

ТЕХНОЛОГО-ПРИРОДОВЕДЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ОТДЕЛЕНИЕ В ВАРШАВЕ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY AND LIFE SCIENCES
NATIONAL RESEARCH INSTITUTE
BRANCH WARSAW

**ПРОБЛЕМЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ
ЖИВОТНОВОДСТВА С УЧЕТОМ ОХРАНЫ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПРОИЗВОДСТВА
АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ,
В ТОМ ЧИСЛЕ БИОГАЗА**

МОНОГРАФИЯ

под научной редакцией проф. докт. Вацлава Романюка

PROBLEMS OF INTENSIFICATION OF ANIMAL PRODUCTION
INCLUDING ENVIRONMENT PROTECTION
AND ALTERNATIVE ENERGY PRODUCTION AS WELL AS BIOGAS

MONOGRAPH

under the scientific editorship of prof. doc. Waclaw Romaniuk

ТОМ XXVII

Фаленты – Варшава 2021
Falenty – Warsaw 2021

Yuri V. Chigariev¹⁾, Igor S. Kruk¹⁾, Wacław Romaniuk²⁾, Kinga Borek²⁾

¹⁾ Białoruski Państwowy Uniwersytet Rolniczo-Techniczny, Mińsk, Republika Białorusi

²⁾ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy Państwowy Instytut Badawczy, Polska

MODELOWANIE PROCESU SPADANIA KROPLI ROBOCZEGO ROZTWORU PESTYCYDÓW Z UWZGLĘDNIENIEM ZMIAN ICH PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПАДЕНИЯ КАПЕЛЬ РАБОЧЕГО РАСТВОРА ПЕСТИЦИДОВ В СОПРОТИВЛЯЮЩЕЙСЯ СРЕДЕ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ

Аннотация

В статье приведены результаты моделирования процесса движения капель рабочего раствора пестицидов с учетом сопротивления среды и изменения их геометрических размеров. Получены равенства, позволяющие определить кинематические параметры движения капли и интенсивность изменения ее размеров в зависимости от начальных условий, времени падения, состояния окружающей среды и движения агрегата. Результаты исследований могут быть использованы в машиностроении при проектировании и испытаниях распылителей, разработке конструкций ветрозащитных устройств факелов распыла рабочих растворов пестицидов полевых опрыскивателей, моделировании процесса движения капель с изменяющейся массой.

Ключевые слова: капля, радиус, закономерность, ось, скорость, положение, перемещение, движение.

ВВЕДЕНИЕ

Качество внесения средств химизации в растениеводстве, определяемое равномерностью распределения препаратов по обрабатываемой поверхности, неразрывно связано с процессами диспергирования рабочего раствора распылителями и осаждения капель на объект обработки. Кинематические параметры падения капли определяются начальными условиями истечения жидкости из сопла (начальная скорость движения и диаметр капли, высота и угол установки распылителя) и состоянием окружающей среды (влажность, температура, восходящие потоки воздуха, ветер) [1–7]. Исследования движения капель в воздушной среде позволяют определить скорость и координаты падения на обрабатываемую поверхность, обосновать конструкцию, размеры, оптимальные режимы работы и параметры установки распылителей, технологические и конструктивные параметры ветрозащитных устройств факела распыла, что особенно важно на стадии проектирования конструкций полевых опрыскивателей и их рабочих органов.

Одной из мало изученных является задача о потере массы и изменения размеров капель рабочего раствора пестицидов при теплообмене с воздушным потоком при движении от сопла распылителя до обрабатываемой поверхности в процессе выполнения технологической операции. В результате различных исследований установлено, что капли диаметром 100 мкм при температуре 32°C, влажности воздуха 46% и скорости ветра 1–2 м·с⁻¹ теряют от испарения 50% массы [1, 8]. Определение некоторых кинематических параметров движения капель постоянной массы рабочего раствора пестицидов приведено в работах [1, 2, 9, 10, 11]. Изучение движения тел переменной массы начато в работах И.В. Мещерского [12] и продолжено во многих других, связанных с различными физическими задачами. Моделирование процессов движения капель с изменяющейся массой отражено в работах [13–16].

