

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПНЕВМОСЕПАРАЦИИ И ОБЕСПЫЛИВАНИЯ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА В ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ

Дидур В.А., акад. МААО, д.т.н., проф.

Ткаченко А.В., к.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

г. Мелитополь, Украина

Тел. (0619) 44-02-74

e-mail: didurva@mail.ru

Аннотация. Приведена математическая модель процесса пневмосепарации и обеспыливания поверхности семян подсолнечника в вертикальном воздушном потоке. Получена система дифференциальных уравнений, учитывающих действие боковых сил и моментов сопротивления элементов семенного вороха в воздушном потоке. Смоделировано поведение семян подсолнечника, примесей и пылевидных частиц на поверхности семян при изменении входных и управляющих параметров процесса пневмосепарации.

Ключевые слова: математическая модель, пневмосепарация, обеспыливание, боковые силы, вращение семян.

Постановка проблемы. Для семенного зерна его очистка в сочетании с последующим сортированием по добротности является основной операцией, обеспечивающей получение высококачественных семян для посева. Применение только способа очистки по аэродинамическим свойствам позволяет удалить до 50% и более всех примесей, содержащих в зерне. Фракционирование зерна в воздушном потоке позволяет выделить фракцию с большей удельной массой зерна, которая отличается биологической полноценностью, более высокой урожайностью и дольше сохраняют урожайные свойства.

Выполнение протравливания семян и их последующее покрытие являются необходимым требованием современных технологий. Отсутствие всякой подготовки поверхности семян перед покрытием приводит к осыпанию порошков и недобору урожая. Одним из эффективных методов подготовки поверхности семян перед покрытием может быть обеспыливание поверхности воздушным потоком.

Современные требования к устройствам и процессам обработки семян воздушным потоком обуславливают необходимость более глубокого изучения взаимодействия частиц зернового вороха с воздушным потоком и элементами сепарируемого канала. Результаты теоретических и экспериментальных исследований должны лечь в основу создания научной базы для конструирования зерноочистительных и сортировальных машин семян высших репродукций.

Анализ последних исследований и публикаций. При исследовании процесса сепарации зернового вороха в вертикальном канале [1, 2] принимают, что воздушный поток равномерен по сечению канала, частицы не взаимодействуют одна с другой, со стенками канала и не меняют своего положения по отношению к оси воздушного потока.

В этих работах определены следующие аэродинамические характеристики: скорость витания, коэффициенты сопротивления и парусности семян основных культур, сорных растений и других фракций зернового вороха. Для некоторых семян определены миделевы сечения семян.

Большой интерес представляют работы по экспериментальным исследованиям и математическому описанию процесса движения двухкомпонентных потоков в

пневмотранспорте [3, 4]. В работе [3] рассмотрено движение отдельной частицы в потоке газа на основе уравнений движения с учётом сил, образующихся при обтекании частицы потоком с неравномерным полем скоростей. При описании движения частицы в вертикальном потоке авторы учитывают влияние боковых сил. Величина этих сил, согласно теореме Н.Е. Жуковского, пропорциональна относительной скорости набегающего потока и его циркуляции. В качестве транспортируемой частицы рассматривается цилиндр и шар, введены осреднённые параметры транспортируемых частиц: размер, плотность, масса и момент инерции, что вполне допустимо при описании процесса пневматического транспортирования. Однако, при описании процессов сепарации и фракционирования в воздушном потоке, необходимо рассматривать аэродинамические свойства конкретных фракций зернового вороха. Большой интерес при экспериментальном исследовании процесса пневматического транспортирования представляет определение частоты вращения зерна в воздушном потоке.

Цель исследования. Целью данной работы является разработка математической модели процессов сепарации, фракционирования и обеспыливания семян в воздушном потоке с учётом влияния поперечных сил, взаимодействий со стенками аспирационного канала и частиц зернового вороха между собой и с воздушным потоком.

Основная часть. На Украине отсутствуют технология и технические средства для послеуборочной обработки небольших партий маточных, суперэлитных, элитных и первой репродукции семян масличных и зерновых культур.

Для решения поставленной проблемы нами разработана контейнерная технология и экспериментальное оборудование послеуборочной обработки гибридов семян родительских форм и гибридов семян подсолнечника первой репродукции [5, 6].

