УДК 631.344:631.1(470.57)
Р.В. Ганеев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ СМЕШИВАНИЯ СЕМЯН С ПРЕПАРАТАМИ В ИНКРУСТАТОРЕ-ПРОТРАВЛИВАТЕЛЕ

Ключевые слова: защита растений от болезней и вредителей; предпосевная обработка семян; поток аэрозоля; воздушный поток; инкрустация семян; использование барабанного инкрустатора.

Введение. Залогом высокого урожая и товарного качества сельскохозяйственной продукции является научно-обоснованная предпосевная подготовка семян. Для протравливания семян в сельскохозяйственном производстве применяются различные технические устройства для обработки семян, в основном камерного и шнекового типа. Протравливание проводится в целях защиты семян от болезней и вредителей, находящихся в почве, а также болезней, переносимых с семенами, и как способ увеличения урожайности сельскохозяйственных культур по сравнению с непотравленными семенами [1–4]. Для дальнейшего повышения урожайности сельскохозяйственных культур необходимо проводить инкрустирование – покрытие поверхности семян стимулирующими препаратами в жидком и порошковом виде вплоть до нанесения стартовой дозы удобрений.

Существующие протравливатели камерного и шнекового типов не обеспечивают требуемого качества инкрустирования семян и повышают их травмируемость рабочими органами машин. А устройства барабанного типа меньше травмируют семена, однако не обеспечивают одновременной обработки семян жидкими и порошковыми препаратами. Кроме того, используемые инкрустаторы обеспечивают только однократное покрытие семян препаратами, что не позволяет наносить их в достаточном количестве [5].

Дальнейшее совершенствование технических устройств для протравливания и инкрустирования семян жидкими и порошковыми препаратами с требуемым качеством и минимальным травмированием является актуальной задачей [6–8], так как сдерживается отсутствием теоретических исследований в области обработки многокомпонентными смесями.

Цели и задачи исследования – разработка конструкции и обоснование параметров барабанного технического устройства для инкрустирования семян зерновых культур, позволяющего снизить расход препарата, повысить качество обработки без увеличения процента повреждения семян.

Условия, материалы и методы исследования. Анализ существующих конструкций показал, что одновременную обработку семян в виде жидкого аэрозоля и порошка с минимальным травмированием возможно реализовать в устройствах барабанного типа, в которых обработка семян жидкими и порошковыми препаратами осуществляется внутри вращающегося барабана [9–12]. Вследствие этого предложена следующая структурная схема технологического процесса предпосевной обработки семян, разбитая на отдельные блоки, связанная между собой структурными связями (рисунок 1).

Процессы образования аэрозолей распыляемой жидкости и порошка происходят параллельно и независимо друг от друга. При этом основными технологическими параметрами, влияющими на процесс образования аэрозоля распыляемого порошка, является скорость воздушного потока v_g , давление воздуха, создаваемого вентилятором P_v , плотность воздуха ρ_v , диаметр частиц порошка $d_{\text{ч}}$, начальная скорость частиц порошка $v_{\text{ч}}$, плотность частиц порошка $\rho_{\text{ч}}$.

На процесс образования аэрозоля распыляемой жидкости влияют скорость движения жидкости $v_{\text{ж}}$, давление в системе подачи жидкости $P_{\text{жс}}$, плотность жидкости $\rho_{\text{жс}}$, диаметр первичных капель жидкости $d_{\text{к}}$, начальная скорость капель жидкости $v_{\text{к}}$. Оба аэрозоля после их образования встречаются в камере обработки. При этом вли-

яние на качество обработки семенного материала в камере обработки будут оказывать все вышеописанные технологические параметры одновременно, а также плотность посевного материала $\rho_{п.м.}$ и такие конструктивно-технологиче-

ские параметры камеры обработки, как время смешивания семян с препаратами t , угловая скорость вращения барабана ω , длина барабана L , радиус барабана R , угол наклона барабана к горизонту α_n .