Цель работы – моделирование процесса движения капель рабочего раствора пестицидов при опрыскивании с учетом сопротивления окружающей среды и изменения их геометрических размеров и получение математических зависимостей, позволяющих определить кинематические параметры и размеры падающей капли в заданный момент времени.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рассмотрим движение капли жидкости массой m_k , радиусом r_k выброшенной из сопла распылителя в окружающую среду с начальной горизонтальной скоростью v_{kx0} (рис. 1). Считаем

форму капли шарообразной с начальным радиусом $r_{к0}$. При полете на каплю действуют сила тяжести G_k и сила лобового аэродинамического сопротивления воздуха F_c в воздушной среде [1, 2, 9–11, 13–20].

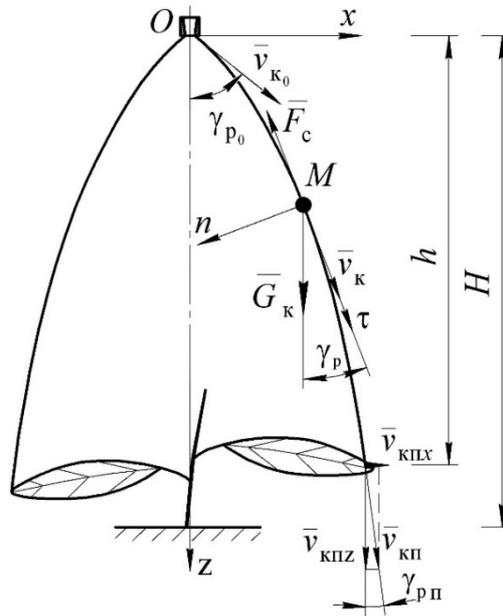


Рис. 1. Расчетная схема падения капли жидкости

Сила тяжести, действующая на каплю, определяется по формуле:

$$G_k = m_k g,$$

где g – ускорение свободного падения, $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$.

Сила лобового сопротивления направлена по касательной к траектории полета в сторону, противоположную направлению движения, и является заданной функцией скорости капли v_k

$$F_c = -k_\lambda v_k^2 = -\frac{\xi \rho_B S_k}{2} v_k^2,$$

где $k_\lambda = \frac{\xi \rho_B S_k}{2}$; ξ – безразмерный коэффициент сопротивления движению капли; ρ_B – плотность среды, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$; S_k – площадь поперечного сечения капли, м^2 ;

Считаем, что перемещение капли в направлении движения опрыскивателя незначительным, тогда параметры движения можно определять в плоскости xOz , начало которой поместим в точку вылета капли из сопла распылителя O (рис. 1).

Уравнения движения капли относительно осей будут иметь вид:

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

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

где v_{kx} , v_{kz} – составляющие скорости движения капли вдоль осей Ox и Oz :

$$v_{kx} = v_k \cdot \sin \gamma_p; \quad v_{kz} = v_k \cdot \cos \gamma_p.$$

Используя равенство $m_k = \rho_k V_k$ (ρ_k – плотность рабочей жидкости) и учитывая объем ($V_k = \frac{4}{3} \pi r_k^3$) и площадь сечения ($S_k = \pi r_k^2$) шарообразной капли [1, 2, 9–11, 14, 15, 22, 23], уравнение (1) и (2) примут следующий вид:

$$\frac{dv_{\text{кx}}}{dt} = -\frac{\xi \rho_{\text{в}} S_{\text{к}}}{2\rho_{\text{к}} V_{\text{к}}} \cdot v_{\text{кx}}^2; \quad \frac{dv_{\text{кz}}}{dt} = g - \frac{\xi \rho_{\text{в}} S_{\text{к}}}{2\rho_{\text{к}} V_{\text{к}}} \cdot v_{\text{кz}}^2.$$

Тогда уравнения движения (2) и (3) примут вид

$$\frac{dv_{\text{кx}}}{dt} = -\frac{3 C_V}{8 r_{\text{к}}} \cdot v_{\text{кx}}^2; \quad (4)$$

$$\frac{dv_{\text{кz}}}{dt} = g - \frac{3 C_V}{8 r_{\text{к}}} \cdot v_{\text{кz}}^2, \quad (5)$$

где $C_V = \frac{\xi \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{к}}}$.

