

Моделирование процесса образования монодисперсного аэрозоля при предпосевной обработке семян

Э.Р. Хасанов, К.Т.Н.,
С.Г. Мударисов, Д.Т.Н., профессор,
Башкирский ГАУ

Основным методом предпосевной подготовки семян является протравливание химическими препаратами от вредителей и болезней [1]. Он широко используется при интенсивной технологии земледелия и позволяет снижать потенциальные потери урожая на 50–55%. Применяемые технические средства, обеспечивающие равномерное и полное покрытие поверхности посевного материала, имеют распределители, создающие капли различного диаметра. В лучшем случае удаётся регулировать средний размер частиц, а крупные весовые доли различных по размерам частиц снижают эффективность обработки и отрицательно сказываются на равномерности покрытия. В связи с этим одна из главных задач применяемых технических средств заключается в получении капель одинакового (монодисперсного) размера. Причём размер их должен быть в пределах 20–50 мкм [2, 3]. Подобрать правильные параметры технического устройства для достижения данных размеров аэрозоля экспериментальным путём достаточно трудоёмко, поэтому необходимо разработать математические модели обработки посевного материала различными типами распылителей, которые подскажут, в каком направлении необходимо вести научные разработки. Для модели технологического процесса обработки в качестве начальных условий могут быть использованы конструктивно-технологические параметры и режимы работы распылительной системы, а в качестве граничных условий – параметры распределительной системы капель аэрозоля, посевного материала и препарата (скорость воздушного потока, создаваемого вентилятором, количество подаваемой рабочей жидкости, конструктивные параметры камеры обработки).

Цели и задачи исследования – разработать технологические схемы обработки и техническое устройство по предпосевной обработке семян. Задачи исследования – построить модель образования монодисперсного аэрозоля и определить основные параметры системы предпосевной подготовки посевного материала.

Условия, материалы и методы исследования. К техническим устройствам для предпосевной подготовки предъявляют следующие основные требования: соблюдение нормы полного покрытия, равномерное распределение препарата по посевному материалу, возможность создания капель рабочего раствора одинакового регулируемого размера в пределах 20–50 мкм.

Выполнение первого требования современными техническими устройствами для предпосевной подготовки обеспечивается в основном количеством препарата, регулируемого установкой на норму расхода для посевного материала различных сельскохозяйственных культур.

Выполнение второго требования более затруднительно в связи с большим разбросом размеров и форм семян. Семена с разной массой имеют различную площадь поверхности. Чем масса меньше, тем больше площадь поверхности и количество семян при одинаковом весе. Заметное влияние на равномерное распределение препарата по посевному материалу оказывают особенности конструкций технических устройств в части камер обработки и типов устройства по подаче препарата и посевного материала в камеру обработки: машина поточного типа или машина порционного типа.

Выполнение третьего требования – по возможности создания капель одинакового размера – зависит от конструктивных особенностей распылителей.

Таким образом, технические устройства для предпосевной обработки должны удовлетворять выдвигаемым условиям и требованиям к распылителям. Для этого необходимо заложить в их конструкции условия образования монодисперсных аэрозолей для равномерного и качественного покрытия посевного материала.

Анализ технических средств для предпосевной обработки показывает, что по способу нанесения препаратов на посевной материал они разделяются на две группы: с перемешивающими устройствами и непосредственного нанесения на семена и клубни. Экспериментальным путём установлено, что в барабанных устройствах посевной материал минимально травмируется по сравнению с камерными и шнековыми техническими устройствами [4, 5]. Основной проблемой применения барабанных технических устройств является невозможность создания монодисперсного аэрозоля с размером капель до 50 мкм. Для устранения данного недостатка создано распыливающее устройство, позволяющее получать капли заданного размера в два этапа: диспергирование рабочей жидкости на «первичные» капли; дополнительное дробление «первичных» капель на «вторичные» за счёт удара о рассекагель.