Важной единицей оборудования в контейнерной технологии является трёхступенчатая пневмосепарирующая колонка [7, 8]. На трёхступенчатой колонке осуществляется первичная и вторичная очистка семян. А перед протравливанием и покрытием семян плёнкообразующим составом в первом аспирационном канале производится обеспыливание поверхности семян.

Зерновая пыль состоит из двух частей: минеральной и органической. Размеры частиц пыли колеблются в очень широких пределах – от долей микрона до 250 мкм. Один из методов очистки поверхности семян от пыли обработка воздушным потоком. При обдуве запылённой поверхности семянки потоком воздуха на прилипшую частицу действуют силы адгезии $\vec{F}_{ад}$, вес частицы \vec{G} , сила аэродинамического воздействия (реакция воздуха) \vec{R} и подъёмная сила $\vec{F}_{под}$. Для частиц небольших размеров, когда $F_{ад} > G$ и сила реакции воздуха больше подъёмной силы, т.е. $R > F_{под}$, отрыв прилипших частиц произойдёт при условии:

$$R > \mu F_{ад}, \quad (1)$$

где $\vec{F}_{ад}$ – сила адгезии, \vec{R} – сила аэродинамического воздействия, выступающая здесь как лобовая сила, $\vec{F}_{под}$ – подъёмная сила, μ – коэффициент трения.

Силу воздействия воздушного потока при обтекании частицы воздушным потоком можно рассчитать по формуле

$$R = c_x \rho S_m u_{от}^2 / 2, \quad (2)$$

где c_x – коэффициент аэродинамического сопротивления частицы; ρ – плотность воздуха; S_m – миделево сечение частицы; $\vec{u}_{от}$ – относительная скорость частицы в воздушном потоке.

Равнодействующая сила сопротивления воздушного потока действует на уровне центра частицы, т.е. на высоте радиуса частицы от поверхности. При обтекании прилипших частиц, находящихся в пограничном слое, относительная скорость частицы в воздушном потоке изменяется от нуля до определённого значения. Это изменение оказывает существенное влияние на силу аэродинамического сопротивления частицы. Кроме того, входящий в формулу (2) коэффициент аэродинамического сопротивления частиц c_x зависит от числа Рейнольдса, которое, в свою очередь, является функцией скорости потока. Таким образом, отрыв воздушным потоком прилипших частиц неразрывно связан со структурой пограничного слоя и с распределением скорости в этом слое. Определение силы аэродинамического сопротивления для различных семян и при различных условиях воздействия воздушного потока требует ряда экспериментальных исследований. Поэтому при отработке технологии в производственных условиях выбор скоростных режимов воздушного потока и параметров аспирационной колонки определялись по качеству обеспыливания поверхности семян.

В связи с тем, что в аспирационном канале, в котором кроме сепарации семян, должно производиться обеспыливание их поверхности, параметры канала и режимы его работы должны отличаться от сепарационных каналов, применяемых в зерноочистительных машинах. В частности длина канала и его высота, должны обеспечить обеспыливание поверхности за счёт скорости воздушного потока и времени нахождения семян в воздушном потоке. А для обоснования параметров канала и режимов его работы, необходимо учесть все силы, действующие на семена и эпюры скоростей воздушного потока по сечению канала должны соответствовать турбулентному воздушному потоку.

Примем степенной закон распределения воздушного потока по сечению канала. Тогда эпюра скорости воздушного потока в канале на отрезке $0 \leq x \leq b_0$ опишется уравнением [9]

$$\vec{V} = V_{\max} \left(\frac{x}{b_0} \right)^{1/7} \vec{i}, \quad (3)$$

где b_0 – расстояние от оси канала до стенки;

\vec{i} – единичный вектор оси Y .

При таком законе распределения скоростей возникает градиент $\text{grad}_y V$ воздушного потока, который в свою очередь приводит к возникновению боковых сил, действующих на семянку.

При вбрасывании семянки в вертикальный воздушный поток пневмосепарационного канала, действующие на частицу силы можно привести к главному вектору сил \vec{P} и главному моменту сил \vec{M} . Составляющими силами главного вектора, в нашем случае, являются сила тяжести $\vec{G} = m\vec{g}$, сила сопротивления воздушного потока \vec{R} и боковые силы, одна из которых \vec{P}_1 возникает от градиента $\text{grad}_y V$ воздушного потока, обтекающего частицу, а другая \vec{P}_2 возникает от вращения частицы, обтекаемой воздушным потоком (эффект Магнуса).