Предположим, что радиус капли $r_{\text{к}}$ с течением времени убывает по закону [16]

$$r_{\text{к}} = \frac{r_{\text{к}0}}{1 + \psi t}, \quad (6)$$

где $r_{\text{к}0}$ – радиус капли, который соответствует времени $t = 0$, т.е. начальному времени вылета капли из сопла; ψ – интенсивность убывания радиуса капли.

Принимая, что $\frac{dv_{\text{к}}}{dt} = \frac{dv_{\text{к}}}{dt} \cdot \frac{dr_{\text{к}}}{dr_{\text{к}}} = \frac{dv_{\text{к}}}{dr_{\text{к}}} \cdot \frac{dr_{\text{к}}}{dt} = -\frac{r_{\text{к}}^2 \psi}{r_{\text{к}0}} \cdot \frac{dv_{\text{к}}}{dr_{\text{к}}}$ [1, 2, 11], уравнения (4) и (5) преобразуются к виду

$$-\frac{dv_{\text{кx}}}{dr_{\text{к}}} + \frac{3 r_{\text{к}0} C_V}{8 r_{\text{к}}^3 \psi} \cdot v_{\text{кx}}^2 = 0; \quad (7)$$

$$-\frac{dv_{\text{кz}}}{dr_{\text{к}}} + \frac{3 r_{\text{к}0} C_V}{8 r_{\text{к}}^3 \psi} \cdot v_{\text{кz}}^2 = \frac{g r_{\text{к}0}}{r_{\text{к}}^2 \psi}. \quad (8)$$

Обозначим

$$k_1 = \frac{3}{8} \cdot \frac{r_{\text{к}0} C_V}{\psi}; \quad k_2 = \frac{g r_{\text{к}0}}{\psi}. \quad (9)$$

Рассмотрим движение капли вдоль оси Ox . С учетом обозначений (9) проинтегрируем уравнение (7), и учитывая начальные условия ($t = 0$, $r_{\text{к}} = r_{\text{к}0}$, $v_{\text{кx}} = v_{\text{кx}0}$), получим

$$\frac{1}{v_{\text{кx}}} = \frac{k_1}{2} \left(\frac{1}{r_{\text{к}}^2} - \frac{1}{r_{\text{к}0}^2} \right) + \frac{1}{v_{\text{кx}0}}. \quad (10)$$

Откуда получим выражение для изменения радиуса капли вдоль оси Ox в зависимости от текущей и начальной скорости, параметров аэродинамического сопротивления, начального радиуса $r_{\text{к}0}$

$$r_{\text{к}} = \sqrt{\frac{3 C_V r_{\text{к}0}^3 v_{\text{кx}0} v_{\text{кx}}}{16 \psi r_{\text{к}0}^2 (v_{\text{кx}0} - v_{\text{кx}}) + 3 v_{\text{кx}} v_{\text{кx}0} C_V r_{\text{к}0}}}. \quad (11)$$

Из данного выражения следует, что при полете капли ее радиус уменьшается, т.к. при полете капли ее скорость убывает $v_{\text{кx}} < v_{\text{кx}0}$. При $v_{\text{кx}} = 0$ происходит полное испарение капли, т.е.

$r_{\text{к}} = 0$. Предположим, что при достижении скорости $v_{\text{кx}} = \frac{1}{2} v_{\text{кx}0}$ капля приобретает размеры

соответствующие $r_{\kappa} = \frac{1}{2} r_{\kappa_0}$, тогда из зависимости (11) можно получить выражение для определения коэффициента интенсивности убывания радиуса (массы)

$$\psi = \frac{9C_r v_{\kappa x_0}}{16r_{\kappa_0}}. \quad (12)$$

Выражение (10) представим в следующем виде

$$dt = \frac{k_1}{2} \left(\frac{1}{r_{\kappa}^2} - \frac{1}{r_{\kappa_0}^2} \right) dx + \frac{1}{v_{\kappa x_0}} dx.$$