Из условия равновесия приложенных к частице сил определён диаметр «первичной» капли, образованной кромкой диска вертикальной оси вращения [5]:

$$d = \sqrt{\frac{6 \times \sigma}{\rho_{\text{ж}} \times (R \times \omega^2 - g)}}, \quad (1)$$

где g — ускорение свободного падения, м/с²,
 ω — угловая скорость вращения дисков, рад/с,
 σ — поверхностное натяжение жидкости, Н/м,
 R — радиус диска, м,
 $\rho_{ж}$ — плотность жидкости, кг/м³.

Для проверки значимости влияния факторов на диаметр «первичной» капли по каждому из них задавался диапазон значений с получением графиков: $G=15-540 \times 10^{-3}$ Н/м, $R=10-360 \times 10^{-3}$ м, $\rho_{ж}=70-157 \times 10$ кг/м³, $\omega^2=150-500$ рад/с. Предельное значение показателей ограничено вследствие невозможности выполнения по физико-механическим характеристикам. Полученный диаметр «первичной» капли при оптимальных условиях составляет 270 мкм.

При рассмотрении механизма образования «вторичных» капель определено, что процесс зависит от трёх факторов: капиллярная неустойчивость Релея и сила аэродинамического потока ведут к разрыву плёнки на «вторичные» капли, с другой стороны — силы поверхностного натяжения способствуют замедлению процесса. При рассмотрении совместного действия данных сил получена зависимость:

$$d_2 = \frac{\pi d_1^3 \rho_{ж} \sigma + 3 \rho_{ж} v_i^2 d_1}{6 \pi \sigma^2 k c}, \quad (2)$$

где k — коэффициент распада капли, $1,14 \times 10^6$,
 c — скорость распространения ударной волны, $3-8 \times v_i$,
 d_1 — диаметр «первичной» капли,
 d_2 — диаметр «вторичной» капли,
 v_i — скорость удара.

Для описания процесса пневмотранспортирования аэрозольного потока с частицами имеется большое количество математических моделей. Выбор подходящей модели осуществляется исходя из конкретной задачи и имеющейся информации процесса. Нами для математического описания течения газов с твёрдыми частицами использовалась система уравнений Навье—Стокса с добавлением в эту систему уравнения неразрывности, сохранения массы для воздушно-зерновой смеси и сохранения импульса [6].

Результаты исследования. Теоретическое моделирование процесса образования «первичной» капли по формуле 1 показывает, что под влиянием увеличения показателей факторов диаметр «первичных» капель уменьшается с 770 до 150 мкм. По результатам полученных данных определено, что даже при соответствующих максимальных значениях всех входных величин, приводящих к образованию дисковым распылителем минимального диаметра «первичной» капли, последний не будет отвечать требованиям монодисперсного аэрозоля (до 50 мкм).

При подстановке данных в формулу 2 (поверхностное натяжение $G=0,073$ Н/м, плотность жидкости $\rho_{ж}=998,23$ кг/м³, средний размер «первичной» капли $2,7 \times 10^{-4}$ м, скорость удара «первичной» капли 20 м/с) размер «вторичной» капли составит 47 мкм, что соответствует требованиям мелкодисперсного аэрозоля. Зависимость диаметра «вторичной» капли от «первичной» при ударе о распылитель представлена на рисунке 1.

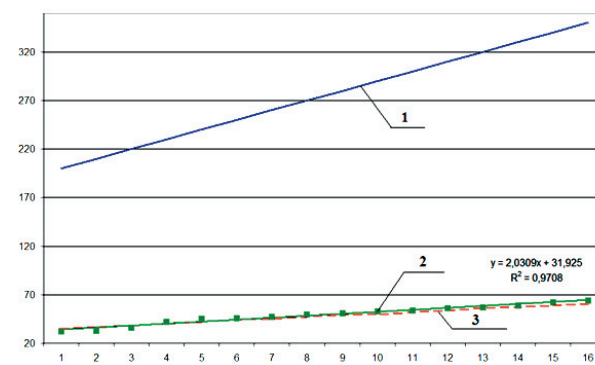


Рис. 1 — Зависимость диаметра «вторичной» капли от диаметра «первичной» капли при ударе о распылитель:
 1 — «первичные» капли;
 2 — экспериментальные данные;
 3 — теоретические данные

