

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СНОСА КАПЕЛЬ РАБОЧЕГО РАСТВОРА ПЕСТИЦИДОВ ВЕТРОМ

**И.С. Крук,**

*проректор по научной работе-директор НИИМЭСХ БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**О.В. Гордеенко,**

*зав. каф. сельскохозяйственных машин БГСХА, канд. техн. наук, доцент*

**Ф.И. Назаров,**

*доцент каф. технологий и механизации животноводства и переработки  
сельскохозяйственной продукции БГАТУ*

**А.А. Тиунчик,**

*зав. каф. высшей математики БГАТУ, канд. физ.-мат. наук, доцент*

**А.А. Анищенко,**

*аспирант каф. механики материалов и деталей машин БГАТУ*

*В статье выполнен анализ способов проведения исследований влияния технологических параметров распыливающего оборудования и метеорологических условий на потери рабочего раствора пестицидов из-за сноса ветром. Обоснован выбор целевых функций и управляемых факторов для разработки соответствующих программ и методик планирования и проведения исследований в лабораторных и полевых условиях.*

*Ключевые слова: распылитель, потери пестицидов, снос капель, метеорологические условия, технологические параметры, методика исследований.*

*The article provides the analysis of research methods of the influence of technological parameters of spraying equipment and meteorological conditions on losses of pesticide working solution due to wind drift. The choice of target functions and controllable factors for the development of appropriate programs and methods of planning and conducting research in laboratory and field conditions was substantiated.*

*Key words: sprayer, pesticide losses, droplet drift, meteorological conditions, technological parameters, research methodology.*

### Введение

Эффективность применения пестицидов в растениеводстве определяется равномерностью распределения препарата по обрабатываемому объекту, характеризующейся дисперсностью распыла и густотой покрытия поверхности, которые во многом зависят от метеорологических условий и качественной работы всех систем опрыскивателя. При этом распылители должны обеспечивать качественную обработку с наименьшими потерями, к которым относятся испарение и вынос капель рабочего раствора ветром за пределы рабочей зоны опрыскивания. Величина сноса препарата оказывает существенное влияние на равномерность распределения пестицидов по ширине захвата агрегата и экологию. В процессе исследований определяются потенциальные и абсолютные потери пестицидов из-за сноса. К потенциальным потерям относится часть жидкости, которая остается во взвешенном состоянии в воздухе после прохода опрыскивателя, и может быть снесена. К абсолютным – часть жидкости, которая выносятся из зоны обра-

ботки под действием воздушных потоков и осаждаются вне целевого объекта обработки [1].

Изучению закономерностей падения капель пестицидов в неподвижной и подвижной воздушных средах посвящено большое количество исследований отечественных и зарубежных ученых: Боума Э., Джонса В.Р., Дмитрачкова В.П., Домбровски Н., Кот Т.П., Клочкова А.В., Ловкиса З.В., Маркевича А.Е., Нагорского И.С., Никитина Н.В., Нюттенса Д., Ронкина В.С., Ротенберга Ю.Ю., Сидихмеда М.М., Спиридонова Ю.Я., Степука Л.Я., Фаруга М., Шестакова В.Г., Шпаара Д. и других. Ими обоснована важность исследований качества внесения пестицидов при обработках в ветреную погоду, а также определено влияние на него различных технологических и метеорологических факторов. Однако, несмотря на многообразие проведенных исследований, проблема сноса является актуальной и в настоящее время, а полученные теоретические и практические результаты носят различный, зачастую противоречивый, характер.