Обозначим через $A = \frac{k_1}{2r_{\kappa_0}^2}$, $B = \frac{1}{v_{\kappa x_0}}$, с учетом $r_{\kappa} = \frac{r_{\kappa_0}}{1 + \psi t}$, $r_{\kappa}^2 = \frac{r_{\kappa_0}^2}{(1 + \psi t)^2}$, получим

$$\int \frac{dt}{A((1 + \psi t)^2 - 1) + B} = \int dx. \quad (13)$$

Сделаем замену $1 + \psi t = Z$, $t = \frac{Z-1}{\psi}$, $dt = \frac{1}{\psi} dZ$, тогда левая часть равенства (13) преобразуется к виду

$$\frac{1}{\psi} \int \frac{dZ}{AZ^2 - A + B} = \frac{1}{\psi} \int \frac{dZ}{AZ^2 - D} = \frac{1}{\psi A} \int \frac{dZ}{Z^2 - \frac{D}{A}},$$

где $D = A - B = \frac{k_1}{2r_{\kappa_0}^2} - \frac{1}{v_{\kappa x_0}}$.

Обозначим $\frac{D}{A} = N^2$ или $N^2 = \frac{\left(\frac{k_1}{2r_{\kappa_0}^2} - \frac{1}{v_{\kappa x_0}} \right) 2r_{\kappa_0}^2}{k_1}$

Проинтегрируем выражение, получим

$$\frac{1}{\psi A} \int \frac{dZ}{Z^2 - N^2} = -\frac{1}{\psi A} \int \frac{dZ}{N^2 - Z^2} = -\frac{1}{2\psi A} \ln \frac{N+Z}{N-Z} + C_2. \quad (14)$$

Подставим (14) в (13), вернувшись к переменной t

$$-\frac{r_{\kappa_0}^2}{\psi k_1} \ln \frac{\sqrt{\frac{2r_{\kappa_0}^2}{k_1} \left(\frac{k_1}{2r_{\kappa_0}^2} + \frac{1}{v_{\kappa x_0}} \right)} + 1 + \psi t}{\sqrt{\frac{2r_{\kappa_0}^2}{k_1} \left(\frac{k_1}{2r_{\kappa_0}^2} + \frac{1}{v_{\kappa x_0}} \right)} - 1 - \psi t} = x + C_2, \quad (15)$$

где C_2 – постоянная интегрирования.

Обозначим $\sqrt{\frac{2r_{\kappa_0}^2}{k_1} \left(\frac{k_1}{2r_{\kappa_0}^2} + \frac{1}{v_{\kappa x_0}} \right)} = J$ и определим C_2 из начальных условий при $t = 0, x_0 = 0$

$$C_2 = -\frac{r_{\kappa_0}^2}{\psi k_1} \ln \frac{J+1}{J-1}. \quad (16)$$

Подставим равенство (16) в (15), получим

$$\frac{r_{\kappa_0}^2}{\psi k_1} \ln \left[\frac{J+1}{J-1} \cdot \frac{J-1-\psi t}{J+1+\psi t} \right] = x. \quad (17)$$

Распишем (17) и определим время горизонтального полета капли

$$\frac{J+1}{J-1} \cdot \frac{J-1-\psi t}{J+1+\psi t} = e^{\frac{\psi k_1 x}{r_{\kappa_0}^2}}.$$

Данное уравнение представим в следующем виде

$$\frac{J-1-\psi t}{J+1+\psi t} = \frac{J-1}{J+1} e^{\frac{\psi k_1 x}{r_{\kappa_0}^2}},$$

$$t \left(\frac{J-1}{J+1} \psi e^{\frac{\psi k_1 x}{r_{\kappa_0}^2}} + \psi \right) = -(J-1) e^{\frac{\psi k_1 x}{r_{\kappa_0}^2}} - 1 + J.$$

Откуда время полета капли в зависимости от координаты x будет определяться по формуле

$$t = \frac{(1 - e^{\frac{\psi k_1 x}{r_{\kappa_0}^2}})(J^2 - 1)}{(J-1)\psi e^{\frac{\psi k_1 x}{r_{\kappa_0}^2}} + \psi(J+1)}.$$

