

УДК 631.348.45:378.245

И.С. Крук¹, Т.П. Кот¹, О.В. Гордеенко², А. Марчук³,
В. Романюк⁴

¹Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь; ²Белорусская государственная сель-
скохозяйственная академия, г. Горки, Республика Беларусь;

³Университет природоведческий в Люблине, Республика Польша

⁴Институт технологических и естественных наук, Отдел в
Варшаве, Республика Польша

ОБОСНОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ ОБЪЕМНОГО ДЕЙСТВИЯ

Введение

Эффективность интегрированной системы защиты растений от вредителей, болезней и сорняков, наряду с другими факторами, определяется работой средств механизации, которые должны обеспечивать равномерную обработку растений по объему. Однако, из попадающей на объект жидкости более 80 % оседает на верхнем ярусе, на нижнем – менее 10 % [1]. Доставка капель рабочих растворов пестицидов к объектам обработки направленным воздушным потоком представляется наиболее эффективной.

Основная часть

Эффективность работы опрыскивателей объемного действия определяется согласованностью работы воздухораспределительной и гидравлической систем. Пусть имеется направленный воздушный поток, определяемый скоростью v_B , углом β' между направлением скорости и горизонтальной плоскостью, и капля жидкости массой m_K , движущаяся со скоростью v_K под углом γ_0 к воздушному потоку и под углом α_c вправо от вертикали (рисунок 1,а). Величина относительной скорости определяется из скоростного треугольника

$$v_{\text{отн}} = \sqrt{v_B^2 + v_K^2 - 2v_B v_K \cos \gamma_0}, \quad \sin \alpha_1 = \frac{v_K \sin \gamma_0}{v_{\text{отн}}}.$$

Ускорение, сообщаемое капле воздушным потоком при турбулентном режиме, определяется по формуле [2]:

$$a_{R_B} = \frac{c\rho_B S_K v_{отн}^2}{m_K} = k_{\Pi} v_{отн}^2, \quad k_{\Pi} = \frac{c\rho_B S_K}{m_K}.$$

где c – коэффициент сопротивления воздуха;

S_K – миделево сечение капли, m^2 ;

k_{Π} – коэффициент парусности.

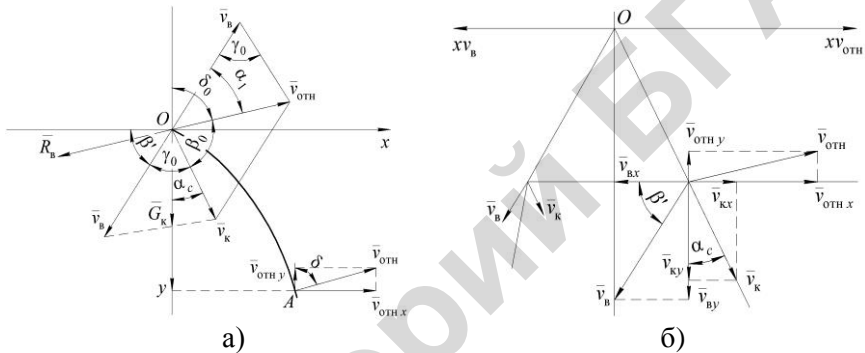


Рисунок 1 – Расчетная схема (капля движется под углом α_c от вертикали вправо): траектория относительного (а) и полного (б) движения капли в воздушном потоке

Относительное движение капли в воздушном потоке рассмотрим в системе подвижных координат, перемещаемой поступательным движением вместе с потоком (рисунок 1,а). Обозначим составляющие скорости относительного движения капли для траектории относительного движения OA – $v_{отн\ x}$, $v_{отн\ y}$, а составляющие скорости воздушного потока – v_{Bx} , v_{By} . Тогда $v_{Bx} = v_B \cos \beta'$, $v_{By} = v_B \sin \beta'$. Угол α_c определяется из формулы:

$$\operatorname{tg} \alpha_c = \frac{v_{Kx}}{v_{Ky}} = \frac{v_{отн\ x} - v_B \cos \beta'}{v_B \sin \beta' - v_{отн\ y}}.$$

где $v_{Kx} = v_{отн\ x} - v_{Bx}$, $v_{Ky} = v_{By} - v_{отн\ y}$.

В начале движения $v_{отн} = v_B$, тогда $R_B = m_k k_{\Pi} v_B^2$. Из рисунка 2 следует, что

$$\operatorname{tg} \alpha_{c_0} = \frac{R_{Bx}}{m_k g + R_{By}} = \frac{k_{\Pi} v_B^2 \cos \beta}{g + k_{\Pi} v_B^2 \sin \beta},$$

где R_{Bx} , R_{By} – составляющие сопротивления воздушного потока;