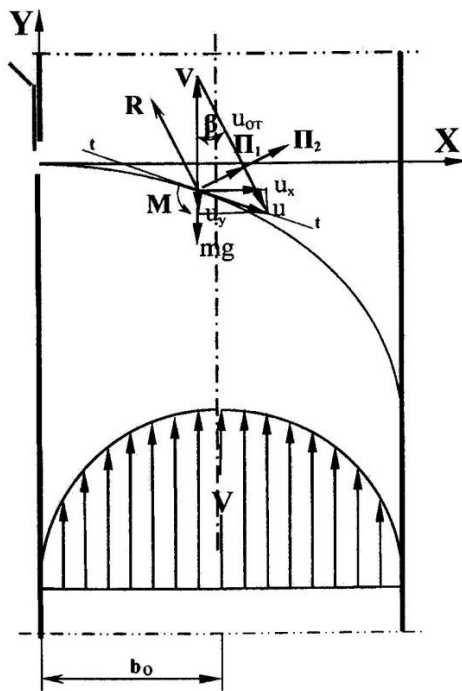


Рисунок 1 - План скоростей и схема сил, действующих на семянку в первой половине канала

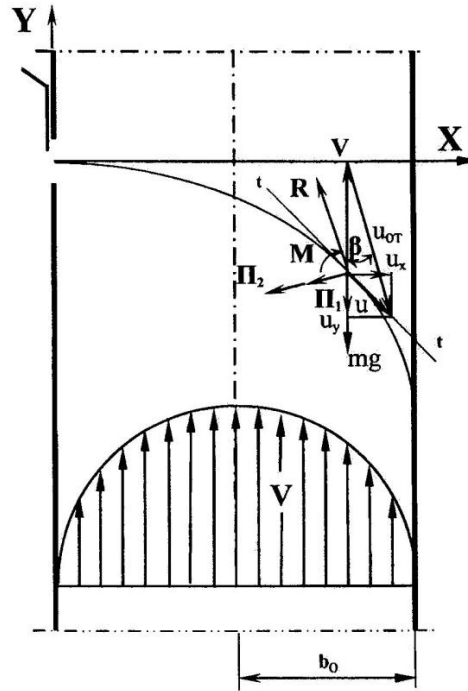


Рисунок 2 - План скоростей и схема сил, действующих на семянку во второй половине канала

Для правильного выбора направления действующих сил необходимо совместно рассмотреть план скоростей частицы и схему действующих сил. План скоростей и схема сил, действующих на семянку в первой половине и во второй половине пневмосепарационного канала, представлены соответственно на рис. 1 и рис.2. Где \vec{V} – скорость воздушного потока, \vec{u} – скорость семянки и её проекции u_x, u_y на оси координат, $\vec{u}_{от}$ – относительна скорость семянки в воздушном потоке, $t-t$ – касательная к траектории полёта семянки в рассматриваемой точке.

Сила сопротивления воздушного потока (сила реакции воздуха) направлена в сторону противоположную относительной скорости частицы, а боковые силы направлены перпендикулярно относительной скорости в направлении, показанном на рис.1 и рис.2.

Относительную скорость семянки в воздушном потоке на отрезке $0 \leq x \leq b_0$ найдём из прямоугольного треугольника плана скоростей (рис.1)

$$u_{от} = \sqrt{(\vec{V} \pm u_y)^2 + u_x^2}. \quad (4)$$

Когда скорость витания семянки больше скорости воздушного потока и семянка падает вниз по аспирационному каналу перед u_y ставится знак «+», в противном случае ставится знак «-».

Уравнение движения семянки для первой половины вертикального канала в проекциях на оси координат с учётом боковых сил и момента сил, действующего на семянку, примет вид

$$\left. \begin{aligned} m \frac{du_x}{dt} &= -R \sin\beta + \Pi_1 \cos\beta + \Pi_2 \cos\beta; \\ m \frac{du_y}{dt} &= R \cos\beta + \Pi_1 \sin\beta + \Pi_2 \sin\beta - mg; \\ J \frac{d\omega}{dt} &= M. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Где m – масса частицы; t – время, J – момент инерции частицы; $\vec{\omega}$ – угловая скорость частицы; \vec{r} – радиус-вектор от начала координат XOY , связанный с частицей, м; β – угол, определяемый направления относительной скорости семянки к направлению воздушного потока.