Рисунок 1

Структурная схема технологического процесса предпосевной обработки семян:

- 1 – образование аэрозоля распыляемого порошка; 2 – образование аэрозоля распыляемой жидкости; 3 – обработка семенного материала

Обработка семенного материала (блок 3 (рисунок 1)) представлена движением семян внутри вращающегося барабана, описываемого методами классической механики (рисунок 2).

Для обоснования конструктивно-технологических параметров инкрустатора-протравливателя определим траекторию перемещения и время смешивания семян в камере обработки.

Результаты исследования. Рассмотрим силы, действующие на семя во вращающемся барабане в режиме первого рода, когда семя покоится относительно стенки барабана, то есть движется без скольжения. На семя (материальная точка M с массой m) при этом действуют следующие силы (рисунок 2) [13–14]:

$F_{тр}$ – сила трения семени о поверхность барабана, направленная по касательной к его поверхности в сторону вращения барабана, Н;

$$F_{тр} = \mu \cdot N, \quad (1)$$

где $\mu = \tan \varphi$ – коэффициент трения скольжения семени, который зависит от его вида и материала поверхности барабана; N – сила реакции опоры (стенки барабана), Н.

$$N = G \cdot \cos \alpha_0 + \Phi_n^e, \quad (2)$$

где G – сила тяжести, направленная по вертикали вниз, Н;

$$G = m \cdot g, \quad (3)$$

где m – масса семени, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; α_0 – угол начала скольжения

семени по барабану, град; Φ_n^e – нормальная сила инерции, Н;

$$\Phi_n^e = m \cdot \omega^2 \cdot R, \quad (4)$$

где R – радиус барабана, м; ω – угловая скорость вращения барабана, с⁻¹; a_n^e – нормальное ускорение:

$$a_n^e = \omega^2 \cdot R. \quad (5)$$

Подставляя значение G из формулы (3) и Φ_n^e из формулы (4) в уравнение (2), получим

$$N = m \cdot (g \cdot \cos \alpha_0 + \omega^2 \cdot R). \quad (6)$$

Подставляя значение N из формулы (6) в уравнение (1), получим

$$F_{тр} = \mu \cdot m \cdot (g \cdot \cos \alpha_0 + \omega^2 \cdot R). \quad (7)$$

Запишем условие равновесия, когда семя покоится относительно стенки барабана. Это условие сохраняется до тех пор, пока тангенциальная составляющая силы тяжести будет равна силе трения. С учетом вышесказанного получим

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha_0 = \mu \cdot (m \cdot g \cdot \cos \alpha_0 + m \cdot \omega^2 \cdot R). \quad (8)$$

$$g \cdot \sin \alpha_0 = \mu \cdot (g \cdot \cos \alpha_0 + \omega^2 \cdot R). \quad (9)$$

Угол α_0 определяется численным решением уравнения (9) в пакете MathCAD при определенных значениях коэффициента трения μ , угловой скорости ω и радиусе барабана R .

Определим угол α_1 , при котором кинетическая энергия семени, вращающегося по внутренней боковой поверхности барабана, станет равной нулю, и материальная точка M перейдет из положения M_0 в M_1 .

Рисунок 2

Схема сил, действующих на семя в равномерно вращающемся барабане

Уравнение, определяющее кинетическую энергию семени T_a [Дж], запишется в следующем виде [15]:

$$T_a = m \cdot R \cdot \left(\frac{\omega^2 \cdot R}{2} - g \cdot (\cos \alpha_0 - \cos \alpha_1) + \mu \cdot \left(-g \cdot (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_0) + \omega^2 \cdot R \cdot (\alpha_1 - \alpha_0) \right) \right). \quad (10)$$

Угол α_1 определяется численным решением уравнения (10) в пакете MathCAD при определенных значениях коэффициента трения μ , угловой скорости ω , радиусе барабана R и угле α_0 .