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

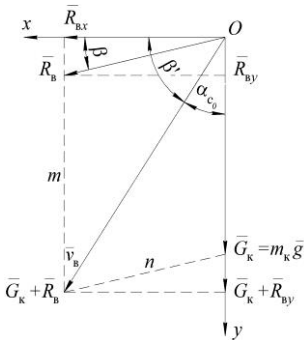


Рисунок 2 – Отклонение скорости от вертикали при $v_{отн} = v_B$

С приближением относительной скорости к вертикальному направлению, когда $v_{отн y} \rightarrow v_{отн.кр}$ (относительной критической скорости) и $v_{отн x} \rightarrow 0$

$$\operatorname{tg} \alpha_{cкр} = \frac{-v_B \cos \beta'}{v_B \sin \beta' - v_{отн.кр}} = \frac{-k_{\Pi} v_B^2 \cos \beta'}{k_{\Pi} v_B^2 \sin \beta' - g}. \quad (1)$$

Из полученных формул следует, что отклонение движения капли от вертикали изменяется вместе с коэффициентом парусности капли, скоростью воздушного потока и с изменением угла α_c .

При движении капли от вертикали влево формула (1) примет вид

$$\operatorname{tg} \alpha_{cкр} = \frac{v_B \cos \beta'}{v_B \sin \beta' - v_{отн.кр}} = \frac{k_{\Pi} v_B^2 \cos \beta'}{k_{\Pi} v_B^2 \sin \beta' - g}.$$

Когда капля летит вертикально вниз, то ее коэффициент парусности $k_{\Pi} = 0$, скорость потока воздуха $v_B = 0$; $\beta' = 90^\circ$.

Для создания оптимальных условий обработки угол факела распыла распылителей должен быть согласован с углом факела распространения воздушного потока. Картину истечения воздуха из выпускных насадков воздухораспределительной системы можно условно разделить на три зоны: первая складывается из движения отдельных независимых струй, во второй происходит сближение струй и перемешивание пограничных слоев, т.е. сглаживание поля

скоростей, и третья – совместное движение струй.

Расстояние h_1 , соответствующее зоне двойного перекрытия факелов распределения воздуха, определяется по формуле:

$$h_1 = \frac{b_1 - 0,5d_H}{\operatorname{tg}\gamma},$$

где b_1 – межсоевое расстояние между выпускными отверстиями воздухораспределительных рукавов, м;

d_H – диаметр выпускных отверстий, м;

γ – угол бокового расширения воздушной струи, град.

Основным условием, которое должно соблюдаться при формировании единого воздушно-капельного потока является слияния факелов распыла рядом расположенных распылителей [4]. Расстояние h_2 , на котором происходит это слияние, соответствует второй зоне и определяется по формуле:

$$h_2 = \frac{0,5b_2}{\operatorname{tg}\frac{\alpha_p}{2}},$$

где b_2 – межсоевое расстояние между распылителями, м;

α_p – угол при вершине факела распыла распылителя, град.

Чтобы найти направление и скорость слившихся потоков, необходимо на векторах их количеств движения построить параллелограмм. Его диагональ E определит направление слившихся потоков, а ее величину определим по формуле:

$$E = m_{\text{ВП}}v_{\text{В0}} \cos\beta + m_{\text{ВП}}v_{\text{К0}} \cos\theta,$$

где $m_{\text{ВП}}$ – масса воздушного потока, кг;

$$m_{\text{ВП}} = \rho_{\text{В}}Q_{\text{Н}}n_{\text{Н}}t,$$

$Q_{\text{Н}}$ – объемный расход воздуха через одно выпускное отверстие, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; $Q_{\text{Н}} = \mu \frac{\pi d_{\text{Н}}^2}{4} v_{\text{В0}}$.

$n_{\text{Н}}$ – количество выпускных отверстий, шт.;

t – время, с;

$m_{\text{вкп}}$ – масса воздушно-капельного потока, кг;

$$m_{\text{вкп}} = \rho_{\text{ж}} Q_{\text{ж}} n_{\text{р}} t,$$

$n_{\text{р}}$ – количество распылителей, шт;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность рабочей жидкости, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

$Q_{\text{ж}}$ – расход жидкости через распылитель, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$;

$v_{\text{к0}}$ – скорость вылета капель из распылителя, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;

β – угол, характеризующий отклонение воздушного потока от вертикали град.;

θ – угол, характеризующий отклонение воздушно-капельного потока от вертикали, град.

Тогда средняя скорость единого потока определяется по формуле:

$$v_{\text{рез}} = \frac{m_{\text{вп}} v_{\text{в0}} \cos \beta + m_{\text{вкп}} v_{\text{к0}} \cos \theta}{m_{\text{вп}} + m_{\text{вкп}}}.$$

После необходимых преобразований получаем:

$$v_{\text{рез}} = \frac{\rho_{\text{в}} \mu \frac{\pi d_{\text{н}}^2}{4} v_{\text{в0}}^2 n_{\text{н}} \cos \beta + \rho_{\text{ж}} Q_{\text{ж}} n_{\text{р}} v_{\text{к0}} \cos \theta}{\rho_{\text{в}} \mu \frac{\pi d_{\text{н}}^2}{4} v_{\text{в0}} n_{\text{н}} + \rho_{\text{ж}} Q_{\text{ж}} n_{\text{р}}}, \quad (2)$$