В результате различных исследований отмечено, что наиболее значимыми факторами, влияющими на

процесс осаждения капель при опрыскивании, являются их размер и масса, стабильность атмосферы и скорость (вертикальная и горизонтальная составляющие) ветра [2-15]. Определено, что сносу подвержены капли размером менее 150 мкм, при этом капли размером менее 100 мкм за короткий промежуток времени приобретают горизонтальную траекторию движения и быстро испаряются [5]. Капли пестицидов диаметром менее 50 мкм остаются во взвешенном состоянии в воздухе до тех пор, пока полностью не испарятся [2]. В результате проведенных лабораторных исследований Домбровски Н. и Джонс В.Р. определили, что капли вылетают из сопел гидравлических распылителей со скоростями в диапазоне 15...25 м/с [2]. Д. Нюттенс, используя лазерную установку для исследований движения капель в факеле распыла, установил, что капли диаметром более 400 мкм имеют начальную скорость вылета 4,5...8,5 м/с, а капли диаметром менее 400 мкм – 0,5...2 м/с [2]. Сидрахмед М.М. обосновал, что скорости капель определяются типом сопла, и при их диаметрах более 70 мкм находятся в пределах 16...18 м/с, а менее – 10...12 м/с. Кроме того, им отмечено, что капли приобретают начальные скорости вылета на расстоянии 0,04 м от сопла. Следует отметить, что в большинстве проведенных исследований основное внимание акцентировалось на доминирующих вертикальных составляющих скоростей капель, которые при вылете из сопел распылителей носят трехмерный характер, а распылители устанавливаются под углом к вертикали в направлении движения опрыскивателя. Из приведенной информации очевидна большая разница между полученными результатами.

Целью данной работы является обоснование методик проведения исследований закономерностей движения капель в лабораторных и реальных условиях при изменяемых технологических параметрах распылительного оборудования и метеорологических условиях.

### Основная часть

Механизм осаждения капель рабочего раствора пестицидов на обрабатываемой поверхности сложен и многообразен (рис. 1). Жидкость, вытекающая из сопла распылителя в виде пленки [17], теряет устойчивость и распадается на капли, причиной чего служат возрастающие волновые возмущения ее поверхности, которые распространяются от сопла к периферии пленки. Время существования пленки и ее геометрические размеры зависят от конструктивных (форма, площадь сопла и тип распылителя) и технологических (рабочее давление в напорной магистрали, параметры установки распылителей) параметров распылительного оборудования. Капля, оторвавшись от выброшенной из сопла распылителя струи рабочего раствора пестицида, обладая запасом кинетической энергии, движется под действием силы тяжести и силы сопротивления среды. Величина кинетической энергии зависит от размера капли и начальной скорости ее вылета, которые определяются типом распылителя, формой и площадью его сопла, а также рабочим

давлением в гидравлической системе опрыскивателя. При этом следует отметить, что капли больших размеров имеют большие начальные скорости вылета и скорости падения, что позволяет дольше сохранить их импульс [2, 3]. Увеличение давления рабочего раствора в большинстве конструкций гидравлических распылителей приводит не только к более мелкой дисперсности капель в факеле распыла, но и к увеличению их начальной скорости вылета из области распада струи [2; 4, 5]. При этом увеличение начальной скорости капель уменьшает расстояние сноса [5].

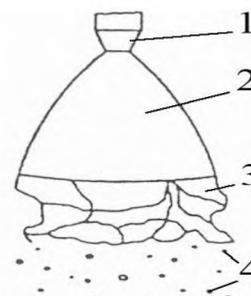


Рисунок 1. Процесс образования и падение капель [16]: 1 – распылитель; 2 – пленка жидкости; 3 – зона распада пленки; 4 – капли

Начальные условия истечения жидкости из сопла и параметры состояния окружающей среды определяют период времени движения капли, по истечении которого взаимно уравновесятся силы тяжести и силы сопротивления воздушной среды, после чего она продолжит падение по определенной траектории с постоянной скоростью движения, либо будет витать в воздухе до полного испарения.

