

Характер протекания процесса тепловой обработки зерна определяется механизмом перемещения влаги внутри него, энергетикой испарения и механизмом перемещения влаги с поверхности зерна в окружающую среду через так называемый пограничный слой, расположенный у поверхности зерна.

Авторы получили уравнение для расчета мощности N , необходимой для обеспечения процесса тепловой обработки зерна в предлагаемом кассетном устройстве (требуемой на привод вентилятора и нагрев воздуха, подаваемого вентилятором).

Таким образом,

$$N = \frac{L_B \left[\frac{2L_B \rho v}{\pi(D_3^2 - d_B^2)} \left(1 + \frac{64l_k}{Re D_3} + \xi_M \right) + H_K \right]}{\eta_r \eta_M \eta_{\Pi}} + k_3 \frac{c_B \rho L_B (t_{\text{ВЫХ}} - t_{\text{ВХ}})}{\eta}$$

где L_B — подача вентилятора, м³/с; ρ — плотность воздуха, кг/м³; v — скорость воздуха, м/с; D_3 — диаметр сечения кожуха эквивалентного прямоугольному, м; l_k — длина кожуха устройства, м; Re — число Рейнольдса; ξ_M — приведенный коэффициент местных сопротивлений; H_K — потери давления в теплогенераторе, Па; η_r — гидравлический (аэродинамический) КПД вентилятора; η_M — механический КПД вентилятора; η_{Π} — КПД привода вентилятора; c_B — удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°С); $t_{\text{ВЫХ}}$ — температура воздуха на выходе из теплогенератора, °С; $t_{\text{ВХ}}$ — температура воздуха на входе в теплогенератор, °С; η — КПД теплогенератора [3].

Поэтому

$$D_3 = \sqrt{\frac{4bh}{\pi}}$$

где b — ширина живого сечения теплогенератора, м; h — высота живого сечения теплогенератора, м.

Рассчитав N , можно определить теоретическую величину удельного расхода электроэнергии $W_{\text{уд}}$ на удаление 1 % влаги из 1 кг зерна, Вт·ч/кг·%:

$$W_{\text{уд.т}} = \frac{N\tau}{G_3 \Delta\omega},$$

где N — количество электроэнергии, рассчитанной по формуле (1), Вт; τ — время сушки, ч; G_3 — масса просушенного зерна, кг; $\Delta\omega$ — требуемое снижение влажности зерна (разница влажности зерна до и после сушки), %, определяемое по уравнению

$$\Delta\omega = \omega_{\text{ВХ}} - \omega_{\text{ВЫХ}},$$

где $\omega_{\text{ВХ}}$ — влажности зерна до сушки, %; $\omega_{\text{ВЫХ}}$ — влажности зерна после сушки, %.

Фактическая же величина удельного расхода электроэнергии определяется по формуле

$$W_{\text{уд}} = \frac{W}{G_3 \Delta\omega},$$

где W — количество электроэнергии, израсходованной на сушку зерна и прокачку воздуха, Вт·ч.

Лабораторные исследования устройства проводили в режиме сушки пшеницы сорта «Московская 39». В результате исследований выявили, что удельные затраты электроэнергии на удаление 1 % влаги из 1 кг зерна составляют: теоретические 0,30 и практические 0,31 Вт·кг·%. Таким образом, имеется высокая сходимость теоретических и практических результатов, что подтверждает возможность обеспечения кондиционной влажности зерна посредством вновь созданного кассетного устройства для его сушки.

Список литературы

1. Малин, Н.И. Энергосберегающая сушка зерна / Н.И. Малин. — М.: КолосС, 2004. — 240 с.
2. Оболенский Н.В. Малогабаритная зерносушилка для фермерских хозяйств / Н.В. Оболенский, Д.Ю. Данилов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 2011. — № 10. — С. 26–27.
3. Оболенский, Н.В. Электронагрев в сельскохозяйственных обрабатывающих и перерабатывающих производствах / Н.В. Оболенский. — Н. Новгород: НГСХИ, 2007. — 350 с.

