

Э. Г. Нуруллин, И. М. Салахов, Р. И. Ибяттов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРОТРАВЛИВАНИЯ СЕМЯН В ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРОТРАВЛИВАТЕЛЯ

Ключевые слова: пневмомеханический протравливатель семян, математическая модель.

Разработана математическая модель, описывающая процесс оболочивания семян зерновых культур в предварительной камере протравливателя пневмомеханического типа с учетом убывания концентрации рабочей жидкости.

Keywords: mechanical-air treater, mathematical model.

Cultivation of mathematical model describing the process of enveloping the seeds in the preliminary chamber of mechanical-air treater with the decreasing concentration of the working fluid.

Введение

Пневмомеханический протравливатель предназначен для обработки защитно-стимулирующими препаратами семян зерновых культур перед посевом. Предварительная камера протравливания пневмомеханического протравливателя представляет собой горизонтальный трубопровод, перпендикулярно присоединенный к выгрузному патрубку бункера-дозатора семян [1,2,3].

В установившемся режиме работы через предварительную камеру протравливания с постоянным расходом движется воздух. В воздушный поток дозированно подаются семена и в мелкодисперсном виде впрыскивается рабочая жидкость [4]. Далее смесь семян и мелкодисперсных частиц поступает в основную камеру протравливания [5]. При совместном движении в воздушном потоке внутри предварительной камеры происходит оболочивание семян мелкодисперсными частицами рабочей жидкости. Чем больше семян будет оболочиваться рабочей жидкостью в предварительной камере, тем выше будут полнота и равномерность протравливания.

Для обоснования основных конструктивно-технологических параметров пневмомеханического протравливателя необходимо теоретически описать процесс покрытия поверхности семян рабочей жидкостью защитно-стимулирующих препаратов в предварительной камере протравливания.

Цель работы. Разработка математической модели, описывающей процесс покрытия семян мелкодисперсными частицами рабочей жидкости в предварительной камере пневмомеханического протравливателя. Решение данной задачи позволит обосновать основные конструктивные параметры предварительной камеры протравливания пневмомеханического протравливателя семян.

Экспериментальная часть

При исследованиях использованы положения газодинамики и газожидкостных смесей, математики, а также специально, разработанная методика исследования пневмомеханических рабочих органов, изложенная в работе [6]. 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

Рассмотрим процесс совместного движения смеси семян и мелкодисперсных частиц рабочей жидкости в воздушном потоке (рис. 1).

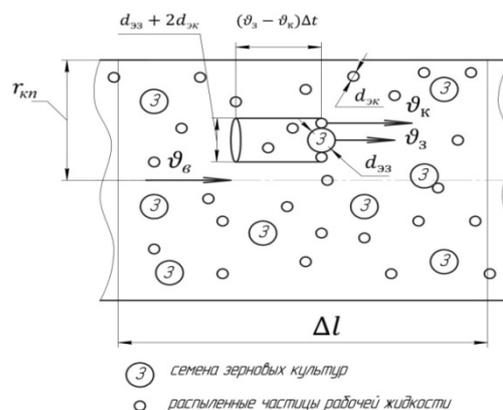


Рис. 1 – К моделированию процесса протравливания

Осевую скорость воздуха в начальном сечении обозначим $v_в$. Осевые скорости семян и распыленных частиц рабочей жидкости в зоне подачи в предварительную камеру равны нулю. Под действием движущегося воздуха они начинают набирать скорость и разгоняются до своих асимптотических значений, зависящих от коэффициентов парусности.

Движение семян и распыленных частиц рабочей жидкости в воздушном потоке можно описать с помощью следующих дифференциальных уравнений:

$$m_з \frac{d v_з}{dt} = \frac{k_з S_з \rho_в}{2} |v_в - v_з| \cdot (v_в - v_з), \quad (1)$$

$$m_к \frac{d v_к}{dt} = \frac{k_к S_к \rho_в}{2} |v_в - v_к| \cdot (v_в - v_к), \quad (2)$$

где $m_з$, $m_к$ – соответственно, массы семян и распыленных частиц рабочей жидкости, кг; $v_з$, $v_к$, $v_в$ – соответственно, скорости зерна, распыленных частиц рабочей жидкости и воздуха, м/с; t – время движения, с; $k_з$, $k_к$ – коэффициент сопротивления

семян и распыленных частиц; S_3, S_k – миделево сечения зерна и распыленных частиц рабочей жидкости, m^2 ; ρ_6 – плотность воздуха, kg/m^3 .

