separator parameters of inclined air channel to separate mixtures of grains / M. M. Abduev // Author. thesis ... candidate of engineering sciences. - Kharkiv, 2007. - 21 p.
15. Goncharov E. S. Provisions improvement of air separation grain materials / E. S. Goncharov // Mechanization and electrification of agriculture, 1971, № 18. - pp. 30 - 37.
16. Goncharov E. S Mechanical and technological study and development of universal vibration grain separators / E. S. Goncharov // Abstract. Dis. ... Doctor. tehn. Sciences, - M.: 1986. - 33 p.
17. Shvydia V. O. Theoretical study of aerodynamic separation process grain / V. O. Shvydia // Proceedings swiftly Tauride Agrotechnological State University. - Melitopol: Tavricheskiy State Agrotechnology University, 2010. - Vol. 10, T. 5. - pp. 56 - 63.
18. Kotov B. I. The results of experimental studies grain separator with improved experimental disc / B. I. Kotov, S. P. Stepanenko, V. A. // Swiftly Coll. Science. works Kirovograd National Technical University - Vol. 23. - Kirovograd: KNTU, 2010. - pp. 250 - 257.
19. Develop technical and technological bases improve separation of grain and seed set of physical and mechanical properties. Scientific report: In 2 t. - Hlevakha: NSC "IEAA", 2008. - 156 p.
20. Kotov B. I. The theory of separation of grains in the air stream / B. I. Kotov, S. P. Stepanenko, V. A. Swiftly, J. G. Smith // Design, production and operation of agricultural machinery. A national interdepartmental scientific and technical collection. Vol. 39. - Kirovograd, 2009. - P. 209-214.
21. Stepanenko S. P. The mathematical model of the motion of grain in a conical aspiration channel / S. P. Stepanenko, V. O. Shvidi // Mechanization and electrification of agriculture [Nationwide collection]. - 2015. - Vyp.2 (101). / [NSC "IAEE"]. - Hlevakha, 2015. - P.108-115.