УДК 631.362.2; 631.354.2

Ю.А. Матросов

В.И. Потапов

Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОСЕВНОГО МАТЕРИАЛА СОРТИРОВАНИЕМ ПНЕВМОЦЕНТРОБЕЖНЫМ СЕПАРАТОРОМ

Производство высококачественного зерна остается ключевой проблемой развития сельского хозяйства. Разнокачественность семян — явление широко распространенное в растениеводстве, выражающееся в том, что семена одного растения

или даже колоса, метелки, початка неравнозначны по своим морфологическим и физиолого-биохимическим показателям.

Исследованием этого вопроса занимались многие ученые, и все однозначно пришли к выво-

ду, что наиболее выполненные биологически ценные семена формируются в средней части колоса и початка. Такие семена обладают высокой энергией прорастания, всхожестью и, естественно, дают максимальный урожай. Полноценность семян характеризует не столько величина семян, сколько их плотность, которая связана со спелостью и натурой семян. Максимальную плотность имеют зерновки, сформировавшиеся в первую очередь в средней части колоса, но после обмолота колоса зерновки обезличиваются, вследствие чего уже невозможно определить по внешнему виду место формирования их в колосе, а следовательно, дать заключение об их биологической ценности.

Впервые устойчивую связь между плотностью семян и их зрелостью установил академик ВАСХНИЛ Н.А. Майсуриян. В результате многолетних исследований и статистической обработки обширного экспериментального материала он обосновал необходимость сортирования семян по плотности. В работах Г.А. Датуашвили, А.С. Сергеева, К.Е. Овчарова, Е.Г. Кизилова, Д.Н. Каверникова, Н.М. Козелковой, Н.К. Ижик и других ученых этот вывод нашел подтверждение: семена, выделенные по плотности в жидком или воздушном потоке, давали повышенный урожай на 10...25 %. Для достижения такого эффекта необходимо выделить из общей массы семян от 70 до 80 % наиболее зрелых семян [1–3].

Подготовка биологически ценного посевного материала в процессе производства — одно из наиболее важных и необходимых условий для решения трех основных народно-хозяйственных проблем: повышения качества выращенного зерна при увеличении валового сбора на 30...50 %, уменьшения расходов ресурсов и снижение норм высева.

На основании результатов исследования были разработаны и поставлены на производство пневматические сортировальные столы, которые используют в технологических линиях очистительных приставок к зерно-очистительно-сушильным комплексам. Пневматические сортировальные столы могут обеспечить необходимую точность сортирования лишь при идеальной настройке по семи регулировочным параметрам. При исследовании признаков делимости на этих машинах было установлено, что пневмосортировальный стол нечетко разделяет зерно по плотности, отмечена недостаточная корреляция плотности действительным признаком, т. е. сортирование семян по плотности происходит с существенной ошибкой, даже при реальной настройке аппарата. Пневматический сортировальный стол производит сортирование зерновых смесей по целому ряду физико-механических свойств, при этом плотность используется в большей мере, чем в ветрорешетных установках. По мнению А.С. Сергеева, пневматический сортировальный стол не может выделить зерна пер-

вых сроков образования, эти зерна, по его данным, «обладают лучшими посевными качествами» [3].

Таким образом, сортирование семян на пневматическом сортировальном столе даже при тщательной его настройке не обеспечивает в полной мере выделение наиболее ценных семян от менее ценных. Кроме того, обеспечить оптимальный режим работы этих машин в производственных условиях не всегда возможно из-за сложности такой настройки и отсутствия необходимой квалификации обслуживающего персонала. Таким образом, имеется необходимость в простой по конструкции машине, которая обеспечивала бы качественное разделение семян по плотности.

Определенный интерес в этом отношении предоставляют новые направления интенсификации сортирования семян в воздушном потоке, в основу которых положен принцип замены поступательного движения воздушного потока с введенным в него материалом — вращательным и значительного повышения скорости протекания рабочего процесса.

«Повышенная скорость», — отмечал академик В.П. Горячкин, — влечет «более значительное насыщение материала энергией, а следовательно, и увеличенное напряжение» <...> «увеличение производительности, улучшение качества работы, легкость конструкции, равномерность движения» [4].

