

6. Закономерности накопления повторных осадков почвы при воздействии ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники / И.Н. Шило, Н.Н. Романюк, А.Н. Орда, В.А. Шклярович, А.С. Воробей // Агропанорама. – 2014. – № 6. – С.2–7.

7. Влияние числа осей колесных транспортно-тяговых машин на сопротивление качению / И.Н.Шило, Н.Н.Романюк, А.Н.Орда, В.Г.Кушнир // Тракторы и сельхозмашины. – 2019. – №1 – С. 41–46.

Summary. Relationships were obtained that make it possible to determine normal soil reactions to tractor propulsors depending on the forces acting on the arable machine-tractor unit, as well as its structural and technological parameters.

УДК 631.348:632.95

Крук И.С., кандидат технических наук, доцент;

Ракова Н.Л., кандидат технических наук, доцент;

Пантелеева Ж.И., кандидат физико-математических наук;

Анищенко А.А., ассистент; **Зорин Г.А.**, студент

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

СНИЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОТЕРЬ ПЕСТИЦИДОВ

Аннотация. В статье рассмотрен способ снижения потерь пестицидов (сноса частиц ветром от обрабатываемого объекта) путем изменения угла наклона форсунки к горизонтальной оси в сторону ветру.

Abstract. The article considers a way to reduce pesticide losses (wind removal of particles from the treated object) by changing the angle of inclination of the nozzle to the horizontal axis towards the wind.

Ключевые слова. Производственные и непроизводственные потери пестицидов, снос ветром, ветрозащитные устройства, угол наклона форсунки, модель движения капель.

Keywords. Industrial and non-industrial losses of pesticides, wind drift, wind protection devices, nozzle angle, droplet movement model.

Внесение средств защиты растений методом опрыскивания, ввиду воздействия многочисленных факторов, таких как: условия окружающей атмосферы, техническое состояние узлов и агрегатов опрыскивателей, а также человеческого фактора, неизбежно сопровождается потерями: экономического (затраты на закупку новых партий пестицидов, утилизацию испорченных, ликвидацию последствий загрязнения), экологического (загрязнение почвы, воды, воздуха, гибель растений и животных, нарушение биологического разнообразия, угроза здоровью человека (попадание пестицидов в питьевую воду, продукты питания, в организм человека при вдыхании паров или через кожу, что может привести к отравлениям, заболеваниям и другим негативным последствиям)) характеров. В источниках

литературы, описывающих проблему потерь пестицидов, можно встретить такие понятия, как «непроизводственные» и «производственные» потери пестицидов.

К непроизводственным потерям можно отнести потери, связанные с конструкцией технических средств, и возникающего со временем износа их узлов и агрегатов: рукавов, вентилях, насосов и т.п., вплоть до их отказов.

Производственные (операционные) потери представляют собой потери во время проведения непосредственно самой технологической операции по применению средств химической защиты растений, которые в свою очередь могут возникать при подготовке рабочего раствора, его заправках и непосредственного внесения на растения (наиболее значительные). Такие потери в определенной степени можно считать неизбежными, однако, развитие технологий и технических средств за последние десятилетия позволили значительно минимизировать величину таких потерь.

Во время подготовки рабочего раствора, часть пестицида может остаться на стенках самой тары, затрудняя его полное извлечение, а также произойти его утечка при опорожнении или ополаскивании самой тары. При заправке емкостей опрыскивателей, а также перевозке растворов в них, могут наблюдаться утечки из соединений различных гидравлических узлов, шлангов, насосов, а также переливы через край емкостей.

Во время непосредственного внесения растворов пестицидов потери могут возникать вследствие: сноса капель (перенос капель ветром), испарения с обработанной поверхности (особенно летучих препаратов), неравномерности распределения рабочей жидкости вдоль линии движения опрыскивателя и по ширине его штанги, скатывания крупных капель с обрабатываемой поверхности на почву, огрехов и перекрытия соседних проходов [1, 2].

При установке штанги с гидравлическими распылителями на высоте 0,5 м над обрабатываемой поверхностью, влажности воздуха 65–70 %, температуре воздуха 20 °С и скорости ветра 2 м/с от 30 до 40 % капель рабочего раствора уносится за пределы обрабатываемого объекта. Кроме того, капли диаметром 80 мкм при скорости ветра 2 м/с сносятся на 5,9 м, а при 4 м/с – уже на 14,7 м. Капли диаметром 200 мкм соответственно на 1,4 и 3,5 м, а капли диаметром 400 мкм – на 0,6 м и 1,6 м соответственно [3].

Использование воды в качестве растворителя активного вещества препарата приводит к тому, что капли диаметром 100 мкм при температуре 32 °С, влажности воздуха 46 % и скорости ветра 1–2 м/с теряют от испарения 50 % массы [3]. Кроме этого, следует отметить особую сложность проведения экспериментальных исследований в постоянно изменяющихся условиях и поддержании постоянных параметров окружающей среды.