Запишем условие отрыва семени от внутренней боковой поверхности барабана. Это условие возможно, когда нормальная реакция семени N станет равной нулю.

$$m \cdot g \cdot \cos \alpha_{\text{OT}} + m \cdot \omega^2 \cdot R = 0, \quad (11)$$

где $\alpha_{от}$ – угол отрыва семени от внутренней боковой поверхности барабана, град.

Путем математических преобразований выразим из уравнения (11) угол $\alpha_{от}$ отрыва семени от внутренней боковой поверхности барабана:

$$\alpha_{OT} = \arccos\left(-\frac{\omega^2 \cdot R}{a}\right). \quad (12)$$

В случае, когда кинетическая энергия T_a станет равной нулю и при этом угол α_1 будет меньше угла отрыва $\alpha_{от}$, семя поднимется вместе с барабаном на угол α_1 , а затем начнет скатываться вниз, и данный процесс снова повторится.

В случае, когда кинетическая энергия T_a станет равной нулю и при этом угол α_1 будет больше угла отрыва $\alpha_{от}$, семя оторвется от внутренней боковой поверхности барабана и полетит вниз по параболической траектории, встречаясь снова с внутренней боковой поверхностью барабана в точке M_B (рисунок 2). При этом на семя будет действовать только сила тяжести G .

Для определения времени смешивания семян с препаратами в барабане инкрустатора-протравливателя необходимо разбить его на составляющие. В обобщенном виде время смешивания семян равно произведению количества циклов на время одного цикла.

$$t = n_{\text{II}} \cdot t_{\text{II}}, \quad (13)$$

где $n_{\text{ц}}$ – количество циклов, шт.; $t_{\text{ц}}$ – время одного цикла, с.

Время одного цикла $t_{\text{ц}}$ состоит из времени подъема семени с точки M_n до точки M_0 , определяемого углом α_0 , времени подъема с точки M_0 до точки $M_{\text{от}}$, определяемого разницей между углом $\alpha_{\text{от}}$ и α_0 , времени свободного полета по параболической траектории с точки $M_{\text{от}}$ до точки M_B и времени движения с точки M_B до точки M_K , определяемого углом α_K (рисунок 2).

$$t_{\text{II}} = t_0 + t_1 + t_2 \pm t_3, \quad (14)$$

где t_0 – время подъема с точки M_n до точки M_0 , с; t_1 – время подъема с точки M_0 до точки $M_{от}$, с; t_2 – время свободного полета по параболической траектории с точки $M_{от}$ до точки M_B , с; t_3 – время движения с точки M_B до точки M_K , с.

Если семя встретится с поверхностью барабана в I квадранте, то в уравнении (14) перед временем t_3 нужно поставить знак «-». Если семя встретится с поверхностью барабана в IV квадранте, то в уравнении (14) перед временем t_3 нужно поставить знак «+». Время t_3 равно нулю, если семя встретится с поверхностью барабана в точке M_K (рисунок 2).

Так как во время подъема семени до угла α_0 семя покоится относительно стенки барабана и барабан вращается с постоянной угловой скоростью ω , то время t_0 будет равно:

$$t_0 = \frac{s_0}{v_e}, \quad (15)$$

где s_0 – путь, проходимый семенем по дуге окружности, определяемой углом α_0 , м; v_e – переносная окружная скорость движения семени по внутренней боковой поверхности барабана, м/с.

$$v_e = \omega \cdot R. \quad (16)$$

$$s_0 = \frac{\alpha_0 \cdot \pi \cdot R}{180}. \quad (17)$$

Подставляя в уравнение (15) значение s_0 из формулы (17) и значение v_e из формулы (16), получим

$$t_0 = \frac{\alpha_0 \cdot \pi \cdot R}{180 \cdot \omega \cdot R} = \frac{\alpha_0 \cdot \pi}{180 \cdot \omega}. \quad (18)$$

Для определения времени t_1 составим дифференциальное уравнение движения семени с точки M_0 до точки $M_{от}$ (рисунок 2).

$$m \cdot \frac{d^2 s}{dt^2} = \sum F_\tau = F_{тр} - m \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (19)$$