С учетом $J = \sqrt{\frac{2r_{\kappa_0}^2}{k_1} \left(\frac{k_1}{2r_{\kappa_0}^2} + \frac{1}{v_{\kappa x_0}} \right)}$, получим

$$t = \frac{\left(1 - e^{\frac{\psi k_1 x}{r_{\kappa_0}^2}} \right) \left(\frac{2r_{\kappa_0}^2}{k_1} \left(\frac{k_1}{2r_{\kappa_0}^2} + \frac{1}{v_{\kappa x_0}} \right) - 1 \right)}{\left(\sqrt{\frac{2r_{\kappa_0}^2}{k_1} \left(\frac{k_1}{2r_{\kappa_0}^2} + \frac{1}{v_{\kappa x_0}} \right)} - 1 \right) \psi e^{\frac{\psi k_1 x}{r_{\kappa_0}^2}} + \psi \left(\sqrt{\frac{2r_{\kappa_0}^2}{k_1} \left(\frac{k_1}{2r_{\kappa_0}^2} + \frac{1}{v_{\kappa x_0}} \right)} + 1 \right)}.$$

Выражение (10) перепишем в следующем виде

$$1 = \left[\frac{k_1}{2} \left(\frac{1}{r_{\kappa}^2} - \frac{1}{r_{\kappa_0}^2} \right) + \frac{1}{v_{\kappa x_0}} \right] \frac{dx}{dt}. \quad (18)$$

С учетом $\frac{dx}{dt} = \frac{dx}{dt} \cdot \frac{dr_{\kappa}}{dr_{\kappa}} = \frac{dx}{dr_{\kappa}} \cdot \frac{dr_{\kappa}}{dt} = \frac{dx}{dr_{\kappa}} \cdot \frac{r_{\kappa}^2 \psi}{r_{\kappa_0}^2}$ уравнение (18) преобразуем к виду

$$-\frac{dr_{\kappa}}{D_1^2 - r_{\kappa}^2} = \frac{\left(\frac{\psi}{v_{\kappa x_0}} - \frac{k_1 \psi}{2r_{\kappa_0}^2} \right)}{r_{\kappa_0}} dx. \quad (19)$$

$$\text{где } D_1^2 = \frac{k_1 \Psi}{2} \cdot \frac{2r_{k_0}^2 v_{kx_0}}{(2r_{k_0}^2 \Psi - v_{kx_0} k_1 \Psi)} = \frac{k_1 r_{k_0}^2 v_{kx_0}}{2r_{k_0}^2 - k_1 v_{kx_0}}.$$

Проинтегрируем данное выражение, получим

$$-\frac{1}{2D_1} \ln \frac{D_1 + r_k}{D_1 - r_k} = \frac{1}{r_{k_0}} \left(\frac{\Psi}{v_{kx_0}} - \frac{k_1 \Psi}{2r_{k_0}^2} \right) x + C_3, \quad (20)$$

где C_3 – постоянная интегрирования. При начальных условиях $x_0 = 0$, $r_k = r_{k_0}$,

$$C_3 = -\frac{1}{2D_1} \ln \frac{D_1 + r_{k_0}}{D_1 - r_{k_0}}.$$

Тогда выражение (20) после преобразований примет следующий вид

$$r_k \left(\frac{D_1 - r_{k_0}}{D_1 + r_{k_0}} e^{Wx} + 1 \right) = D_1 \left(1 - \frac{D_1 - r_{k_0}}{D_1 + r_{k_0}} e^{Wx} \right).$$

$$\text{где } W = \frac{2D_1}{r_{k_0}} \left(\frac{\Psi}{v_{kx_0}} - \frac{k_1 \Psi}{2r_{k_0}^2} \right).$$

Откуда получим зависимость изменения радиуса капли от координаты x , т.е. горизонтального перемещения

$$r_k = \frac{D_1 \left(1 - \frac{D_1 - r_{k_0}}{D_1 + r_{k_0}} e^{Wx} \right)}{\left(\frac{D_1 - r_{k_0}}{D_1 + r_{k_0}} e^{Wx} + 1 \right)}. \quad (21)$$

