

Османов Э. Ш.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНО-ЖИДКОСТНОГО ПОТОКА НА ОПРЫСКИВАТЕЛЕ ДЛЯ БОРЬБЫ С СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ НА МНОГОЛЕТНИХ НАСАЖДЕНИЯХ

Аннотация. В статье теоретически обосновано движение капли жидкости внутри рабочей камеры опрыскивателя под действием силы тяжести и силы давления осаждающего воздушного потока. Теоретически обоснована связь между такими параметрами работы в рабочей зоне опрыскивателя, как угол факела распыла распылителя, высота установки распылителя, скорости воздушного потока и капли рабочей жидкости. Выведенная в работе зависимость показывает, что капля после вылета из распылителя будет двигаться по параболе, геометрические параметры которой определяются скоростью вылета капли, углом факела распыла и скоростью осаждающего воздушного потока.

Ключевые слова: гербицид, опрыскиватель, воздушный поток, сорняк.

Османов Е. Ш.

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ПОВІТРЯНО-РІДИННОГО ПОТОКУ НА ОБПРИСКУВАЧІ ДЛЯ БОРОТЬБИ З БУР'ЯНАМИ НА БАГАТОРІЧНИХ НАСАДЖЕННЯХ

Анотація. У статті теоретично обґрунтовано рух краплі рідини всередині робочої камери обприскувача під дією сили тяжіння й сили тиску осаджувального повітряного потоку. Теоретично обґрунтовано зв'язок між такими параметрами роботи в робочій зоні обприскувача, як кут факела розпилювання розпилювача, висота установки розпилювача, швидкості повітряного потоку та краплі робочої рідини. Виведена в роботі залежність показує, що крапля після вильоту з розпилювача рухатиметься по параболі, геометричні параметри якої визначаються швидкістю вильоту краплі, кутом факела розпилювання та швидкістю осаджувального повітряного потоку.

Ключові слова: гербицид, обприскувач, повітряний потік, бур'ян.

Osmanov E. Sh.

THEORETICAL BASIS OF INTERACTION OF AIR-LIQUID SPRAYER FLOW TO FIGHT WEEDS ON PERENNIAL PLANTINGS

Summary. The article theoretically substantiated the movement of a liquid drop within the sprayer working chamber under the action of gravity and the pressure of the precipitant airflow. The link between such working parameters in the working area of the sprayer as the angle of the spray atomizer, installation height, the air flow rate of the working fluid and working liquid drops is theoretically substantiated. The dependence derived in the work shows that after departing from the spray the drop will be a parabola, the geometric parameters of which determine the rate of drops departure, spray angle and the speed of the precipitating air flow. The dependence of the rate of air flow, escape velocity of drops from the spray, spray half-angle and the height of the installation spray which help to simplify the selection of technological parameters of working bodies in the working area of the sprayer for weed control are described.

Key words: herbicide sprayer, air flow, weed.

Постановка проблемы. В технологическом процессе возделывания винограда особое место занимают операции по защите виноградных насаждений от вредителей, болезней и сорной растительности.

При химической защите важную роль играет борьба с сорняками. При наличии на 1 м² 100–200 сорняков с 1 га почвы выносятся в среднем 100–140 кг калия. На образование 1 кг сухого вещества расходуется 250–1000 л воды, что свидетельствует об активном истощении плодородного почвенного слоя.

В связи с этим исследование, направленные на создание приспособлений к опрыскивателю для внесения гербицидов в садах и виноградниках с меньшим расходом ядохимикатов, обеспечивающих равномерную обработку междурядного и междустового пространства, являются актуальными, имеют важное народнохозяйственное значение [1].

Цель работы – теоретически обосновать и связать между собой угол факела распылителя, высоту установки распылителя, скорости воздушного потока и капли рабочей жидкости.

Анализ литературы. Исследованию технологических процессов борьбы с сорной растительностью посвящены работы В. Ш. Ладонина, П. И. Войтова, Г. С. Груздева, С. С. Воложанинова, П. А. Догоды. Изучением турбулентных струй занимались такие ученые, как В. Ф. Дунский, Н. В. Никитин, Г. Н. Абрамович, П. А. Догода, С. С. Воложанинов.

