

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПРОТРАВЛИВАНИЯ СЕМЯН В ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОМ ПРОТРАВЛИВАТЕЛЕ

Ключевые слова: пневмомеханический протравливатель семян, процесс протравливания, математическая модель, численное решение.

Представлены результаты численного решения математической модели процесса протравливания семян в предварительной камере пневмомеханического протравливателя.

Keywords: mechanical-air treater, process of enveloping the seeds of graincrops, mathematical model, numerical solution.

Present of the results of numerical solution of a mathematical model of treatment process sseed in the preliminary chamber of mechanical-air treater.

Введение

Пневмомеханический протравливатель предназначен для обработки защитно-стимулирующими препаратами семян зерновых культур перед посевом [1,2,3]. Для обоснования конструктивно-технологических параметров предварительной камеры протравливания были проведены теоретические исследования и получена математическая модель процесса протравливания семян зерновых культур в пневмомеханическом протравливателе [4]. Полученная математическая модель позволяет при заданном значении диаметра обосновать длину предварительной камеры протравливания в зависимости от уменьшения концентрации распыленных частиц рабочей жидкости для различных семян зерновых культур. Данная модель может решаться только численным методом.

Цель работы. Численно решить математическую модель процесса протравливания семян в предварительной камере и обосновать её длину.

Методы исследований

При исследованиях использованы методы численного решения математических зависимостей на основе программы «Matlab», а также специально разработанная методика исследования пневмомеханических рабочих органов, изложенная в работе [5]. Приняты следующие общие допущения: отсутствует теплообмен между воздухом, семенами и распыленными частицами рабочей жидкости; температура и плотность воздуха постоянные; семена и частицы рабочей жидкости имеют сферическую форму.

Результаты и обсуждение

Математическая модель процесса протравливания семян зерновых культур в предварительной камере протравливания включает в себя следующие дифференциальные уравнения:

$$\frac{d\vartheta_3}{dt} = \frac{4}{3} k_3 \frac{\rho_6}{\rho_3 d_{33}} (\vartheta_6 - \vartheta_3)^2, \quad (1)$$

$$\frac{d\vartheta_k}{dt} = \frac{4}{3} k_k \frac{\rho_6}{\rho_k d_{3k}} (\vartheta_6 - \vartheta_k)^2, \quad (2)$$

$$\frac{d\mu_k}{dl} = \frac{3(d_{33} + 2d_{3k})^2}{2d_{33}^3 \vartheta_k} (\vartheta_3 - \vartheta_k) \mu_k \mu_3. \quad (3)$$

где $\vartheta_3, \vartheta_k, \vartheta_6$ – соответственно, скорости зерна, распыленных частиц рабочей жидкости и воздуха, м/с; t – время движения, с; k_3, k_k – коэффициент сопротивления семян и распыленных частиц; ρ_6, ρ_3, ρ_k – соответственно, плотности воздуха, семян и распыленных частиц, кг/м³; d_{33}, d_{3k} – соответственно, эквивалентные диаметры семян и распыленных частиц, м; l – длина предварительной камеры протравливания, м; μ_3, μ_k – объемные концентрации семян и распыленных частиц рабочей жидкости, м³/м³.

Уравнения (1), (2) и (3) решаются численно при начальных условиях $t = 0; \vartheta_3 = 0; \vartheta_k = 0; \mu_k = \mu_k^H$, где μ_k^H – концентрация частиц рабочей жидкости в момент впрыска в камеру протравливания.

Так как скорость воздушного потока не является постоянной, то при каждом шаге численного интегрирования скорость воздушного потока уточняется по формуле [4]:

$$\vartheta_6 = \frac{Q}{\pi r_{kp}^2 \mu_6 \rho_6} - \frac{\mu_3 \rho_3}{\mu_6 \rho_6} \vartheta_3 - \frac{\mu_k \rho_k}{\mu_6 \rho_6} \vartheta_k. \quad (4)$$

Численные расчеты изменения скоростей распыленных частиц различного размера выполнены по дифференциальному уравнению (1) при эквивалентном диаметре семян 4 мм ($d_{33} = 4$ мм). Это значение эквивалентного диаметра, соответствует среднему размеру семян основных зерновых культур, возделываемых в настоящее время. Результаты расчетов изменения скоростей распыленных частиц представлены на рисунке 1.