где $v_{\text{в0}}$ – начальная скорость истечения воздуха из выпускных отверстий, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Единый воздушно-капельный поток от зоны формирования до встречи с растительным слоем преодолевает определенное расстояние y_1 . Его скорость у входа в растительный слой определяется по формуле:

$$v_{y_1} = \frac{0,48 v_{\text{рез}}}{\frac{a^* y_1}{d_{\text{н}}} + 0,145}. \quad (3)$$

Формула (3) корректна в идеальных условиях. Для реальных условий она примет следующий вид:

$$v_{y_1} = \sqrt{\left(\frac{0,73gy_1(t_o - t_{\text{окр}})}{v_{\text{рез}}T_{\text{окр}} \cos \alpha}\right)^2 + \left(\frac{0,48v_{\text{рез}}}{\frac{a^* y_1}{d_n \cos \alpha} + 0,145}\right)^2}, \quad (4)$$

где t_o – температура на оси струи, °С;

$t_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды, °С;

$T_{\text{окр}}$ – абсолютная температура окружающей среды, град. абс.;

α – угол, характеризующий отклонение направления единого потока от прямолинейного движения, град.

Из условия шевеления и поворота листьев воздушным потоком без их повреждения определим необходимую скорость вхождения потока в растительный слой [4]:

$$v_{y_1} = \frac{v_{y_2}}{e^{-\xi(y-y_1)}} = \frac{v_{y_2}}{e^{-\xi\Delta D}}, \quad (5)$$

где v_{y_2} – скорость потока в нижней зоне растительного слоя, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;

ξ – коэффициент проницаемости, м^{-1} ;

ΔD – толщина растительного слоя, м .

При этом должны выполняться следующие условия: $v_{y_2} > v_{\text{min эфф}}$, $v_{y_1} \leq v_{\text{max доп}}$ ($v_{\text{max доп}}$ – максимально допустимая скорость вхождения потока в растительный слой, $v_{\text{min эфф}}$ – минимальная эффективная скорость). Кроме того, скорость вхождения единого воздушно-капельного потока в растительный слой должна быть больше скорости естественного ветра ($v_{y_1} > v_a$).

С учетом формулы (5), зависимость (2) примет вид:

$$v_{\text{рез}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{a^* y_1}{d_n \cos \alpha} + 0,145\right)^2}{0,46} \left[\left(\frac{v_{y_2}}{e^{-\xi\Delta D}}\right)^2 + \sqrt{\left(\frac{v_{y_2}}{e^{-\xi\Delta D}}\right)^4 - \frac{47,16y_1^2(t_o - t_{\text{окр}})^2}{\left(\frac{a^* y_1}{d_n \cos \alpha} + 0,145\right)^2 T_{\text{окр}}^2 \cos^2 \alpha}}\right]}.$$

Зная результирующую скорость единого воздушно-капельного

потока, можно определить начальную скорость истечения воздуха из выпускных отверстий воздухораспределительных рукавов:

$$v_0 = 0,5v_{рез} + 0,5 \sqrt{v_{рез}^2 + \frac{4\rho_{ж}Q_{ж}n_p|v_{к0} \cos\theta - v_{рез}}{\rho_{в\mu} \frac{\pi d_H^2}{4} n_H \cos\beta}}$$

Зная начальную скорость выхода воздуха из отверстия, можно рассчитать параметры воздухораспределительных рукавов опрыскивателей объемного действия.

Заключение

На основании теоретических исследований взаимодействия направленного воздушного потока с воздушно-капельным обоснованы кинематические и конструктивные параметры воздухораспределительной и гидравлической систем опрыскивателей объемного действия. Предложены математические зависимости для определения необходимой начальной скорости воздушного потока, учитывающие взаимосвязь состояния обрабатываемого объекта и параметров воздухораспределительной и гидравлической систем.

Список использованной литературы

1. Степук Л.Я., Литвинова Т.П., Цехова Т.В. Состояние и перспективы механизации химзащитных работ // Механизация и электрификация сельского хозяйства: Межведомственный тематический сборник / ГП «БелНИИМСХ»; Под общ. ред. И.С. Нагорского. – Мн., 1998. – Вып. 36. – С. 86–96.
2. Гладков Н.Г. Зерноочистительные машины: Конструирование, расчет, проектирование и эксплуатация. – М.: Машгиз, 1991. – 367 с.
3. Литвинова Т.П. К вопросу эффективной работы раздающего воздуховода объемного опрыскивателя // Проблемы организации управления в современном обществе: теория и практика: Материалы Респ. науч.-практ. конф. / ГП «БелНИИМСХ». – Мн., 1999. – С. 239–241.
4. Лысов А.К. Средства механизации и методы, улучшающие технологию применения пестицидов в защищенном грунте: Дис. канд. техн. наук: 05.20.01. – Ленинград–Пушкин, 1983. – 204 с.