Изложение основного материала. Одним из наиболее эффективных средств уничтожения сорной растительности является обработка поверхности сорных растений, произрастающих в междурядьях и приствольных полосах, гербицидами. Принцип внесения гербицидов прост. Капля химического препарата, попадая на растение, образует очаг поражения. Традиционные методы – чем больше капель, тем больше попаданий в цель – имеют существенный недостаток. Для того чтобы получить большее количество капель, необходимо увеличивать количество распыляемой жидкости на единицу площади. Это порождает ряд технических проблем и неудобств:

- увеличение частоты подвоза рабочего раствора (в семь раз и более);
- увеличение затрат, связанных с использованием дополнительной техники;
- увеличение объема технологических простоев;
- увеличение количества персонала, задействованного на химических работах.

Исследователи приходят к тому, что необходимо увеличивать количество капель путем уменьшения размера самой капли. При этом объем химического препарата, растворенного в объеме рабочей жидкости, остается постоянным [2]. В этом случае применение воздушно-жидкостного потока позволило бы усовершенствовать процесс внесения гербицидов. Сжатый воздух через щель в нижней части рукава должен податься в зону действия жидкостных распылителей. Количество и скорость воздуха позволит не только препятствовать снесению препарата, но и раздвигать густые насаждения растений, и таким образом распылитель обработает труднодоступную для обычных опрыскивателей внутреннюю сторону листьев.

Во многих странах ведутся исследования, показывающие, что при опрыскивании с использованием принудительного осаждения капель воздушным потоком на растениях оседает больше капель рабочего раствора, чем при обычном опрыскивании.

Рассеивание жидких струй основано на законах турбулентного перемешивания газожидкостной среды. Характер распределения потока капель в воздушной струе изучен недостаточно, это объясняется сложностью физических процессов, сопровождающих перемешивание распы-

ленной жидкости с окружающей средой, и трудностью построения расчетной модели.

В большинстве случаев распылитель устанавливается так, чтобы струя была направлена вертикально вниз. Исследование механизма взаимодействия направленного вертикально вниз воздушного потока с воздушно-капельным потоком, образующимся при работе распылителя, позволит определить взаимосвязь скорости осаждающего воздушного потока, скорости вылета капли из сопла распылителя, высоту установки распылителя и угол факела распыла распылителя.

При исследовании данного процесса примем, что факел распыла симметричен относительно продольной оси распылителя и рабочая жидкость распределена равномерно внутри факела распыла. В таком случае необходимо исследовать полет только крайних капель. Изучением движения капли жидкости применительно к ленточному внесению пестицида занимался О. В. Гордеенко [3]. Однако в случае использования предлагаемого нами опрыскивателя (рис. 1) на каплю жидкости, кроме силы тяжести, действует еще и сила давления воздушного потока.



Рис. 1. Лабораторно-полевая экспериментальная установка опрыскивателя навесного гербицидного виноградикового.

Применительно к процессам, происходящим в рабочей зоне опрыскивателя, задача о движении капли жидкости в вертикальном нисходящем воздушном потоке будет иметь следующий вид. Пусть имеется вертикальный воздушный поток, движущийся со скоростью V_v , и распылитель, установленный на высоте H над центром транспортера. Из распылителя вылетает капля жидкости со скоростью V под углом φ к вертикали. Необходимо определить, каковы должны быть скорость воздушного потока V_v , скорость вылета капли из распылителя V , половина угла факела распыла φ и высота установки распылителя H , чтобы капля достигла объекта обработки не далее края защитного щита штанги, то есть в точке А. Ширина защитного щитка равна $2B$ (рис. 2).