Неравномерность распределения рабочей жидкости вдоль штанги опрыскивателя характеризуется коэффициентом вариации. На каждый про-

цент неравномерности распределения рабочей жидкости приходится 0,4 % (по объему) его непроизводительного использования, то есть если опрыскиватель распределяет рабочую жидкость с коэффициентом вариации 20 %, то около 8 % раствора пестицида теряется. При изменении высоты штанги относительно оптимального значения всего на 10 см, расход рабочей жидкости в зоне перекрытия увеличивается на 40 %, а в остальной зоне снижается на 30 % [4].

Капли большего диаметра меньше подвержены сносу, но при этом обладают меньшей удерживаемостью на обрабатываемых поверхностях растений, и, скатываясь на почву, снижают эффективность химической защиты.

К основным мероприятиям, направленным на снижение производственных потерь пестицидов можно отнести: применение современных распылителей с низким уровнем сноса, применение электронных систем контроля и управления процессом опрыскивания (технологии точного земледелия), применение электростатического опрыскивания и магнитных технологий, а также применение различного рода ветрозащитных устройств, среди которых перспективным является разработка комбинированных ветрозащитных устройств. В дальнейшем, это направление привело к гипотезе, согласно которой изменение такого технологического параметра как угол наклона распылителя способен компенсировать величину сносимого пестицида от обрабатываемого объекта, а также повысить равномерность внесения рабочего раствора [5].

В связи с этим для прогнозирования картины распределения капель раствора пестицида при различных атмосферных условиях необходимо смоделировать движения капель в воздушной среде, способных изменить угол вылета между вектором начальной скорости и горизонтальной осью (рис. 1а, б) [6, 7].

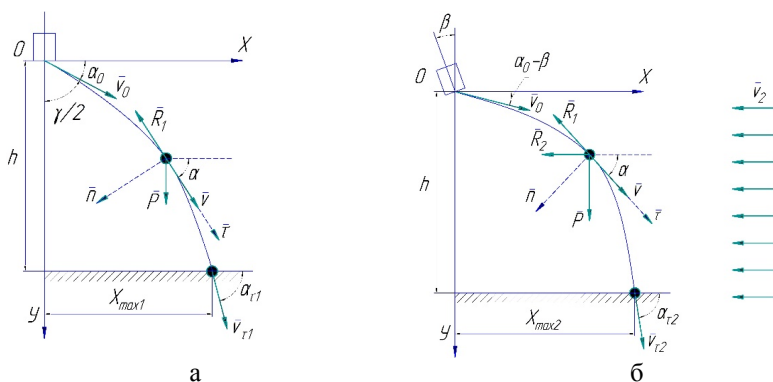


Рисунок 1 - Схемы к определению кинематических параметров падения капли неподвижного (а), и подвижного (б) распылителей

Решим задачу на определение координаты дальности полета капли в зависимости от угла наклона распылителя. Капли раствора пестицидов вылетают из распылителя, угол при вершине факела распыла который равен γ (в задаче половина угла факела $\gamma/2$). В нашем случае начальный угол вылета капли α_0 связан с углом $\gamma/2$ следующим соотношением

$\gamma/2 = 90^\circ - \alpha$. Составим дифференциальное уравнение движение для случая, когда капля вылетает из форсунки с начальной скоростью v_0 , направленной под углом α_0 к горизонтали, без учета влияния ветра (рис. 1а).

В данном случае на каплю действуют: сила тяжести $\overline{P} = m\overline{g}$, сила сопротивления неподвижного воздуха, пропорциональная квадрату скорости $\overline{R}_1 = 1/2 C \rho S v^2$, C – аэродинамический коэффициент (для шара в условиях двухфазного турбулизованного потока $C = 0,5$); S – площадь миделевого сечения капли; v – скорость частицы, ρ – плотность воздуха.

Запишем дифференциальное уравнение движение частицы в векторной форме:

$$m\overline{a} = \overline{P} + \overline{R}_1 \quad (1)$$

Спроецировав его на оси естественного трехгранника (оси $\overline{n}$ и $\overline{\tau}$, рис. 1а), получим:

$$m \frac{dv}{dt} = mg \sin \alpha - mgbv^2, \quad (2)$$

$$m \frac{v^2}{\rho} = mg \cos \alpha, \quad (3)$$

где $b = \left[\frac{1}{2} C \rho S \right]$, ρ – радиус кривизны траектории в данной точке

Радиус кривизны можно выразить из соотношений

$$\rho = -\frac{dl}{d\alpha} = -\frac{dl}{dt} \cdot \frac{dt}{d\alpha} = -v \frac{dt}{d\alpha} \quad (4)$$

Знак (–) потому, что $-\alpha_{r1} \leq \alpha \leq \alpha_o \leq 0$

С учетом (4) уравнение (3) принимает вид:

$$-v \frac{d\alpha}{dt} = g \cos \alpha. \quad (3^*)$$

Разделив (2) на уравнение (3*), получим:

$$\frac{dv}{d\alpha} + \operatorname{ctg} \alpha \cdot v = \frac{bv^3}{\sin \alpha} \quad (5)$$

Решая данное дифференциальное уравнение (5) получим зависимость скорости, времени, высоты и дальности полета частицы в любой момент времени от угла наклона между вектором скорости и горизонтальной осью.