На кафедре «Механизация растениеводства» РГАУ—МСХА имени К.А. Тимирязева разработан такой пневмоцентробежный сепаратор, в котором реализованы указанные признаки. Отличительной особенностью данной машины является соединение пневматического и центробежного сепарирования зернового вороха в едином технологическом цикле. Такой подход открывает возможность одновременного воздействия аэродинамических и центробежных сил на частицу, находящуюся в закрученном воздушном потоке. Это позволяет разделять зерновую массу по плотности с высокой точностью, т. е. фактически производить сортирование по структуре колоса. В данном сепараторе (рис. 1) зерновой ворох самотеком из бункера 1 попадает на конус-делитель 2, далее в камеру разгона 3, состоящую из набора наклонных винтовых желобов. Одновременно на частицу воздействует воздушный поток, стекающий по винтовым каналам вниз, в камеру сепарации 4.

В результате взаимодействия воздуха и центробежной силы на частицы вороха траектория легких частиц отклоняется от поверхности конуса. Из-за расщепления траекторий легкие частицы попадают в приемную трубу 6 и уносятся потоком воздуха к вентилятору и далее в половосборник, а тяжелые — двигаются безотрывно по поверхности конуса 4 или вблизи нее и выходят через выгрузное отверстие 5 (кольцевой канал) в бункер.

В таком ПЦС важно создать условия для раскручивания зернового вороха и воздушного потока. Для этого были применены кольца разгона,

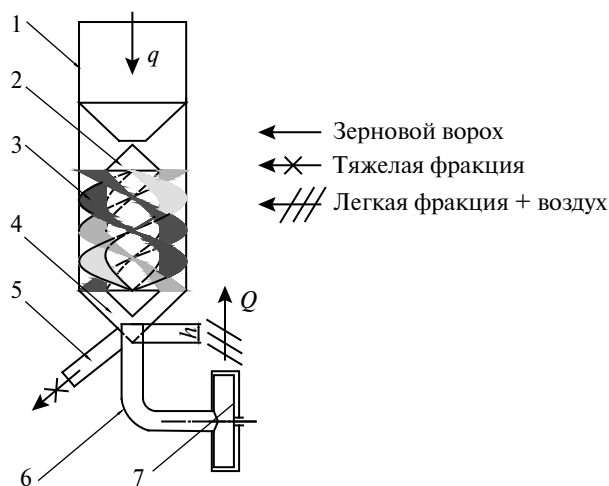


Рис. 1. Технологическая схема пневмоцентробежного сепаратора:

1 – загрузочное устройство; 2 – конус-делитель; 3 – камера разгона; 4 – камера сепарации; 5 – выгрузное отверстие; 6 – приемная труба; 7 – вентилятор

представляющие два цилиндра, между которыми установлены наклонные желоба, расположенные по винтовой линии под углом α к образующей цилиндров. Ворох, поданный сверху в камеру разгона, делится на несколько потоков и движется по желобам ускоренно до схода его в камеру сепарации.

Для обоснования параметров многозаходного винтового желоба проведено математическое моделирование движения частицы вороха по дну винтового желоба, закрепленному в кольцевом пространстве между цилиндрическим корпусом (рис. 2а) диаметром D и внутренней трубой диаметром d_0 .

При установившемся движении частица одновременно скользит по дну желоба (сила нормального давления $N_{ж} > 0$) и по стенке цилиндра ($N_c > 0$). В кольцевом пространстве на частицу оказывает воздействие воздушный поток, движущийся параллельно дну желоба со скоростью V в направлении движения частицы.

Сила сопротивления частицы воздушному потоку пропорциональна квадрату относительной скорости частицы, коэффициенты парусности и трения частицы в процессе движения не изменяются.

На движущуюся частицу M действуют следующие силы: тяжести G , аэродинамическая R_b , центробежная $P_{ц}$, нормального давления $N_{ж}$ и N_c , трения $F_{ж}$ и F_c . Развертку одного витка желоба можно рассматривать как наклонный канал (рис. 2б), на дне которого находятся частицы M . С учетом изложенного дифференциальное уравнение движения частицы вдоль оси o будет следующее:

$$m \frac{d^2\xi}{dt^2} = R_b + G \sin \alpha - F_{ж} - F_c,$$

где m – масса частицы; R_b – аэродинамическая сила; G – сила тяжести; α – угол наклона винтовой поверхно-

сти к горизонтали; $F_{ж}$ – сила трения о дно желоба; F_c – сила трения о стенку цилиндра; ξ – путь, пройденный частицей; t – время.