Массы и площади миделево сечения семян и распыленных частиц определяются по следующим формулам через их эквивалентные диаметры:

$$S_3 = \frac{\pi d_{33}^2}{4}, \quad S_k = \frac{\pi d_{3k}^2}{4}, \quad (3)$$

$$m_3 = \frac{\pi d_{33}^3}{6} \rho_3, \quad m_k = \frac{\pi d_{3k}^3}{6} \rho_k, \quad (4)$$

где d_{33}, d_{3k} – соответственно, эквивалентные диаметры семян и распыленных частиц, m ; ρ_3, ρ_k – соответственно, плотности семян и распыленных частиц, kg/m^3 .

После перехода к эквивалентным диаметрам зерна и распыленных частиц рабочей жидкости, а также с учетом того, что скорость воздушного потока больше скоростей зерна и капель, уравнения (1) и (2) примут следующий вид:

$$\frac{d\vartheta_3}{dt} = \frac{4}{3} k_3 \frac{\rho_6}{\rho_3 d_{33}} (\vartheta_6 - \vartheta_3)^2, \quad (5)$$

$$\frac{d\vartheta_k}{dt} = \frac{4}{3} k_k \frac{\rho_6}{\rho_k d_{3k}} (\vartheta_6 - \vartheta_k)^2. \quad (6)$$

При решении уравнения (5) и (6) скорость воздушного потока считается известной. Однако она не является постоянной. Для определения изменения скоростей воздушно-зернового потока запишем интегральное уравнение сохранения материального баланса среды:

$$\int_0^{r_{kn}} 2\pi r_{kn} \mu_6 \rho_6 \vartheta_6 dr_{kn} + \int_0^{r_{kn}} 2\pi r_{kn} \mu_3 \rho_3 \vartheta_3 dr_{kn} + \int_0^{r_{kn}} 2\pi r_{kn} \mu_k \rho_k \vartheta_k dr_{kn} = Q, \quad (7)$$

где Q – сумма массовых расходов воздуха, семян и распыленных частиц рабочей жидкости рабочей жидкости; r_{kn} – радиус предварительной камеры протравливания, m ; μ_6, μ_3, μ_k – объемные концентрации воздуха, семян и распыленных частиц рабочей жидкости, m^3/m^3 .

После вычисления, интегральное уравнение (7) примет следующий вид:

$$\pi r_{kn}^2 \mu_6 \rho_6 \vartheta_6 + \pi r_{kn}^2 \mu_3 \rho_3 \vartheta_3 + \pi r_{kn}^2 \mu_k \rho_k \vartheta_k = Q \quad (8)$$

Отсюда получим следующую формулу для определения скорости воздушного потока:

$$\vartheta_6 = \frac{Q}{\pi r_{kn}^2 \mu_6 \rho_6} - \frac{\mu_3 \rho_3}{\mu_6 \rho_6} \vartheta_3 - \frac{\mu_k \rho_k}{\mu_6 \rho_6} \vartheta_k. \quad (9)$$

Рассматриваемый поток представляет собой гетерогенную среду с двумя дисперсными фазами. При их столкновении происходит осаждение мелкодисперсных частиц рабочей жидкостной на поверхность семян. Поэтому концентрация распыленных

частиц μ_k является переменной величиной, которая убывает по времени, то есть уменьшается.

Величину уменьшаемой концентрации распыленных частиц $\sigma(t)$ за время dt можно представить как $\sigma(t) = \mu_k(t) - \mu_k(t + \Delta t)$.

Объем и вес осажденных частиц рабочей жидкости учитываются в характеристиках твердой фазы и воздушного потока по следующему соотношению

$$\rho_3(t + \Delta t) = \mu_3 \rho_3 - \sigma(t) \rho_k \quad (10)$$

Уменьшение вязкости воздуха можно не учитывать из-за незначительности.

Для проведения дальнейших теоретических исследований необходимо определить общие объемы семян и распыленных частиц рабочей жидкости в рабочей зоне предварительной камеры протравливания.

Общий объем распыленных частиц рабочей жидкости на рабочем участке камеры протравливания длиной Δl (рисунок 1) составляет:

$$V_{ок}(t) = \pi r_{kn}^2 \Delta l \mu_k(t). \quad (11)$$

Вычислим количество распыленных частиц рабочей жидкости на рассматриваемом участке:

$$N_{ок}(t) = \frac{V_{ок}(t)}{V_k}. \quad (12)$$

Подобные формулы можно записать для общего объема и количества семян в рассматриваемом участке:

$$V_{оз}(t) = \pi r_{kn}^2 \Delta l \mu_3(t). \quad (13)$$

$$N_{оз}(t) = \frac{V_{оз}(t)}{V_3}. \quad (14)$$

Рассмотрим фронтальный обдув одного зерна потоком воздуха и распыленных частиц рабочей жидкости (рисунок 1). За время Δt об зерновку ударяются все частицы рабочей жидкости, находящиеся в элементарном цилиндре диаметром $d_{33} + 2d_{3k}$ и длиной $(\vartheta_3 - \vartheta_k)\Delta t$, объем которого равен:

$$V_{ц} = \frac{\pi}{4} (d_{33} + 2d_{3k})^2 \cdot (\vartheta_3 - \vartheta_k) \Delta t. \quad (15)$$