где $\sum F_\tau$ – сумма сил на ось τ , Н; s – путь, проходимый семенем по дуге окружности за время t , м; α – угол в момент времени t , рад.

$$\alpha = \frac{s}{R}. \quad (20)$$

Подставляя в уравнение (19) значение $F_{тр}$ из формулы (7), получим

$$x_k^2 + \left(-\frac{g \cdot \left(\frac{x_k + R \cdot \cos(\alpha_{от} - 90^\circ)}{v_a \cdot \sin(\alpha_{от} - 90^\circ)} \right)^2}{2} + (v_a \cdot \cos(\alpha_{от} - 90^\circ)) \cdot \frac{x_k + R \cdot \cos(\alpha_{от} - 90^\circ)}{v_a \cdot \sin(\alpha_{от} - 90^\circ)} + R \cdot \sin(\alpha_{от} - 90^\circ) \right) = R^2, \quad (25)$$

где x_k – координата x встречи семени с поверхностью барабана, м; v_a – абсолютная окружная скорость движения семени по внутренней боковой поверхности барабана, м/с.

$$v_a = v_e - v_r, \quad (26)$$

где v_r – относительная окружная скорость движения семени по внутренней боковой поверхности барабана, м/с.

Уравнение (25) решается численно в пакете MathCAD при определенных значениях радиуса барабана R , абсолютной начальной скорости v_a семени в момент отрыва и угле отрыва $\alpha_{от}$. Таким образом, решая уравнение (25), получаем координату x_k встречи семени с поверхностью барабана. При известной координате x_k , решая

$$m \cdot \frac{d^2 s}{dt^2} = \mu \cdot m \cdot (g \cdot \cos \alpha + \omega^2 \cdot R) - m \cdot g \cdot \sin \alpha. \quad (21)$$

Подставляя в уравнение (21) значение α из формулы (20), путем некоторых математических преобразований получим

$$\frac{d^2 s}{dt^2} = \mu \cdot \left(g \cdot \cos \frac{s}{R} + \omega^2 \cdot R \right) - g \cdot \sin \frac{s}{R}. \quad (22)$$

Уравнение (22) решается численно методом Рунге – Кутты в пакете MathCAD при определенных значениях коэффициента трения μ , радиусе барабана R , угловой скорости ω и массе семени m . Результатом решения данного уравнения является график зависимости пути s от времени t , по которому определяется время t_1 .

Для определения времени t_2 семени необходимо составить и решить совместно уравнение окружности и уравнение параболы.

Уравнение окружности имеет следующий вид:

$$x^2 + y^2 = R^2. \quad (23)$$

Результатом совместного решения уравнения окружности и уравнения параболы будут следующие выражения [4]:

$$t_2 = \frac{x_k + R \cdot \cos(\alpha_{от} - 90^\circ)}{v_a \cdot \sin(\alpha_{от} - 90^\circ)}, \quad (24)$$

уравнение (23), находим координату y_k встречи семени с поверхностью барабана (рисунок 2).

При известной координате x_k по формуле (24) при определенных значениях радиуса барабана R , угле отрыва $\alpha_{от}$, абсолютной начальной скорости v_a семени в момент отрыва определяем время полета семени t_2 .

Абсолютная начальная скорость v_a семени в момент отрыва в уравнениях (24) и (25) определяется по формуле

$$v_a = \sqrt{\frac{2 \cdot T_a^{от}}{m}}, \quad (27)$$

где $T_a^{от}$ – кинетическая энергия семени в момент отрыва, Дж.

$$T_a^{от} = m \cdot R \cdot \left(\frac{\omega^2 \cdot R}{2} - g \cdot (\cos \alpha_0 - \cos \alpha_{от}) + \mu \cdot \left(-g \cdot (\cos \alpha_{от} - \cos \alpha_0) + \omega^2 \cdot R \cdot (\alpha_{от} - \alpha_0) \right) \right). \quad (28)$$

После встречи семени с поверхностью барабана в точке M_B допускаем, что семя до точки M_K (рисунок 2) будет двигаться с постоянной угловой скоростью ω и покоиться относительно стенки барабана.