Так как семянка подсолнечника имеет большое отклонение от симметрии, то частота вращения её будет на много выше, чем частота вращения сферической частицы. А значит, кинематика и динамика движения семянки в воздушном потоке будут иными, чем у шаровой или цилиндрической частицы. Поэтому при выводе системы уравнений движения рассматриваем конкретно семянки подсолнечника с их геометрическими и аэродинамическими характеристиками. На рис. 3 изображены схема семянки подсолнечника, её миделево сечения S_x, S_y, S_z по ортогональным плоскостям, основные размеры, полученные в результате замеров трёх типов семян.

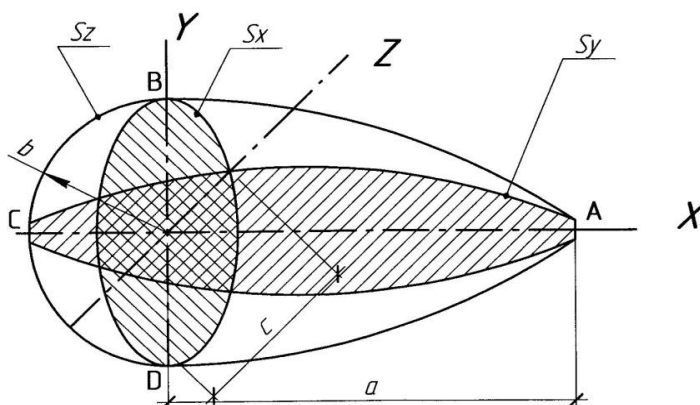


Рисунок 3 - Схема семянки подсолнечника

Таблица 1 – Геометрические размеры семянок подсолнечника

Параметры	Единицы измерения	Тип семянок		
		№1	№2	№3
a	мм	7,17	7,99	8,84
b	мм	2,39	2,66	2,93
c	мм	2,81	3,1	3,56
S_x	мм ²	10,55	12,95	16,38
S_y	мм ²	21,1	25,93	32,91
S_z	мм ²	35,81	44,5	54,17
m	г	0,047	0,058	0,070

Вследствие действия боковых сил в восходящем потоке семянка не может занимать в нём постоянного и определённого положения по отношению к направлению скорости потока. Ориентация её в потоке будет постоянно меняться. По этой причине будут изменяться площадь миделева сечения и коэффициент парусности. Основные размеры,

миделевы сечения и масса трёх типов семян представлены в таблице. При описании аэродинамических свойств семян предпочтительнее выбирать коэффициент парусности перед коэффициентом аэродинамического сопротивления, так как именно этот показатель больше фигурирует в справочной литературе по семенам. Поэтому силу сопротивления \vec{R} определяем из соотношения [10]

$$R = mk_n u_{от}^2, \quad (6)$$

где k_n – коэффициент парусности, величина которого определяется экспериментально для семян всех сельскохозяйственных культур.

Проекции силы сопротивления R_x и R_y на оси координат

$$R_x = mk_n u_{от} u_{от} \sin\beta. \quad (7)$$

$$R_y = mk_n u_{от} u_{от} \cos\beta. \quad (8)$$

Проекция относительной скорости семянки на оси x и y определяется из плана скоростей (рис. 1) с учётом значения скорости потока из выражения (3)

$$u_{от} \sin\beta = u_x; \quad (9)$$

$$u_{от} \cos\beta = V \pm u_y = \left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_o} \right)^{1/7} \pm u_y \right]. \quad (10)$$

Силу сопротивления \vec{R} в развёрнутом виде определяем из соотношения (6), подставляя значения относительной скорости семянки в воздушном потоке из выражения (4)

Поэтому силу сопротивления \vec{R} определяем из соотношения Величина боковых сил, согласно

$$R = mk_n \left\{ \left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_o} \right)^{1/7} \pm u_y \right]^2 + u_x^2 \right\}. \quad (11)$$

теореме Н.Е Жуковского, пропорциональна относительно

й скорости набегающего потока $\vec{u}_{от}$ и циркуляции Γ , т.е.

$$\vec{P} = \rho \vec{u}_{от} \Gamma. \quad (12)$$

где ρ – плотность воздуха.

Циркуляция скоростного поля определяется криволинейным интегралом

$$\Gamma_1 = \oint u_{ox} dx + u_{oy} dy = \int_0^{2\pi} \left\{ u_{ox} [x(\alpha), y(\alpha)] x'(\alpha) + u_{oy} [x(\alpha), y(\alpha)] y'(\alpha) \right\} d\alpha.$$

где u_{ox}, u_{oy} – проекции относительной скорости семянки, α – угловая координата точки контура обтекания (угол Эйлера, угол поворота частицы).