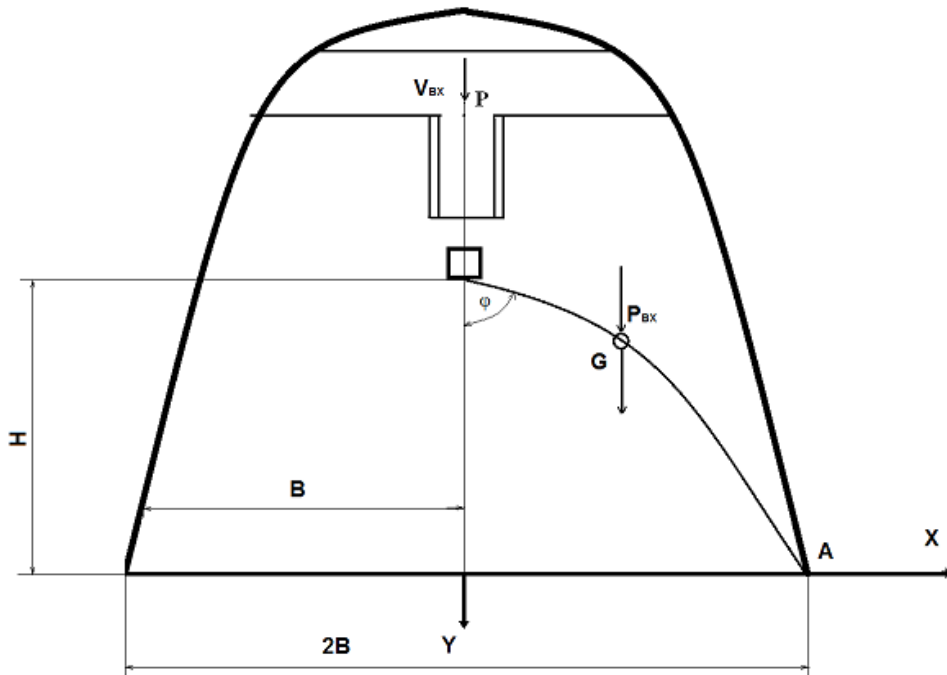


Рис. 2. Схема к определению параметров работы опрыскивателя в рабочей зоне.

Из литературы известно, что ускорение, сообщаемое капле воздушным потоком, определяется следующим образом [3]:

$$a = \frac{c \cdot \rho_v \cdot S_k \cdot V_v^2}{m}, \quad (1)$$

где c – коэффициент сопротивления воздуха;
 S_k – миделево сечение капли, m^2 ;
 m – масса капли, kg ;
 ρ_v – плотность воздуха, kg/m^3 ;
 V_v – скорость воздушного потока, m/s .

Коэффициент сопротивления воздуха зависит от числа Рейнольдса и определяется формулой [4]:

$$c = \frac{24}{Re} + \frac{2,5}{\sqrt[4]{Re}}, \quad (2)$$

где $Re = \frac{V_v \cdot d_k}{\nu}$ – число Рейнольдса;

d_k – диаметр капли, m ;

ν – кинематическая вязкость воздуха ($\nu = 1,45 \times 10^{-5} m^2/s$ при нормальных условиях).

Для упрощения использования в дальнейшем формулу (1) приведем к виду:

$$a = k_n \cdot V^2, \quad (3)$$

где k_n – коэффициент парусности.

При таких условиях капля рабочей жидкости в рабочей зоне опрыскивателя осажается под действием силы тяжести и силы давления воздушного потока:

$$F = m \cdot g + m \cdot a, \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения, m/s^2 .

Далее неподвижную систему координат XOY совмещаем с распылителем, ось OY при этом направим вертикально вниз. Также для исследования движения капли в заданных неподвижных

осях возникает необходимость использования подвижной системы координат τMn , при этом ось $M\tau$ будет направлена по касательной к траектории движения в сторону возрастания дуговой координаты OM , а ось Mn – по радиусу кривизны траектории.

Дифференциальные уравнения движения капли в проекциях на естественные оси будут иметь следующий вид. Для оси $M\tau$ дифференциальное уравнение примет вид:

$$m \cdot \frac{dV'}{dt} = (m \cdot g + m \cdot a) \cdot \cos \varphi, \quad (5)$$

где $V' = V + a \cdot t \cdot \cos \varphi$ – скорость, которую приобретает капля из-за суммарного воздействия на нее воздушного потока силы тяжести.

Для оси Mn дифференциальное уравнение запишем в следующем виде:

$$m \cdot \frac{V'^2}{\rho} = (m \cdot g + m \cdot a) \cdot \sin \varphi. \quad (6)$$

После деления левых и правых частей уравнений (5) и (6) на массу капли m они примут вид:

$$\frac{dV'}{dt} = (g + a) \cdot \cos \varphi, \quad (7)$$

$$\frac{V'^2}{\rho} = (g + a) \cdot \sin \varphi. \quad (8)$$

Кривизну траектории точки можно выразить через дуговую координату:

$$\frac{1}{\rho} = -\frac{d\varphi}{ds} = -\frac{1}{V'} \cdot \frac{d\varphi}{dt}, \quad (9)$$

где ds – изменение дуговой координаты на траектории движения точки за время dt ;
 $d\varphi$ – угол, на который изменится положение точки за время dt , при движении ее по дуге ds .

Подставим выражение (9) в уравнение (7) и, после преобразований, придем к уравнению:

$$V' \cdot \frac{d\varphi}{dt} = -(g+a) \cdot \sin \varphi. \quad (10)$$

Решая уравнение (10) относительно dt , получим:

$$dt = -\frac{V' \cdot d\varphi}{(g+a) \cdot \sin \varphi}. \quad (11)$$

Зная время движения капли, можно получить выражение для определения скорости.