Для исследований процесса движения капли вдоль оси Oz уравнение (5) представим в следующем виде

$$\frac{dv_{kz}}{dt} = g - k_3 v_{kz}^2,$$

$$\text{где } k_3 = \frac{3 C_V}{8 r_k},$$

или

$$\frac{dv_{kz}}{dt} = k_3 (k_4^2 - v_{kz}^2), \quad (22)$$

$$\text{где } k_4^2 = \frac{g}{k_3}$$

Для условия $k_4^2 > v_{kz}^2$ проинтегрируем выражение (22), решение которого при начальных условиях $t = 0$, $v_{kz} = 0$ будет иметь следующий вид

$$v_{kz} = \frac{k_4 \left(e^{2k_4 k_3 t} - 1 \right)}{e^{2k_4 k_3 t} + 1}. \quad (23)$$

Найдем координату капли на оси Oz , представив в формуле (23) скорость в виде $v_{kz} = \frac{dz}{dt}$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{k_4 (e^{k_4 k_3 t} - 1)}{e^{k_4 k_3 t} + 1}. \quad (24)$$

Проинтегрируем данное уравнение, решение которого при начальных условиях $t = 0, z_0 = 0$ будет иметь следующий вид

$$z = \frac{1}{k_3} \ln \left| \frac{e^{2k_3 k_4 t} + 1}{2} \right| - k_4 t. \quad (25)$$

При испарении капли закон изменения ее массы определяется выражением [12]

$$\frac{dm_{\kappa}}{dt} = -4\pi\rho_{\kappa} r_{\kappa}^2 \frac{dr_{\kappa}}{dt}. \quad (26)$$

Согласно закону Фика [13] изменение массы капли при испарении

$$\frac{dm_{\kappa}}{dt} = \alpha_{\text{м}} 4\pi r_{\kappa}^2 (w_{\kappa} - w_{\text{с}}), \quad (27)$$

где $\alpha_{\text{м}}$ – коэффициент массоотдачи с поверхности капли в среду, $\text{кг}\cdot(\text{м}^2\cdot\text{с})^{-1}$; $w_{\kappa}, w_{\text{с}}$ – соответственно влагосодержание воздушной среды на границе с каплей и вдали от нее.

Уравнения (26) и (27) дают соотношение закона переноса массы капли в среду [12]

$$\rho_{\kappa} \frac{dr_{\kappa}}{dt} + \alpha_{\text{м}} (w_{\kappa} - w_{\text{с}}) = 0. \quad (28)$$

Учитывая равенство (6) запишем $\frac{dr_{\kappa}}{dt} = -\frac{r_{\kappa_0} \Psi}{(1 + \Psi t)^2}$, после соответствующих преобразований получим

$$\frac{dr_{\kappa}}{dt} = -\frac{r_{\kappa_0} \Psi r_{\kappa}^2}{r_{\kappa_0}^2} = -\frac{\Psi r_{\kappa}^2}{r_{\kappa_0}}. \quad (29)$$

Подставим (29) в (28), получим

$$\rho_{\text{ж}} \frac{\Psi r_{\kappa}^2}{r_{\kappa_0}} = \alpha_{\text{м}} (w_{\kappa} - w_{\text{с}}).$$

Откуда

$$r_{\kappa}^2 = \frac{r_{\kappa_0}}{\rho_{\kappa} \Psi} \alpha_{\text{м}} (w_{\kappa} - w_{\text{с}}). \quad (30)$$

Приравняв правые части (30) и (11), получим

$$\frac{3C_V r_{\kappa_0}^2 v_{\text{кк}_0} v_{\text{кк}}}{16\Psi r_{\kappa_0}^2 (v_{\text{кк}_0} - v_{\text{кк}_0}) + 3v_{\text{кк}} v_{\text{кк}_0} C_V r_{\kappa_0}} = \frac{\alpha_{\text{м}} (w_{\kappa} - w_{\text{с}})}{\rho_{\kappa} \Psi}.$$

Пусть $r_{\kappa} = \frac{r_{\kappa_0}}{2}$, тогда из равенства (30) имеем

$$\Psi = \frac{4\alpha_{\text{м}} (w_{\kappa} - w_{\text{с}})}{\rho_{\kappa} r_{\kappa_0}}. \quad (31)$$