Циркуляцию скорости Γ_1, Γ_2 воздушного потока по контуру семянки подсолнечника определяем криволинейным интегралом с использованием методики Ф.Г.Зуева [3] для случая циркуляции скорости по круговому контуру цилиндра или шара.

$$\Gamma_1 = C \frac{\pi}{2} (a^2 + b^2) = \frac{\pi V_{\max}}{14 b_o^{1/7} x^{6/7}} (a^2 + b^2). \quad (13)$$

$$\Gamma_2 = \pi (a^2 + b^2) \omega. \quad (14)$$

Тогда из уравнения (12), подставляя значения проекций относительных скоростей семянки (9), (10) и циркуляции скорости Γ_1, Γ_2 воздушного потока (13), (14) получаем значения проекций боковых сил на оси координат

$$\Pi_{1x} = \frac{\rho \pi}{14} (a^2 + b^2) \frac{V_{\max}}{b_o^{1/7} x^{6/7}} \left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_o} \right)^{1/7} \pm u_y \right]; \quad (15)$$

$$\Pi_{1y} = \frac{\rho \pi}{14} (a^2 + b^2) \frac{V_{\max}}{b_o^{1/7} x^{6/7}} u_x; \quad (16)$$

$$\Pi_{2x} = \pi \rho (a^2 + b^2) \omega \left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_o} \right)^{1/7} \pm u_y \right]; \quad (17)$$

$$\Pi_{2y} = \pi \rho (a^2 + b^2) \omega u_x; \quad (18)$$

Известно, что линии действия сил $\vec{R}, \vec{\Pi}_1, \vec{\Pi}_2$ проходят через центр масс частицы. Тогда величина момента, действующая на частицу, будет определяться силой аэродинамического сопротивления и её плечом относительно центра масс. С учётом значения силы сопротивления \vec{R} из выражения (11) момент сил, действующий на семянку равен

$$\mathbf{M} = l_c \mathbf{R} = l_c m k_n \left\{ \left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_o} \right)^{1/7} \pm u_y \right]^2 + u_x^2 \right\}. \quad (19)$$

где l_c – плечо силы сопротивления относительно центра масс семянки.

Из векторной системы уравнений (5) с учётом значений проекций сил сопротивления (7) и (8), проекций относительных скоростей семянки (9), (10), проекций боковых сил на оси координат (15) – (18) и момента силы сопротивления (19) получаем систему уравнений движения семянки в проекциях на оси координат для первой половины канала.

При попадании частицы в другую половину потока (изменение координаты центра масс частицы $x > b_o$) некоторые силы меняют своё направление (рис. 2), поэтому в уравнениях (10) перед выражением этих сил знак должен быть изменён на противоположный. Изменяется направление составляющих Π_{1x} и Π_{2x} боковых сил.

Проекция силы $\vec{\Pi}_2$ на ось \mathbf{Y} изменяет знак при изменении направления угловой скорости или знака проекции относительной скорости на ось \mathbf{X} , а проекция силы $\vec{\Pi}_2$ на ось \mathbf{X} изменяет знак при изменении знака ω . Направление момента сил при $x > b_0$ изменяется на противоположное, направление силы сопротивления, действующей вдоль оси \mathbf{X} , определяется знаком u_x . На отрезке $b_0 < x < 2b_0$ скорость воздушного потока описывается уравнением

$$\left. \begin{aligned} \frac{du_x}{dt} &= -k_n \sqrt{\left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_0} \right)^{1/7} + u_y \right]^2 + u_x^2} u_x + \\ &+ \frac{\rho}{m} \frac{\pi V_{\max}}{14 b_0^{1/7} x^{6/7}} (a^2 + b^2) \left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_0} \right)^{1/7} + u_y \right] + \\ &+ \frac{\rho}{m} \pi (a^2 + b^2) \omega \left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_0} \right)^{1/7} + u_y \right]; \\ \frac{du_y}{dt} &= k_n \sqrt{\left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_0} \right)^{1/7} + u_y \right]^2 + u_x^2} + \left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_0} \right)^{1/7} + u_y \right] \\ &+ \frac{\rho}{m} \frac{\pi V_{\max}}{14 b_0^{1/7} x^{6/7}} (a^2 + b^2) u_x + \frac{\rho}{m} \pi (a^2 + b^2) \omega u_x - g; \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{l_c m}{J} k_n \left\{ \left[V_{\max} \left(\frac{x}{b_0} \right)^{1/7} \pm u_y \right]^2 + u_x^2 \right\}. \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