Расчеты изменения скоростей семян различного размера выполнены по дифференциальному уравнению (2) при эквивалентном диаметре распыленных частиц рабочей жидкости 25 мкм ($d_{3k} = 25$ мкм). Это значение эквивалентного диаметра соответствует

среднему размеру распыленных частиц, которые могут обеспечить мелкодисперсные распылители, применяемые в настоящее время на машинах для защиты растений. Результаты расчетов изменения скоростей семян представлены на рис. 2.

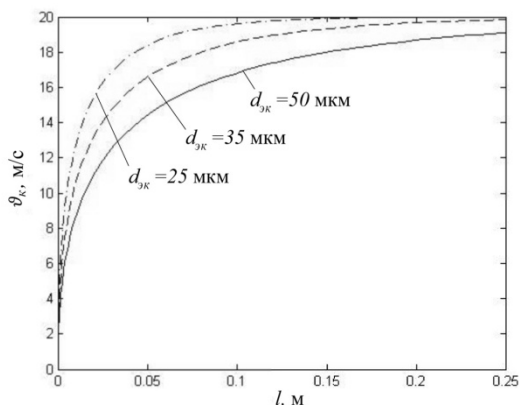


Рис. 1 – Изменение скорости распыленных частиц рабочей жидкости в предварительной камере при $d_{\text{эж}} = 4$ мм

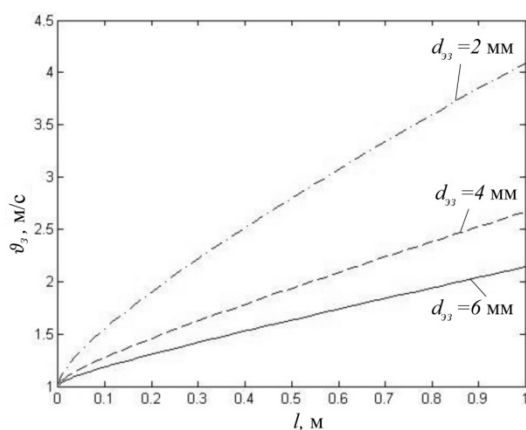


Рис. 2 – Изменение скорости семян в предварительной камере при $d_{\text{эж}} = 25$ мкм

Для обоснования длины предварительной камеры протравливания, проведем анализ графиков, приведенных на рис. 1 и 2.

После подачи в предварительную камеру протравливания семена и распыленные частицы начинают разгоняться. Так как размеры распыленных частиц намного меньше размер семян, то они разгоняются быстрее. Это свидетельствует о том, что при установившемся режиме семена во взвешенном состоянии будут находиться в среде мелкодисперсных частиц рабочей жидкости. Следовательно, распыленные частицы будут взаимодействовать со всей поверхностью каждого семени, что обеспечивает высокую степень покрытия семян рабочей жидкостью. Следует также отметить, что семена в процессе движения в воздушном потоке в среде мелкодисперсных частиц рабочей жидкости принимают различные положения, что дополнительно способствует

равномерному покрытию всей поверхности семян рабочей жидкостью.

По рис. 1 видно, что установившийся режим скорости распыленных частиц рабочей жидкости разных диаметров происходит при длине предварительной камеры более 0,2 м. Следовательно, можно утверждать, что длина предварительной камеры протравливания должна быть не менее 0,2 м.

Как видно из рис. 2 скорости семян возрастает постоянно по длине предварительной камеры для всех значений размеров семян при принятом значении эквивалентного диаметра рабочей жидкости. Очевидно такая же закономерность будет наблюдаться при всех значениях размеров мелкодисперсных частиц рабочей жидкости. Заметим также, что скорость мелких семян возрастает быстрее.

Кроме скорости движения мелкодисперсных частиц и семян в рабочей зоне при обосновании длины рабочей камеры важно учитывать уменьшение концентрации рабочей жидкости в предварительной камере протравливания, по мере движения семян.