Основываясь на данном допущении, определим время t_3 :

$$t_3 = \frac{s_k}{v_e}, \quad (29)$$

где s_k – путь, проходимый семенем по дуге окружности, определяемой углом α_k , м.

Координата x_k встречи семени с поверхностью барабана равна

$$x_k = R \cdot \sin \alpha_k. \quad (30)$$

Выразим угол α_k из выражения (2.99):

$$\alpha_k = \arcsin \left(\frac{x_k}{R} \right). \quad (31)$$

$$s_k = \frac{\alpha_k \cdot \pi \cdot R}{180}. \quad (32)$$

Подставляя в уравнение (32) значение α_k из формулы (31), получим

$$s_k = \frac{\arcsin \left(\frac{x_k}{R} \right) \cdot \pi \cdot R}{180}. \quad (33)$$

Подставляя в уравнение (29) значение s_k из формулы (33) и значение ϑ_e из формулы (16), получим

$$t_3 = \frac{\arcsin\left(\frac{x_k}{R}\right) \cdot \pi \cdot R}{180 \cdot \omega \cdot R} = \frac{\arcsin\left(\frac{x_k}{R}\right) \cdot \pi}{180 \cdot \omega}. \quad (34)$$

Петровым Г.Д. [15] выведена формула для определения времени смешивания частиц в наклонном барабане:

$$t = \frac{L}{\omega \cdot R \cdot \tan[2 \cdot \alpha_n]}, \quad (35)$$

где L – длина барабана, м.

Уравнение (35) при некотором допущении можно использовать для определения времени смешивания семян с жидкими и порошковыми препаратами в барабане инкрустатора-протравливателя.

Выразим из уравнения (35) угол наклона α_n :

$$\alpha_n = \frac{\arctg\left[\frac{L}{\omega \cdot R \cdot t}\right]}{2}. \quad (36)$$

Подставляя в уравнение (36) значение t из формулы (13), получим

$$\alpha_n = \frac{\arctg\left[\frac{L}{\omega \cdot R \cdot n_{\text{ц}} \cdot t_{\text{ц}}}\right]}{2}. \quad (37)$$

Выводы. Уравнение (13) при определении времени t_0, t_1, t_2, t_3 , углов $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_{\text{от}}$ и α_k позволяет определить время смешивания семян с препаратами в пределах одного цикла, а уравнения (35) и (37) позволяют определить общее время смешивания семян с препаратами в инкрустаторе-протравливателе семян.

