

Биза Ю.С.¹, к.ф.-м.н., Крук И.С., к.т.н.,

¹Белорусский Государственный Аграрный Технический Университет, Минск, Республика Беларусь

УПРОЩЕННАЯ МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ КАПЕЛЬ ПЕСТИЦИДОВ С УЧЕТОМ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕДЫ

Аннотация

В статье исследованы закономерности движения капли рабочего раствора пестицида в сопротивляющейся среде вдоль вертикальной и горизонтальной осей, на основании которых получены зависимости для определения скорости и координат ее положения в рассматриваемый момент времени.

Введение

Механизм полета и осаждения капель рабочего раствора пестицидов на обрабатываемой поверхности сложен и многообразен. Капля, оторвавшись от выброшенной из сопла распылителя струи жидкости, обладая запасом кинетической энергии, замедленно движется под действием движущей силы (силы тяжести) и силы сопротивления среды. Спустя некоторое время, когда эти силы взаимно уравновесятся, она достигает конечной скорости падения и движется по определенной траектории, параметры которой определяются начальными условиями истечения жидкости из сопла и состоянием окружающей среды. Исследование закономерностей движения капель в воздушной среде позволяет определить скорость и координаты падения на обрабатываемую поверхность, обосновать конструкцию, размеры, оптимальные режимы работы и параметры установки распылителей, что особенно важно на стадии проектирования конструкций распылителей рабочего раствора пестицидов и полевых опрыскивателей.

Основная часть

Для изучения закономерностей движения капель в воздушной среде примем следующие допущения: расчетная форма капли в виде шара, силы сопротивления ее полету пропорциональны квадрату скорости и она не меняет своей массы и формы на протяжении всей траектории движения.

Капля жидкости M массой m_k , выброшенная из сопла распылителя в окружающую среду со скоростью v_{k0} под углом γ_0 к вертикали совершает дальнейшее движение под действием сил тяжести G_k и лобового сопротивления воздуха F_c . Сила лобового сопротивления направлена по касательной к траектории полета в сторону, противоположную направлению движения, и является заданной функцией скорости капли v_k

$$F_c = -\lambda \cdot v_k^2,$$

где λ – приведенный коэффициент сопротивления, кг/м.

Сила тяжести, действующая на каплю, определяется по формуле

$$G_k = m_k g,$$

где g – ускорение свободного падения, м/с².

Для исследования закономерностей движения капли свяжем с ней неподвижную (декартовую) – xOz , начало которой поместим в точку вылета капли из сопла распылителя O (рис. 1).

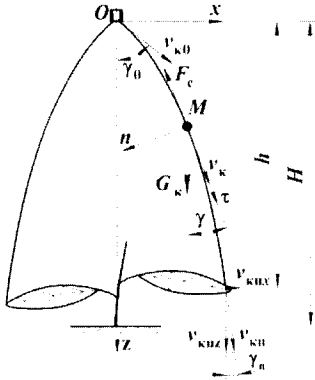


Рис. 1. Расчетная схема

Уравнения движения капли вдоль осей будут иметь вид:

$$Ox: \quad m_k \cdot \frac{dv_{kx}}{dt} = -\lambda \cdot v_{kx}^2; \quad (1)$$

$$Oz: \quad m_k \cdot \frac{dv_{kz}}{dt} = m_k \cdot g - \lambda \cdot v_{kz}^2, \quad (2)$$

где v_{kx}, v_{kz} – проекции скорости движения капли соответственно на ось Ox и Oz .

$$v_{kx} = v_k \cdot \sin \gamma;$$

$$v_{kz} = v_k \cdot \cos \gamma.$$

Разделив левую и правую части уравнений на массу капли m_k , получим:

$$\frac{dv_{kx}}{dt} = -\frac{\lambda}{m_k} \cdot v_{kx}^2 = -C_T \cdot v_{kx}^2; \quad (3)$$

$$\frac{dv_{kz}}{dt} = g - \frac{\lambda}{m_k} \cdot v_{kz}^2 = g - C_T \cdot v_{kz}^2, \quad (4)$$

где C_T – отношение приведенного коэффициента сопротивления движению капли к ее массе, $1/m$ [1]:

$$C_T = \frac{\lambda}{m_k} = \frac{\xi \cdot S_k \cdot \rho_\Gamma}{2 \cdot m_k}, \quad (5)$$

где S_k – площадь миделева сечения капли, m^2 ;

ρ_Γ – плотность воздуха при нормальных условиях, $кг/м^3$;

ξ – коэффициент аэродинамического сопротивления движению капли в окружающей среде.

Найдем решение уравнения (3), удовлетворяющее начальным условиям вылета капли из сопла распылителя (при $v_{kx} = v_{kx0}$, $t_0 = 0$). Для этого проинтегрируем левую и правую части уравнения:

$$\int \frac{dv_{kx}}{v_{kx}^2} = -C_T \int dt, \quad \text{или} \quad -\frac{1}{v_{kx}} = -C_T \cdot t + C_1 = -C_T \cdot t - \frac{1}{v_{kx0}}, \quad (6)$$

где C_1 – постоянная интегрирования. При начальных условиях $C_1 = -\frac{1}{v_{kx0}}$.

$$\text{Тогда} \quad -\frac{1}{v_{kx}} = -C_T \cdot t - \frac{1}{v_{kx0}}, \quad \text{или} \quad v_{kx} = \frac{1}{C_T \cdot t + \frac{1}{v_{kx0}}} = \frac{v_{kx0}}{C_T \cdot v_{kx0} \cdot t + 1}. \quad (7)$$