Вычислим количество частиц рабочей жидкости в элементарном цилиндре, осаждаемых на одно зерно:

$$n(t) = \frac{3(d_{33} + 2d_{3k})^2 \cdot (\vartheta_3 - \vartheta_k) \Delta t \mu_k}{2d_{3k}^3}. \quad (16)$$

Объем рабочей жидкости $V_{рк}$, осаждаемой в виде капель на поверхности зерна за время Δt на участке Δl рабочей зоны камеры протравливания, определяется следующим образом:

$$V_{рк}(t) = \frac{\pi (d_{33} + 2d_{3k})^2}{4} \cdot (\vartheta_3 - \vartheta_k) \Delta t \mu_k N_{оз}(t). \quad (17)$$

Запишем условие сохранения количества рабочей жидкости на участке предварительной камеры протравливания длиной Δl :

$$V_{ок}(t + \Delta t) - V_{ок}(t) = V_{рк}(t). \quad (18)$$

Отсюда, с учетом формул (11), (14) и (17) после подстановки и сокращений получим:

$$\mu_k(t + \Delta t) - \mu_k(t) = \frac{3(d_{эз} + 2d_{эк})^2}{2} (\vartheta_3 - \vartheta_k) \Delta t \mu_k \frac{\mu_3}{d_{эз}^3}. \quad (19)$$

Отсюда, используя формулу определения производной

$$\mu'_k = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\mu_k(t+\Delta t) - \mu_k(t)}{\Delta t},$$

получим следующее дифференциальное уравнение для вычисления изменения средней концентрации капель рабочей жидкости во времени:

$$\frac{d\mu_k}{dt} = \frac{3(d_{эз} + 2d_{эк})^2}{2d_{эз}^3} |\vartheta_3 - \vartheta_k| \mu_k \mu_3. \quad (20)$$

За время Δt капля жидкости перемещается на расстояние $\Delta l = \vartheta_k \Delta t$, то есть $dt = dl/\vartheta_k$. Тогда в уравнении (20) можно перейти к координатам l :

$$\frac{d\mu_k}{dl} = \frac{3(d_{эз} + 2d_{эк})^2}{2d_{эз}^3 \vartheta_k} (\vartheta_3 - \vartheta_k) \mu_k \mu_3. \quad (21)$$

Уравнения (5), (6) и (21), которые составляют математическую модель процесса протравливания семян зерновых культур в предварительной камере протравливания пневмомеханического протравливателя решаются численно при начальных условиях $t = 0$; $\vartheta_3 = 0$; $\vartheta_k = 0$; $\mu_k = \mu_k^H$, где μ_k^H – концен-

трация 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 (9).

Выводы

1. В результате исследований получены три дифференциальных уравнения (5, 6, 21), которые составляют математическую модель, описывающие процесс протравливания семян зерновых культур в пневмомеханическом протравливателе с учетом убывания концентрации рабочей жидкости в предварительной камере и включающие в себя физико-механические свойства семян и рабочей жидкости.

2. Полученная математическая модель процесса протравливания семян рабочей жидкостью в предварительной камере протравливания позволяет определять минимально необходимый размер длины предварительной камеры протравливания в зависимости от уменьшения концентрации распыленных частиц рабочей жидкости для различных семян зерновых культур.

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. И.М. Салахов, Э.Г. Нуруллин, Известия международной академии аграрного образования, (17), 122-125 (2013).
5. Э. Г. Нуруллин, И.М. Салахов, А. В. Дмитриев, Вестник Казанского ГАУ, 1, 69-72 (2014).
6. Э.Г.Нуруллин, Пневмомеханические шелушители зерна (теория, конструкция, расчет). КГУ, Казань, 2011, 308 с.

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

© E. G. Nurullin – Professor, Department of Compressor Machines and Units, Kazan National Research Technological University, nureg@mail.ru; I. M. Salahov – an engineer, sim_baltasi@mail.ru; R. I. Ibyatov – Professor, Department of Physic and Mathematic, Kazan State Agrarian University.