Приравнявая правые части равенств (31) и (12), получим равенство

$$\frac{9C_V v_{кк_0}}{16r_{к_0}} = \frac{4\alpha_M (w_k - w_c)}{\rho_k r_{к_0}},$$

из которого определим коэффициент массоотдачи с поверхности капли

$$\alpha_M = \frac{9C_V v_{кк_0} \rho_k}{64(w_k - w_c)}. \quad (32)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из предположения, что инерционное перемещение капли рабочего раствора пестицида в направлении движения агрегата незначительно, рассмотрена модель изменения ее радиуса (массы) в плоскости xOz . Получено уравнение изменения радиуса капли в зависимости от изменения составляющей скорости вдоль оси Ox , анализ которого показывает, что с затуханием скорости полета капли ее радиус уменьшается.

Получена формула для определения интенсивности убывания капли, учитывающая ее радиус, начальную скорость и безразмерный коэффициент сопротивления окружающей среды. Получена зависимость между коэффициентами перемещения капли вдоль оси Ox и временем t . Приведено выражение для изменения радиуса капли в зависимости от горизонтального перемещения. Приведены уравнения зависимости изменения скорости и вертикальной координаты движения капли от времени.

Определен коэффициент массоотдачи с поверхности капли в зависимости от коэффициента сопротивления, начальной скорости, плотности среды на границе капли и растительной среды, подверженной обработке.

Полученные результаты могут быть использованы в машиностроении при проектировании и испытаниях распылителей, разработке конструкций устройств защиты факелов распыла рабочих растворов от воздействия ветра в полевых опрыскивателях, моделировании процесса падения капель с изменяющейся массой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Крук И.С. 2015. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей / И.С. Крук, Т.П. Кот, О.В. Гордеенко. – Минск : БГАТУ, 284 с.
2. ГОРДЕЕНКО О.В. 2004. Повышение эффективности ухода за посевами овощных культур на гребнях совершенствованием оборудования для ленточного внесения гербицидов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / О.В. Гордеенко. – Горки, 169 с.
3. КОРСУНОВ Ю.А. 1971. Экспериментальное исследование дробления капель жидкости при низких значениях числа Рейнольдса / Ю.А. Корсунов, А.В. Тишин // Изв. Акад. наук СССР. Механика жидкости и газа. № 2, 128–138.
4. ШПААР Д. 2004. Защита растений в устойчивых системах землепользования: в 4 кн. / под общ. ред. Д. Шпаара. – Минск : Орех. – Кн. 4, 374 с.
5. Сельскохозяйственная авиация: Защита растений и внесение удобрений / Под общ. ред. Б.И. Рукавишников. – М.: Колос, 1967, 439 с.
6. МАРКЕВИЧ А.Е., НЕМИРОВЕЦ Ю.Н. 2004. Основы эффективного применения пестицидов: Справочник в вопросах и ответах по механизации и контролю качества применения пестицидов в сельском хозяйстве. – Горки: Ремком, 60 с.
7. КЛОЧКОВ А.В., МАРКЕВИЧ А.Е. 2008. Механизация химической защиты растений : монография / А.В. Кочков, А.Е. Маркевич. – Горки: БГСХА, 228 с.
8. МАРТЫНЕНКО В.И. 1992. Пестициды: справочник / В.И. Мартыненко, В.К. Прамоненков, КУКАЛЕНКО С.С. и др. – М.: Агропромиздат, 386 с.
9. БИЗА Ю.С. 2013. Математическое моделирование падения капли пестицида при химической защите посевов / Ю.С. Биза [и др.] / Агропанорама. – № 3 (97), 9–11.
10. ПАНАСЮК В.І. 2020. Дослідження закономірності осідання краплин рідини під час обприскування польових культур / Механізація та електрифікація сільського господарства. Випуск 10(109), 42 – 47.
11. ГОРДЕЕНКО О.В. 2011. Методика инженерного расчета кинематических параметров движения капель рабочего раствора пестицидов в воздушной среде О.В. Гордеенко [и др.] / Агропанорама. – № 6, 6–10.
12. МЕЩЕРСКИЙ И.В. 1952. Работы по механике тел переменной массы. – М. : ГИТТЛ, 276 с.