$$\vec{V} = V_{\max} \left(1 - \frac{x}{b} \right)^{1/7} \vec{i} \quad (21)$$

Начальные условия решения уравнения при пневматической сепарации должны быть при

$$t = 0, \quad x = 0, \quad y = 0, \quad u_x = u_{x_n}, \quad u_y = u_{y_n}, \quad \omega_n = 0.$$

При граничных условиях $y = r$ и $y = 2b_0 - r$ произойдёт взаимодействие частицы с твёрдыми границами потока. В результате не вполне упругого удара со скольжением изменяются нормальная, тангенциальная и угловая скорости частицы. Так частица в форме эллипсоида массой, которая имела скорость до удара \mathbf{u}_1 и угловую скоростью ω_1 , в первое мгновение после удара приобретает скорость \mathbf{u}_2 и угловую скорость ω_2 . Для этого случая угловую скорость, нормальные и тангенциальные составляющие скорости частиц после удара о стенку канала можно получить из соответствующих выражений [3]

$$\begin{aligned} u_{n2} &= k_n (u_{n1} - \omega_1 a) - \omega_1 a - \frac{ma}{J} [a(1 + k_n)(u_{n1} - \omega_1 a) - \\ &- b(1 - k_\tau)(u_{\tau1} + \omega_1 b)]; \end{aligned} \quad (23)$$

$$u_{\tau 2} = k_{\tau}(u_{\tau 1} + \omega_1 b) - \omega_1 b - \frac{mb}{J}[a(1 + k_n) \times \\ \times (u_{n1} + \omega_1 a) - b(1 - k_{\tau})(u_{\tau 1} + \omega_1 b)]. \quad (24)$$

где $u_{n1}, u_{\tau 1}, \omega_1, u_{n2}, u_{\tau 2}, \omega_2$ – соответственно нормальные, тангенциальные и угловые скорости частиц соответственно до и после удара о стенку канала;

k_n, k_{τ} – коэффициенты восстановления нормальной и касательной компонент скорости частиц, обычно определяемые экспериментально;

J – момент инерции частицы.

Начальными условиями для уравнений (12) – (14) будут значения параметров, полученные в результате решения системы уравнений (11), т.е. $u_x = u_{xk} = u_{\tau 1}$,

$u_y = u_{yk} = u_{n1}$ и $\omega = \omega_k = \omega_1$.

Выводы.

1. Разработанная математическая модель и установленные геометрические и аэродинамические параметры отдельно взятых семян дают возможность при исследовании процессов пневматической сепарации и обеспыливания в воздушном потоке, заменить классические формы тел в виде шара и цилиндра на реальную ассиметричную форму семян подсолнечника

2. Результаты численных исследований математической модели позволяют оптимизировать следующие параметры: длину аспирационного канал, высоту верхней и нижней частей аспирационного канала и технологические режимы: угол и скорость вбрасывания семянки, скорость воздушного потока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безручкин И.П. Исследование аэродинамических свойств семян методом свободного падения в воздушной среде / И.П. Безручкин // Сельскохозяйственная машина. – 1936. – №1 – С. 22 – 31.

2. Гортинский В.В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин // 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1980. – 304 с.

3. Зуев Ф.Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях / Ф.Г. Зуев // – М.: Колос, 1976. – 344.

4. Дзядзио А.М. Пневматический транспорт на зерноперерабатывающих предприятиях / А.М. Дзядзио, А.С. Кеммер // – М.: Колос, 1967. – 295 с.

5. Дидур В.А. Контейнерная технология послеуборочной обработки семян подсолнечника высших репродукций / В.А. Дидур, А.В. Ткаченко // Східноєвропейський журнал передових технологій. Математика і кібернетика – фундаментальні і прикладні аспекти. – 2007. – №3/6 – С.62 – 72.

6. Дидур В.А. Технология послеуборочной обработки репродуктивных семян / В.А. Дидур, А.В. Ткаченко, В.А. Ткаченко // Збірник наукових праць ІМТ НААН «Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві». – Випуск 1. – Запоріжжя., 2012 – с.122 – 138.