Библиографический список

1. Дринча, В.М. Основные принципы предпосевного химического протравливания и физического обеззараживания семян [Текст] / В.М. Дринча, Б.В. Цыдендоржиев, Е.И. Кубеев // Аграрный эксперт. 2009. № 3.
2. Ганеев, Р.В. Определение траекторий перемещения и времени смешивания семян в инкрустаторе-протравливателе [Текст] / Р.В. Ганеев // Научные исследования и разработки: сборник статей Международной научно-практической конференции (25 августа 2015 г.). Уфа: Аэтерна, 2015. С. 35–38.
3. Хасанов, Э.Р. Образование монодисперсного аэрозоля при предпосевной обработке семян [Текст] / Э.Р. Хасанов, С.Г. Мударисов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2014. № 2 (30). С. 90–94.
4. Пат. на изобретение 2533917 РФ, А 01 С1/00. Устройство для предпосевной обработки семян [Текст] / Р.Р. Камалетдинов, Р.В. Ганеев, Э.Р. Хасанов (Россия). № 2013127086/13; заявл. 13.06.2013; опубл. 27.11.2014.
5. Хасанов, Э.Р. Разработка барабанного инкрустатора семян зерновых культур [Текст] / Э.Р. Хасанов, Р.В. Ганеев // Достижения науки – агропромышленному производству. Материалы LI Международной научно-технической конференции. Челябинск: ЧГАА, 2012. Ч. III. С. 192–196.
6. Мударисов, С.Г. Оптимизация параметров пневматической системы зерноочистительной машины [Текст] / С.Г. Мударисов, И.Д. Бадретдинов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011. № 1. С. 6–9.
7. Хасанов, Э.Р. Анализ процесса инкрустации семян в барабанном протравливателе-инкрустаторе [Текст] / Э.Р. Хасанов // Вестник Башкирского ГАУ. 2013. № 1. С. 87–90.
8. Хасанов, Э.Р. Моделирование процесса образования монодисперсного аэрозоля при предпосевной обработке семян [Текст] / Э.Р. Хасанов, С.Г. Мударисов, С.Г. Мударисов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 4 (48). С. 72–74.
9. Хасанов, Э.Р. Пути решения вопросов экологии при протравливании [Текст] / Э.Р. Хасанов, М.Х. Байгускаров // Актуальные экологические проблемы. Сборник научных трудов IV международной научно-практической конференции. Уфа: БирГСПА, 2009. С. 247–250.
10. Камалетдинов, Р.Р. Особенности машин для обработки сельскохозяйственных культур биопрепаратами [Текст] / Р.Р. Камалетдинов, Э.Р. Хасанов, Р.М. Хайруллин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 6. С. 2–3.
11. Камалетдинов, Р.Р. Метод оценки качества аэрозольного покрытия [Текст] / Р.Р. Камалетдинов, Э.Р. Хасанов // Техника в сельском хозяйстве. 2007. № 5. С. 39–40.
12. Хасанов, Э.Р. Инкрустация семян зерновых культур при разработке конструкции барабанного протравливателя-инкрустатора семян [Текст] / Э.Р. Хасанов // Вестник Башкирского ГАУ. 2012. № 1. С. 52–56.
13. Хасанов, Э.Р. Совершенствование режимов работы инкрустатора семян путем определения зон взаимодействия воздушных потоков [Текст] / Э.Р. Хасанов, Р.В. Ганеев // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. № 17. С. 126–131.
14. Ганеев, Р.В. Разработка и обоснование конструктивно-технологических параметров пневмо-механического инкрустатора-протравливателя семян [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Р.В. Ганеев. Уфа, 2015. 195 с.
15. Петров, Г.Д. Картофелеуборочные машины [Текст]: учебник / Г.Д. Петров. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1984. 320 с.

Сведения об авторе

Ганеев Равиль Винаерович, кандидат технических наук, ассистент кафедры механики и инженерной графики, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, тел.: (347) 228-08-71, e-mail: hasan_ed@mail.ru.

Рассмотрено отрицательное воздействие пестицидов на живые организмы, что служит одним из основных стимулов внедрения экологически малоопасных технологий и средств в практику защиты растений. Обоснована необходимость инкрустации семян сельскохозяйствен-

ных культур биологическими препаратами, безопасными для окружающей среды. Определено время смешивания семян с жидкими и порошковыми препаратами в барабане инкрустатора-протравливателя. По результатам исследований даны выводы.

R. Ganeev

DEFINING SEED AND PREPARATION MIXING TIME FOR A SEED INCRUSTATOR-TREATER

Key words: *diseaseless management and pest control; pre-sowing seed treatment; aerosol flow; air stream; seed incrustation; drum incrustator use.*

Authors' personal details

Ganeev Ravil, Candidate of technical sciences, teaching assistant of the mechanics and engineering graphics chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letya Oktyabrya, 34, phone: (347) 228-08-71, e-mail: hasan_ed@mail.ru.

The paper considers negative impact of pesticides on living organisms being one of the main incentives to introduce environment friendly technologies and means to protect plants. There is need for farm grain

seed incrustation by environmentally safe biological preparations. Timing for mixing seeds with liquid and powder preparations in the drum of an incrustator-treater is determined. There are the research results.

© Ганеев Р.В.