Введем следующие обозначения переменных:

$$A = \frac{g}{v_{кр}^2} - \frac{f \cos^2 \alpha}{r}, \quad B = -2 \frac{gv}{v_{кр}^2},$$

$$C = \frac{gv^2}{v_{кр}^2} + g \sin \alpha - fg \cos \alpha,$$

где f – коэффициент трения зерна; g – ускорение силы тяжести; r – радиус цилиндра; v – скорость воздуха; $v_{кр}$ – скорость витания.

Тогда получим

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} = A \left(\frac{d\xi}{dt} \right)^2 + B \left(\frac{d\xi}{dt} \right) + C.$$

Введем новую переменную

$$Z = \frac{d\xi}{dt}.$$

Получим уравнение:

$$\frac{dZ}{dt} = AZ^2 + BZ + C.$$

После математических преобразований получим

$$\int \frac{dZ}{AZ^2 + BZ + C} = t + C_1.$$

Рассмотрим три случая решения.

Случай 1: $D = B^2 - 4AC > 0$;

$$\frac{d\xi}{dt} = \frac{pq(e^k - 1) - qU_0 e^{kt} + pU_0}{U_0(1 - e^{kt}) + pe^{kt} - q};$$

$$\xi = pt + \frac{q - p}{k} \ln \left| \frac{U_0(1 - e^{kt}) + pe^{kt} - q}{p - q} \right|,$$

где $k = A(p - q)$; U_0 – начальная скорость частицы Z_1 , Z_2 – корни уравнения; $Z = p$;

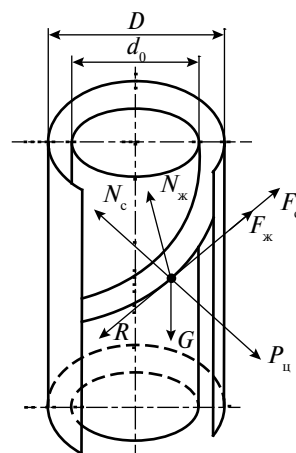


Рис. 2. Схема сил действующих на частицу в желобе камеры разгона:

a – общий вид; b – развертка одного витка частицы

$$Z_2 = q(p \neq q).$$

Случай 2: $D = B^2 - 4AC = 0$;

$$\frac{d\xi}{dt} = \frac{4AU_0 + B(2AU_0 + B)t}{4A - 2A(2AU_0 + B)t};$$

$$\xi = \frac{1}{A} \left(\ln \left| \frac{2}{2 - (B + 2AU_0)t} \right| - \frac{Bt}{2} \right).$$

Случай 3: $D = B^2 - 4AC < 0$;

$$\frac{d\xi}{dt} = \frac{\sqrt{4AC - B^2}}{2A} \operatorname{tg} \left[\frac{\sqrt{4AC - B^2}}{2} (t + C_1) \right] - \frac{B}{2A};$$

$$\xi = -\frac{1}{A} \ln \left| \cos \left(\frac{\sqrt{4AC - B^2}}{2} t + \operatorname{arctg} \frac{2AU_0 + B}{\sqrt{4AC - B^2}} \right) \right| -$$

$$-\frac{Bt}{2} + \frac{1}{A} \ln \left| \cos \left(\operatorname{arctg} \frac{2AU_0 + B}{\sqrt{4AC - B^2}} \right) \right|.$$

Для решения полученной модели составлена программа на ЭВМ.

Задавались следующие исходные данные и их значения. Начальная скорость частицы $U_0 = 0; 0,3; 0,5; 1,0$ м/с. Расход воздуха: $Q = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,7$ м³/с. Угол наклона винтовой поверхности к горизонтали: $\alpha = 25; 30; 40; 45^\circ$. Диаметр цилиндра: $D = 0,265; 0,350; 0,450; 0,550$ м. Диаметр трубы: $d_0 = 0,130; 0,165; 0,200; 0,250; 0,350, 0,450$ м. Коэффициент трения $f = 0,35; 0,45; 0,55; 0,65; 0,75$. Критическая скорость частицы: $v_{кр} = 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0$ м/с. Шаг по времени $t = 0,1$ с.