Подставим уравнение (11) в уравнение (7) и упростим:

$$dV' = (g+a) \cdot \cos \varphi \cdot \left(-\frac{V' \cdot d\varphi}{(g+a) \cdot \sin \varphi}\right). \quad (12)$$

Уравнение (12) после разделения переменных приводится к виду:

$$\frac{dV'}{V'} = -\operatorname{ctg} \varphi \cdot d\varphi. \quad (13)$$

Выражение (13) можно интегрировать с учетом начальных условий ($t = 0$; $V' = V$; $\varphi = \varphi_0$) и получить следующее уравнение:

$$\ln|V'| - \ln|V_0| = -\ln|\sin \varphi| + \ln|\sin \varphi_0|. \quad (14)$$

Используя свойства логарифмов и решив выражение (14) относительно скорости движения капли, можно получить:

$$V' = V_0 \cdot \frac{\sin \varphi_0}{\sin \varphi}. \quad (15)$$

Уравнение (15) является законом изменения скорости капли, двигающейся под действием силы тяжести и силы давления осаждающего воздушного потока.

Определим траекторию движения капли, для чего исследуем ее движение относительно неподвижной системы координат XOY :

$$\frac{dx}{dt} = V_x = V' \cdot \sin \varphi = V_0 \cdot \sin \varphi_0. \quad (16)$$

Проинтегрировав выражения (16) с учетом начальных условий ($t = 0$; $x_0 = 0$), можно получить закон движения капли вдоль оси OX :

$$x = V_0 \cdot \sin \varphi_0 \cdot t. \quad (17)$$

Если рассматривать уравнение движения капли вдоль оси OY , то получим следующее:

$$\frac{dV_y}{dt} = g+a. \quad (18)$$

Проинтегрировав выражение (18) с учетом начальных условий, получим:

$$V_y = \frac{dy}{dt} = (g+a) \cdot t + V_0 \cdot \cos \varphi_0, \quad (19)$$

Разделив переменные и проинтегрировав выражение (19), можно получить закон движения капли вдоль оси OY под действием осаждающего воздушного потока и силы тяжести:

$$y = \frac{(g+a) \cdot t^2}{2} + V_0 \cdot t \cdot \cos \varphi_0. \quad (20)$$

С учетом преобразований выражение (20) представляет собой обыкновенное квадратичное уравнение. После решения его относительно времени падения капли с заданной высоты получим:

$$t = \frac{-V_0 \cdot \cos \varphi_0 + \sqrt{V_0^2 \cdot \cos^2 \varphi_0 + 2 \cdot (g+a) \cdot y}}{g+a}. \quad (21)$$

Уравнения (17), (20) и (21) определяют положение капли на траектории в любой момент времени. Исключив из (17) и (20) время t , получим уравнение траектории капли:

$$y = \frac{g+a}{2 \cdot V_0^2 \cdot \sin^2 \varphi_0} \cdot x^2 + x \cdot \operatorname{ctg} \varphi_0, \quad (22)$$

После упрощений и преобразований выражения (22) оно примет вид:

$$y = \frac{(g+a) \cdot x^2}{2 \cdot V_0^2} \cdot (1 + \operatorname{ctg}^2 \varphi_0) + x \cdot \operatorname{ctg} \varphi_0. \quad (23)$$

Анализ уравнения (22) показывает, что капля после вылета из распылителя будет двигаться по параболе, геометрические параметры которой определяются скоростью вылета капли, углом факела распыла и скоростью осаждающего воздушного потока.

Для определения значения угла φ_0 , при котором капля жидкости не пересечет точку на краю защитного кожуха с координатами $x = B$ и $y = H$, необходимо подставить значение данных координат в выражение (23), в результате чего получим:

$$y = \frac{g+a}{2 \cdot V_0^2} \cdot B^2 + \frac{(g+a) \cdot B^2}{2 \cdot V_0^2} \cdot \operatorname{ctg}^2 \varphi_0 + B \cdot \operatorname{ctg} \varphi_0. \quad (24)$$

Выражение (24) является квадратичным уравнением. После решения его относительно параметра $\operatorname{ctg} \varphi_0$ оно примет вид:

$$\operatorname{ctg} \varphi_0 = \frac{-V_0^2 + \sqrt{V_0^4 - (g+a) \cdot ((g+a) \cdot B^2 - 2 \cdot H \cdot V_0^2)}}{(g+a) \cdot B}, \quad (25)$$

где B – половина ширины защитного кожуха, м; H – высота установки распылителя над уровнем почвы, м.