13. ЕМЕЛЬЯНОВ А.Л., ПЛАТУНОВ Е.С. 2011. Кинематика испарения капель в системах охлаждения теплонагруженных элементов приборов // Известия вузов приборостроения. – т. 54, № 1, 84–88.
14. ОЛЬШАНСКИЙ В.П., ОЛЬШАНСКИЙ С.В. 2014. Аналитическое решение задачи о падении шара, радиус которого убывает по дробно-линейному закону // Техническая механика. – № 2, 73–78.
15. ОЛЬШАНСКИЙ В.П., ОЛЬШАНСКИЙ С.В. 2006. К моделированию падения испаряющейся капли диспергированного огнетушащего вещества // Пожаровзрывобезопасность. – Т. 15. – № 1, 41–45.
16. ЕМЕЛЬЯНОВ А.Л., ПЛАТУНОВ Е.С. 2001. Кинематика испарения капель в системах охлаждения теплонагруженных элементов приборов // Изв. вузов. приборостроение. – т. 54. – № 1., 85 – 88.
17. ТАРГ С.М. 1986. Краткий курс теоретической механики. Изд-во «Высшая школа», 416 с.
18. РОГОВ В.П. 2007. Коэффициент сопротивления частиц и капель // Научные труды Дальрыбвтуза. – Владивосток. Электр. ресурс <https://cyberleninka.ru/article/n/koeffitsient-soprotivleniya-chastits-i-kapel>. Дата доступа: 7.05.2020
19. РОГОВ В.П., ПОВАЛИХИНА, О.В. 2007. К расчету скорости витания капель воды // Научные труды Дальрыбвтуза. – Владивосток. Электронный ресурс <https://cyberleninka.ru/article/n/k-raschetu-skorosti-vitaniya-kapel-vody> Дата доступа: 7.05.2020
20. ДОЛГУШИНА О.В. 2012. Динамика капель диспергированной струи в поперечном потоке газа / О.В. Долгушина [и др.] // Вестник ЧГУ. – № 30 (284),– Вып. 14, 26–31.
21. ГУРЬЯШКИН Л.П., СТАСЕНКО А.Л. 1991. Испарение и динамика капель азота в воздухе // Ученые записки ЦАГИ. – т. XXII. – № 6, с. 70–74.
22. БРОУНШТЕЙН Б.И., ФИШБЕЙН Г.А. 1977. Гидродинамика, массо- и теплообмен в дисперсных потоках. – Л. : Химия, 280 с.
23. ФУКС Н.А. 1955. Механика аэрозолей. – М. : Изд-во АН СССР, 351 с.

MODELING THE PROCESS OF DROP DROPS OF THE WORKING SOLUTION OF PESTICIDES IN A RESISTANT MEDIUM TAKING INTO ACCOUNT THE CHANGE OF THEIR GEOMETRIC SIZES

Yuri V. Chigariev, Igor S. Kruk, Waław Romaniuk, Kinga Borek

Summary

The article presents the results of modeling the process of movement of droplets of a working solution of pesticides taking into account the resistance of the medium and changes in their geometric dimensions. Equalities are obtained that make it possible to determine the kinematic parameters of the droplet motion and the rate of change in its dimensions depending on the initial conditions, the time of fall, the state of the environment and the motion of the unit. The research results can be used in mechanical engineering in the design and testing of sprayers, in the development of designs for wind protection devices for spray flares of working solutions of pesticides of field sprayers, in modeling the process of droplet movement with a changing mass.

Key words: drop, radius, regularity, axis, speed, position, displacement, movement.

MODELOWANIE PROCESU SPADANIA KROPLI ROBOCZEGO ROZTWORU PESTYCYDÓW Z UWZGLĘDNIENIEM ZMIAN ICH PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH

Yuri V. Chigariev, Igor S. Kruk, Waław Romaniuk, Kinga Borek

Streszczenie

Przedstawiono wyniki i analiza modelowania procesu przemieszczania się kropli roztworu roboczego pestycydów z uwzględnieniem uwarunkowań środowiska i ich parametrów geometrycznych wyznaczając parametry geometryczne kropli (w postaci równań)

Słowa kluczowe: kropla, promień, oś, prędkość, położenie, ruch