Численные расчеты изменения концентрации распыленных частиц в предварительной камере протравливания выполнены по дифференциальному уравнению 3 при эквивалентном диаметре распыленных частиц рабочей жидкости 25 мкм ($d_{\text{эж}} = 25$ мкм) и различных размерах семян. Результаты данных расчетов приведены на рис. 3.

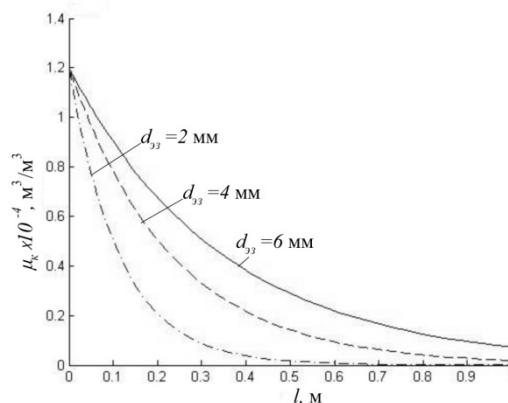


Рис. 3 – Изменение концентрации распыленных частиц рабочей жидкости в предварительной камере при диаметре $d_{\text{эж}} = 25$ мкм в зависимости от эквивалентного диаметра семян

Анализ графиков, представленных на рисунке 3, показывает, что концентрация распыленных частиц рабочей жидкости по длине предварительной камеры протравливания убывает. Причем, наиболее интенсивное убывание происходит на длине до 0,3 м от места впрыска рабочей жидкости (начало оси абсцисс на графике). Такая закономерность наблюдается для всех семян с разницей в том, что для мелких семян убывание концентрации осуществляется более интенсивно, чем при крупных семенах. Это говорит о том, что

общая поверхность покрытия мелких семян больше, поэтому больше частиц рабочей жидкости прилипает к их поверхности. Очевидно, что полученная закономерность будет наблюдаться и при других значениях размеров распыленных частиц.

Как видно из рисунка 3, при длине предварительной камеры 0,3...0,4 м при протравливании мелких семян убывание концентрации распыленных частиц рабочей жидкости в рабочей зоне составляет 75...90 %, а при протравливании средних и крупных семян – 55...75%.

Следовательно, при протравливании мелких семян их основная масса обволакивается рабочей жидкостью в предварительной камере, а при протравливании крупных семян около половины из них будет протравливаться в основной камере [6]. По конструктивным соображениям и удобства эксплуатации и настройки машины на работу увеличивать длину предварительной камеры не целесообразно.

Выводы. 1. В результате численного решения математической модели протравливания семян зерновых культур в пневмомеханическом протравливателе получены графические

зависимости, по которым обосновано, что для качественного протравливания семян зерновых культур рабочая длина предварительной камеры протравливания должна быть в пределах 0,2...0,4 м. Окончательно длина предварительной камеры будет уточняться экспериментально.

2. Полученные графические зависимости могут быть использованы как номограммы для предварительной настройки пневмомеханического протравливателя на работу.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. М. Салахов, Э.Г. Нуруллин, Сельский механизатор, 11, 16-17 (2013).
2. Пат. РФ 111382 (2011).
3. Пат. РФ 130777 (2013).
4. Э.Г. Нуруллин, И.М. Салахов, Р. И Ибяттов Вестник технологического университета, (14), 387-390 (2014).
5. Э.Г. Нуруллин, И. В. Маланичев, Моделирование пневмомеханического шелушителя зерна зерна крупных культур. КГУ, Казань, 2009, 184 с.
6. Э. Г. Нуруллин, И.М. Салахов, А. В. Дмитриев, Вестник Казанского ГАУ, 1, 69-72 (2014).

© Э. Г. Нуруллин – д-р техн. наук, профессор каф. КМУ КНИТУ, nureg@mail.ru; И. М. Салахов – инженер, КНИТУ, sim_baltasi@mail.ru; Р. И. Ибяттов – д-р техн. наук, профессор, каф. физики и математики, Казанский ГАУ.

© E. G. Nurullin – Professor, Department of Compressor Machines and Units, KNRTU, nureg@mail.ru; I. M. Salahov – an engineer, KNRTU, sim_baltasi@mail.ru; R. Ibyatov – Professor, Department of Physics and Mathematics, Kazan State Agrarian University.