Выражение (25) будет иметь смысл только в том случае, если выражение под корнем будет больше нуля, т. е.:

$$2 \cdot H \cdot V_0^2 > (g+a) \cdot B^2. \quad (26)$$

С учетом того, что высота установки распылителя и ширина рабочего кожуха являются технологическими параметрами, из выражения (26) нетрудно установить минимальную скорость вылета капли из сопла распылителя:

$$V_{0\min} \geq \sqrt{\frac{g+a}{2 \cdot H}} \cdot B. \quad (27)$$

Рассмотрев $\text{ctg}\varphi_0$ в уравнении (24) как обобщенный параметр семейства кривых, найдем уравнение, огибающее это семейство. Перепишем уравнение (24) в следующей форме:

$$-y + x \cdot z + \frac{(g+a)}{2 \cdot V_0^2} \cdot (1+z^2) \cdot x^2 = 0, \quad (28)$$

где $z = \text{ctg}\varphi_0$.

Из уравнения (28) найдем максимальное значение угла выброса капли из сопла распылителя при заданных параметрах ($y = H = \text{const}$; $V_0 = V_{0\text{max}}$; $z = \text{ctg}\varphi_0$).

Продифференцировав уравнение (28) по параметру z и приравняв нулю отношение dx/dz , получим, что z имеет максимум, что видно из отрицательного значения второй производной:

$$\frac{dx}{dz} = \frac{x \cdot (V_0^2 + (g+a) \cdot x \cdot z)}{(g+a) \cdot (1+z^2) + z \cdot V_0^2} = 0. \quad (29)$$

Выражение (29) равно нулю, если числитель равен нулю. Это возможно в случае, если $x = 0$, что соответствует падению капли по вертикали. Приравняв нулю выражение, заключенное в скобки в числителе в (29), и решив его относительно « z », получим:

$$z_{\text{max}} = \text{ctg}\varphi_{0\text{max}} = \frac{-V_0}{(g+a) \cdot x}. \quad (30)$$

После подстановки выражения (30) в уравнение (24) получим уравнение параболы, по которой движется крайняя капля:

$$y = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{(g+a) \cdot x^2}{V_0^2} - \frac{V_0^2}{g+a} \right). \quad (31)$$

Из уравнения (31) находим максимальную скорость вылета капли жидкости из сопла, при которой она не перелетит через край защитного кожуха:

$$V_0^{\text{max}} \leq \sqrt{(g+a) \cdot \left(H + \sqrt{H^2 + B^2} \right)}. \quad (32)$$

Из уравнений (27) и (32) можно получить допустимые пределы изменения скорости вылета

капли из сопла распылителя, при которой они не покинут зону обработки:

$$\sqrt{\frac{g+a}{2 \cdot H}} \cdot B \leq V_0 \leq \sqrt{(g+a) \cdot \left(H + \sqrt{H^2 + B^2} \right)}. \quad (33)$$

Неравенство (32) определяет зависимость между скоростью вылета капли из распылителя, шириной защитного кожуха, высотой установки распылителя и ускорением, придаваемым капле воздушным потоком, а уравнение (25) позволяет определить половину угла факела распыла распылителя.

Выводы. Описанные зависимости скорости воздушного потока V_b , скорости вылета капли из распылителя V , половина угла факела распыла φ и высота установки распылителя H позволят упростить подбор технологических параметров рабочих органов в рабочей зоне опрыскивателя для борьбы с сорной растительностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обоснование параметров воздушно-жидкостного потока при обработке сорных растений в междурядьях виноградников / [П. А. Догота, А. В. Степанов, И. В. Соболевский, Э. Ш. Османов] // Магарац. Виноградарство и виноделие : научно-производственный журнал. – 2010. – № 3. – С. 12–14.
2. Гассен Д. Наука пестицидного внесения [Электронный ресурс] / Д. Гассен, Ф. Гессен // Зерно : Всеукраинский журнал современного агропромышленника. – 2007. – № 10, октябрь. – Режим доступа : <http://www.zerno-ua.com>.
3. Гордеенко О. В. Обоснование параметров распылителя при совмещении операции по уходу за посевами овощных культур на гребнях / О. В. Гордеенко // Моделирование сельскохозяйственных процессов и машин : материалы международной научн.-практ. конф. / Белорусский государственный аграрный технический университет. – Минск, 2002. – Ч. 1. – С. 36–38.
4. Лышевский А. С. Изменение коэффициента сопротивления жидких капель / А. С. Лышевский // Известия высших учебных заведений. – 1964. – № 5. – С. 28–31.