7. Пат. на корисну модель №69470 Україна, МПК (2012.01) A01C 1/00, A01N 63/04 (2006/01), C12P 1/02 (2006.01). Пневмосепарувальний пристрій для знепилювання і фракціонування насіння / О.В. Ткаченко, В.О. Ткаченко. Зареєстровано 14.11.2011

8. Пат. на корисну модель UA №69468 U МПК (2012.01) A01C 1/00, A01N 63/04 (2006/01), C12P 1/02 (2006.01). Спосіб передпосівної обробки насіння / О.В. Ткаченко, В.О. Ткаченко. Зареєстровано 14.11.2011.

9. Бутаков С.Е. Воздуховоды и вентиляторы. Аэродинамика вентиляторных установок. / С.Е. Бутаков – М. – Свердловск: Mashgiz, 1958. – 350 с.
10. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчёт, проектирование и испытание / М.Н. Летошнев – 3е изд. перер. и дополн. – М.-Л.: Сельхозлит., 1955. – 764 с. – (Учебники и учебные пособия для высших сельскохозяйственных учебных заведений).

BIBLIOGRAPHY

1. Bezruchkin I.P. Research of seed aerodynamic properties by air fall method in air / I.P. Bezruchkin// Sel'skokhoziastvennaya mashina- 1936– №1 – S. 22 – 31
2. Gortinskiy V.V. Separation process at grain-processing plants/ V.V. Gortinskiy, A.B. Demskiy, M.A. Boriskin// 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Kolos, 1980. – 304 s.
3. Zuev F.G. Pneumatic transporting at grain-processing plants / F.G. Zuev.– M.: Kolos, 1976. – 344 s.
4. Dziadzio A.M. Pneumatic transport at grain-processing plants / A.M. Dziadzio, A.S. Kemmer.– M.: Kolos, 1967. – 295 s
5. Didur V.A. Postharvest processing container technology of high reproduction sunflower seeds / V.A. Didur, A.V. Tkachenko// Shidnoievropeiskiy zhurnal peredovoy tekhnologii. Matematika i Kibernetika – fundamental'nye i prikladnye aspekty. – 2007. – №3/6 – S.62 – 72.
6. Didur V.A. Technology of reproductive seed postharvest processing / V.A. Didur, A.V. Tkachenko, V.A. Tkachenko // Zbirnyk naukovykh prats Instytutu mekhanizatsii tvarynnytstva Ukrainiinskoi akademii agrarnykh nauk «Mekhanizatsiya, ekologizatsiya ta konvertizatsiya biosyrovyny u tvarynnytstvi». – Vypusk 1. – Zaporizhzhya, 2012 – s.122 – 138.
7. Pat. for utility model №69470 UA , MPK (2012.01) A01C 1/00, A01N 63/04 (2006/01), C12P 1/02 (2006.01). Pneumatic separating unit for seed dedusting and fractionating /O.V. Tkachenko, V.O. Tkachenko. Registered: 14.11.2011
8. Pat. for utility model №69468 UA, MPK (2012.01) A01C 1/00, A01N 63/04 (2006/01), C12P 1/02 (2006.01). Seed pre-sowing cultivation method / O.V. Tkachenko, V.O. Tkachenko. Registered: 14.11.2011
9. Butakov S.E. Airblowers and fans. Aerodynamics of fan-driven plants / S.E. Butakov. – M. – Sverdlovsk: Mashgiz, 1958. – 350 s.
10. Letoshnev M.N. Farm machinery. Theory, calculation, design and test / M.N. Letoshnev// 3-e izd., pererab. i dop. – M.-L.: Sel'khozlit., 1955. – 764 с. – (Uchebniki i uchebnye posobiya dlya vysshykh sel'skokhoziastvennykh uchebnykh zavedeniy).

PROCESS MODELING OF AIR SEPARATING AND DEDUSTING OF SUNFLOWER SEEDS IN AIR FLOW

V. A. Didur, A. V. Tkachenko

Summary

The process mathematical modeling of air separating and dedusting of sunflower seed surface in vertical air flow is given. The differential equations system considering action of initiated side forces and resistance moments of seed heap elements in air flow has been developed. Expected behavior model of sunflower seeds, dirt and dust particles under change of input and control parameters of air separation process has been simulated.

Key words: mathematical model, air separation, dedusting, side forces, seed rotation.