Для определения координаты капли на горизонтальную ось Ox уравнение (7) представим в следующем виде

$$v_{кx} = \frac{dx}{dt} = \frac{v_{кx0}}{1 + C_T \cdot v_{кx0} \cdot t}, \quad \text{или} \quad dx = \frac{v_{кx0}}{1 + C_T \cdot v_{кx0} \cdot t} dt. \quad (8)$$

Принтегрируем левую и правую части уравнения (8), получим

$$\int dx = \int \frac{v_{кx0}}{1 + C_T \cdot v_{кx0} \cdot t} dt, \\ \text{или} \quad x = \frac{v_{кx0}}{C_T \cdot v_{кx0}} \ln |1 + C_T \cdot v_{кx0} \cdot t| + C_2 = \frac{1}{C_T} \ln |1 + C_T \cdot v_{кx0} \cdot t|, \quad (9)$$

где C_2 – постоянная интегрирования. При начальных условиях $C_2 = 0$.

$$\text{Из зависимости (9) определим время } t = \frac{e^{C_T x} - 1}{C_T \cdot v_{кx0}}. \quad (10)$$

Запишем уравнение (4) в следующем виде

$$\frac{dv_{кz}}{dt} = C_T \left(\frac{g}{C_T} - v_{кz}^2 \right) = C_T (j^2 - v_{кz}^2), \quad \left(j^2 = \frac{g}{C_T} \right). \quad (11)$$

Принтегрируем левую и правую части выражения (11) (для условия $v_{кz}^2 < j^2$ [2]), получим

$$\frac{1}{2j} \ln \frac{j + v_{кz}}{j - v_{кz}} = C_T t + C_3 = C_T t + \frac{1}{2j} \ln \frac{j + v_{кz0}}{j - v_{кz0}}, \quad (12)$$

где C_3 – постоянная интегрирования; $C_3 = \frac{1}{2j} \ln \frac{j + v_{кz0}}{j - v_{кz0}}$.

Обозначим $q = \frac{j + v_{кz0}}{j - v_{кz0}}$, тогда уравнение (12) примет вид

$$\frac{1}{2j} \ln \frac{j + v_{кz}}{j - v_{кz}} = C_T t + \frac{1}{2j} \ln q. \quad (13)$$

Запишем зависимость (13) в следующем виде

$$\frac{1}{2j} \ln \frac{j + v_{кz}}{q(j - v_{кz})} = C_T t, \quad \text{или} \quad \ln \frac{j + v_{кz}}{q(j - v_{кz})} = 2j C_T t. \quad (14)$$

Преобразуем зависимость (14), получим

$$\frac{j + v_{кz}}{j - v_{кz}} = qe^{2jC_T t}, \quad \text{или} \quad v_{кz} (qe^{2jC_T t} + 1) = j(qe^{2jC_T t} - 1).$$

Откуда скорость капли вдоль оси Oz равна

$$v_{кz} = \frac{j(qe^{2jC_T t} - 1)}{qe^{2jC_T t} + 1}. \quad (15)$$

Для определения координаты капли на оси Oz уравнение (15) представим в следующем виде

$$v_{\text{кз}} = \frac{dz}{dt} = \frac{j(qe^{2jC_1 t} - 1)}{qe^{2jC_1 t} + 1}. \quad (15)$$

Проинтегрируем левую и правую части зависимости (15), получим

$$\int dz = \int \frac{j(qe^{2jC_1 t} - 1)}{qe^{2jC_1 t} + 1} dt = \int \frac{jqe^{2jC_1 t}}{1 + qe^{2jC_1 t}} dt - \int \frac{j}{1 + qe^{2jC_1 t}} dt. \quad (16)$$

Используя формулы интегрирования [2], получим

$$z = \frac{1}{C_1} \ln|1 + qe^{2jC_1 t}| - jt + C_4, \quad (17)$$

где C_4 – постоянная интегрирования. При начальных условиях $C_4 = -\frac{1}{C_1} \ln|1 + q|$.

Тогда выражение (17) примет вид

$$z = \frac{1}{C_1} \ln \left| \frac{1 + qe^{2jC_1 t}}{1 + q} \right| - jt. \quad (18)$$

Зная начальные условия вылета капли из сопла распылителя (расстояние между соплом распылителя и обрабатываемой поверхностью $h = 0,5$ м $v_{\text{к0}} = 2...10$ м/с $\gamma_0 = 20...25^\circ$, в момент соприкосновения капли с обрабатываемой поверхностью, угол между вектором скорости и вертикалью уменьшится не более, чем на $5...7^\circ$ [3]) и состояние окружающей среды, используя зависимости (7), (9), (15) и (18) можно определить координаты положения капли и величину скорости ее движения.

Заключение

В статье проведены теоретические исследования закономерностей движения капил рабочего раствора пестицида в факеле распыла, на основании которого разработана методика инженерного расчета ее кинематических параметров: величины скорости (7) (15), и координаты положения в проекциях на горизонтальную (9) и вертикальную (18) оси.

Литература

1. Левич Б.Г. Физико-химическая гидродинамика. – 2-е изд., доп. и перераб. - М.: Физматгит 1959. – 699с.
2. Бронштейн И.Н. Справочни по математике для инженеров и учащихся втузов / И. Бронштейн, К.А. Семендяев. – Москва: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1955. – 610 с.
3. Гордеев О.В. Повышение эффективности ухода за посевами овощных культур гребнях совершенствованием оборудования для ленточного внесения гербицидов: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / БГСХА. – Горки, 2004. – 218 с.