Дальность полета капли $x_{\max 1}$ в зависимости от начальной скорости и угла вылета капли равна:

$$x_{\max 1} = -\frac{1}{g} \cdot \int_{\alpha_0}^{\alpha_{\tau 1}} \frac{\cos^2 \alpha d\alpha}{C_1 - 2b \sin \alpha},$$

где C_1 – постоянная интегрирования, определяемая из начальных условий $v(\alpha_0) = v_0$, α_0 – угол между вектором начальной скорости и горизонталью, $\alpha_{\tau 1}$ – угол между вектором скорости и горизонталью в момент падения капли, который определяется из уравнения:

$$h = \frac{1}{g} \cdot \int_{\alpha_0}^{\alpha_{\tau 1}} \frac{\sin \alpha \cos \alpha d\alpha}{C_1 - 2b \sin \alpha},$$

где h – высота установки распылителя над объектом обработки

Для определения координаты дальности полета частицы с учетом влияния ветра, в уравнение (1) добавим силу скоростного потока (ветра) $\overline{R_2} = 1/2 C_p S v_2^2$, где v_2 – скорость ветра:

$$m \overline{a} = \overline{P} + \overline{R_1} + \overline{R_2} \quad (6)$$

Спроецировав его на оси естественного трехгранника (оси $\overline{n}$ и $\overline{\tau}$, рис. 1б), получим уравнения:

$$m \frac{dv}{dt} = mg \sin \alpha - amg \cos \alpha - mg \varphi(v), \quad (7)$$

$$m \frac{v^2}{\rho} = mg \cos \alpha + mga \sin \alpha = mg (\cos \alpha + a \sin \alpha), \quad (8)$$

где $a = \left[\frac{1}{2} C_p S v_2^2 \right]$.

Решая систему уравнений (7) и (8), получим зависимость координаты $x_{\max 2}$ дальности полета частицы от начальной скорости и угла вылета частицы, а также от влияния ветра:

$$x_{\max 2} = -\frac{1}{g} \cdot \int_{\alpha_0 - \beta}^{\alpha_{\tau 2}} \frac{\cos \alpha (\sin \alpha + a \cos \alpha) d\alpha}{C_2 - 2b (\sin \alpha - a \cos \alpha)} \quad (9)$$

Чтобы компенсировать потери частиц от ветра, необходимо решить условие, при котором дальность полета частицы для случаев с ветром $x_{\max 1}$ и без ветра $x_{\max 2}$ были бы равны:

$$x_{\max 1} \leq x_{\max 2}$$

$$\int_{\alpha_0}^{\alpha_{r1}} \frac{\cos^2 \alpha d\alpha}{C_1 - 2b \sin \alpha} \leq \int_{\alpha_0 - \beta}^{\alpha_{r2}} \frac{\cos \alpha (\sin \alpha + a \cos \alpha) d\alpha}{C_2 - 2b (\sin \alpha - a \cos \alpha)} \quad (10)$$

Из уравнения (10) определяем значение угла β , который показывает на какую величину угла необходимо отклонить распылитель к горизонтальной оси, чтобы, чтобы компенсировать величину сноса капель ветром.

Выводы по статье. Проведенные теоретические исследования позволили обосновать методику определения оптимального угла наклона распылителя β . Установлено, что искомым параметр описывается трансцендентным уравнением (10), не имеющим аналитического решения. Дальнейшее развитие работы будет направлено на реализацию численных методов поиска корней данного уравнения с заданной степенью точности [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Список использованных источников

1. Клочков, А. В. Механизация химической защиты растений : монография / А. В. Клочков, А. Е. Маркевич. – Горки : Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2008. – 228 с.
2. Крук, И. С. 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, 2015. – 284 с.
3. Защита растений в устойчивых системах землепользования: в 4 кн. / под общ. ред. Д. Шпаара. – Минск : Орех, 2004. – Кн. 4. – 374 с.
4. Lechler. Теория и практика опрыскивания 2010. – Lechler, 2010. – 19 с.
5. Патент ВУ 24483, МПК А 01М 7/00 (2006.1). Штанговый опрыскиватель : N а 20230040 ; заявлено 08.02.23 ; опубликовано 05.01.25 / Крук И. С., Агейчик В. А., Анищенко А. А., Зубович В. Д. ; заявитель Учреждение образования "Белорусский государственный аграрный технический университет". – 4 с.
6. Севриков, В. В. Автономная автоматическая противопожарная защита промышленных сооружений. – Киев – Донецк : Вища школа. Головное изд-во, 1979. – 188 с.
7. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики : учебник для втузов / С. М. Тарг. – 20-е изд., стер. – Москва : Высшая школа, 2010. – 416 с.

Summary. The article analyzes various types of pesticide losses during crop spraying, as well as factors influencing these losses (evaporation, wind drift, uneven distribution, etc.). A mathematical model of the movement of pesticide droplets in the air is proposed and a method for determining the angle of inclination of the nozzle to compensate for wind drift is substantiated. This parameter is described by a transcendental equation that requires further numerical solution.