Численная реализация модели образования монодисперсного аэрозоля проведена в программном комплексе *FlowVision*, где можно получить интегральные и дифференциальные характеристики течения аэрозоля (поле скоростей, давлений, температур, линий тока, траекторий). Для проведения расчётов создана трёхмерная твердотельная модель пневмораспылителя в программном продукте КОМПАС-3D, которая далее для расчётов импортирована в программный комплекс *FlowVision*. Для подтверждения полученных ранее расчётных и опытных данных моделированию подвергалась пневмораспылительная система с несколькими вариантами распылителей. Анализ данных моделирования показал работоспособность спроектированной конструкции распылительного устройства. Проведение ряда экспериментов и моделирование движения аэрозоля в программном комплексе *FlowVision* обусловило возможность более точно оценить характер образования «вторичных» капель. Таким образом, моделирование образования аэрозоля с помощью программного комплекса *FlowVision* позволило более полно оценить характер влияния граничных условий и заданных начальных характеристик режима образования аэрозоля, определило пути совершенствования барабанных технических средств для предпосевной обработки.

Производственные испытания проводились на разработанном барабанном инкрустаторе (рис. 2), показавшем высокое качество работы.

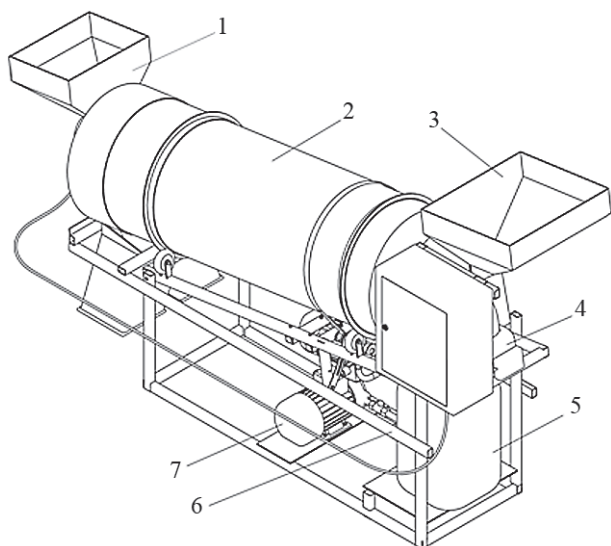


Рис. 2 – Барабанный инкрустатор БИС-4:

- 1 – бункер для порошкового биопрепарата;
 2 – камера обработки; 3 – бункер для семян;
 4 – вентилятор; 5 – резервуар с клеящейся жидкостью; 6 – рама; 7 – электродвигатель

Вывод. Получена математическая модель образования монодисперсного аэрозоля. Произведено моделирование образования аэрозоля пневмораспылительной системой с помощью программных комплексов SolidWorks. Предложенное техническое устройство БИС-4 в виде инкрустатора барабанного типа апробировано в СПК «Дружба» Благовещенского р-на Республики Башкортостан. Полученный экономический эффект на яровой пшенице составил 623,3 тыс. руб. со 120 га.

Литература

1. Смелик В.А., Кубеев Е.И., Дринча В.М. Предпосевная подготовка семян нанесением искусственных оболочек. СПб.: СПбГАУ, 2011. 272 с.
2. Дунский, В.Ф., Никитин Н.В., Соколов М.С. Монодисперсные аэрозоли. М.: Наука, 1975. 188 с.
3. Дитякин, Ю.Ф., Клячко Б.В., Новиков Л.А. и др. Распыливание жидкостей. М.: Машиностроение, 1977. 208 с.
4. Хасанов Э.Р., Байгускаров М.Х., Биктимиров М.Р. Пути повышения качества обработки семян с минимальным травмированием // Достижения науки–агропромышленному производству: матер. XLVIII междунар. науч.-практич. конф. Челябинск: ЧГАУ, 2009. Ч. 4. С. 260–263.
5. Хасанов Э.Р. Предпосевная обработка семенного материала защитно-стимулирующими препаратами: монография. Уфа: Лань, Башкирский ГАУ, 2013. 171 с.
6. Мударисов С.Г., Бадретдинов И.Д. Оптимизация параметров пневматической системы зерноочистительной машины // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011. № 1. С. 6–9.