Обработка результатов вычислений всех вариантов позволила построить ряд графических зависимостей: $\varphi = U(t)$, $\varphi = \xi(t)$.

Как показали результаты исследований, скорость частицы в начальный момент увеличивается, а затем стабилизируется и далее частица движется с постоянной скоростью U . Перемещение частицы вниз (вдоль оси o) в начальный момент изменяется по кривой зависимости (движение ускоренное), а затем по линейной зависимости, т. е. движение равномерно.

После всех вычислений установлены приемлемые диапазоны варьирования параметров для максимального ускорения частиц: угол наклона винтовой поверхности $\alpha = 30...45^\circ$; время разгона $t_p = 0,5...1$ с; расход воздуха $Q = 0,2...0,4$ м³/с; коэффициент трения $f = 0,35...0,55$.

Для определения необходимой и достаточной высоты H камеры разгона для максимального ускорения частиц проводили дополнительные вычисления по формуле $H_r = \xi \sin \alpha$, где ξ — перемещение частицы, соответствующее максимальной скорости U_k .

Программу «Моделирование движения частицы в винтовой камере разгона» можно использовать для определения оптимальной длины разгонного участ-

ка (длины желоба) и расхода воздуха для любой культуры при заданных конструктивных параметрах камеры разгона (α, D, d) и свойств вороха ($v_{кр}, f$).

Таким образом, пневмоцентробежный сепаратор представляет из себя многофакторную систему, важными параметрами которой являются: вылет h приемной трубы, подача зернового вороха q , расход воздуха Q .

Был спланирован трехфакторный опыт, в результате которого получены уравнения регрессии второго порядка:

$$\rho = 1,341 - 0,0269h + 0,0309Q - 0,0177g -$$

$$- 0,019h^2 - 0,0112Q^2 - 0,0117g^2.$$

После математических вычислений наилучший режим работы пневмоцентробежного сепаратора наблюдается при таких значениях факторов: вылет всасывающей трубы ($h = 0,021$ м), расход воздуха ($Q = 0,30$ м³/с), подача зернового вороха ($q = 0,055$ кг/с). При этом режиме плотность тяжелой фракции равна $1,383$ кг/см³, по сравнению с контролем увеличилась на $0,15$ кг/см³.

При этом режиме наблюдается устойчивое разделение семян, имеющих низкую плотность (легкая фракция) от семян, имеющих более высокую плотность. На данном режиме работы сепаратора в тяжелую фракцию сходит до 75% семян, а в легкую — до 25%.

Лабораторные исследования биологических свойств семян озимой пшеницы после обработки ее на пневмоцентробежном сепараторе показали следующее: жизнеспособность отсортированных семян ориентировочно увеличилась на 10...12%, всхожесть на 8...10%, энергия прорастания — на 12...15%, сила роста — на 8...12% по сравнению с контрольным образцом.

Исследования, проведенные на кафедре «Механизация растениеводства», и полевой опыт также подтвердил эффективность использования пневмоцентробежных сепараторов.

Список литературы

1. Козаков, Е.Д. Зерноведение с основами растениеводства / Е.Д. Козаков. — М.: Колос, 1965. — 288 с.
2. Халанский, В.М. Обоснование схемы и технологических параметров пневмоцентробежного сепаратора зернового вороха / В.М. Халанский // Совершенствование технологий и технических средств для уборки и послеуборочной обработки зерновых культур: сб. науч. трудов. — Челябинск, 1983. — С. 81–86.
3. Сергеев, А.С. Исследование механического процесса подготовки высококачественного посевного материала путем сортирования его по удельному весу в жидкости с последующим удалением центрифугированием: дис. ... доктора техн. наук / А.С. Сергеев. — М., 1963. — 270 с.
4. Горячкин, В.П. Собрание сочинений: в 7 томах / В.П. Горячкин. — М.: Сельхозгиз, 1949. — Т. 7. — С. 66–69.