Все факторы, влияющие на закономерности полета капель рабочей жидкости при внесении пестицидов методом опрыскивания, можно разделить на следующие группы [5]:

- физико-механические свойства рабочей жидкости (вязкость, летучесть, липкость, наэлектризованность);
- техническое состояние и технологический уровень применяемой техники (использование устройств и приспособлений для эффективного осаждения капель);
- метеорологические (природно-климатические) условия во время проведения технологической операции (состояние окружающей среды: температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра);
- состояние и уровень профессионализма механизатора (опыт, навыки, степень усталости, отношение к работе).

Исследования влияния различных факторов на закономерности падения капель проводятся в реальных полевых и (или) лабораторных условиях. Полевые исследования позволяют получить оценку сноса в реальных условиях [6-8]. Однако оценить степень единоличного или совокупного влияния различных факторов, в связи с их непостоянством, на закономерности сноса капель (относительные значения сноса [9-14]) не представляется возможным. Это в первую очередь связано с постоянно изменяющимися условиями состояния (фак-

торами воздействия) окружающей среды, таких, как температура, относительная влажность, скорость и направление восходящих потоков воздуха, направление и скорость ветра, и переменной рабочей скоростью агрегата [2-14]. Поэтому результаты практических исследований зачастую носят различный характер. Кроме того, существенно различаются результаты исследований, полученные в полевых и лабораторных условиях.

Многими исследователями отмечено, что в реальных условиях диаметр ( $d_k$ ) и масса ( $m_k$ ) капель меняются при изменении параметров состояния окружающей среды [1-3]:

$$d_k, m_k = f(T, w),$$

где  $T, w$  – соответственно температура ( $^{\circ}\text{C}$ ) и относительная влажность (%) окружающего воздуха.

Следует отметить, что данные параметры капель существенным образом оказывают влияние на степень и дальность сноса препарата при воздействии ветра (рис. 2). При исследовании закономерностей сноса капель рабочего раствора пестицидов ветром в качестве целевой функции принимается один из следующих параметров: дальность сноса капель, степень сноса (объем снесенной или осевшей на целевом объекте обработки жидкости, либо объем осевшей жидкости за пределами целевого объекта обработки на различных расстояниях). Количественно оценить снос рабочего раствора позволяет коэффициент целевого использования жидкости ( $K_{\text{ЦИЖ}}$ ), измеряемый в долях или процентах [3; 20], и определяемый по формулам

$$K_{\text{ЦИЖ}} = \frac{m_э}{m_{\text{общ}}} = \frac{V_э}{V_{\text{общ}}},$$

или

$$K_{\text{ЦИЖ}} = \frac{m_э}{m_{\text{общ}}} \cdot 100 = \frac{V_э}{V_{\text{общ}}} \cdot 100,$$

где  $m_э, m_{\text{общ}}$  – соответственно масса рабочей жидкости, осевшая на целевом объекте обработки, и масса рабочей жидкости, прошедшая через распылитель за определенный период времени, кг;

$V_э, V_{\text{общ}}$  – соответственно объем рабочей жидкости, осевшей на целевом объекте обработки, и объем рабочей жидкости, прошедший через распылитель за определенный период времени,  $\text{м}^3$ .

Для исследования влияния различных факторов на закономерности сноса в лабораторных условиях используются установки открытого и закрытого типов (рис. 3). Они позволяют моделировать процесс сноса в условиях, максимально приближенных к реальным. Основным преимуществом лабораторных установок является возможность исследования изменения целевых функций при варьировании различных факторов (расход рабочего раствора, дисперсность распыла, параметры установки распылителей (высота, угол установки и ориентация факела распыла), параметры ветра (скорость и направление), состояние окружающей среды (влажность и температура)), исключив влияние случайных факторов (неровности поля, прямолинейность движения агрегата) [2; 15; 18].

В качестве установки закрытого типа используются аэродинамические трубы различных исполнений, отличительной особенностью проведения исследований в которых является возможность создания постоянной скорости направленного воздушного потока (ветра) на всем протяжении исследуемого участка, в то время как в установках открытого типа он замедляется по мере удаления от вентилятора. Одним из основных преимуществ испытаний в аэродинамической трубе является

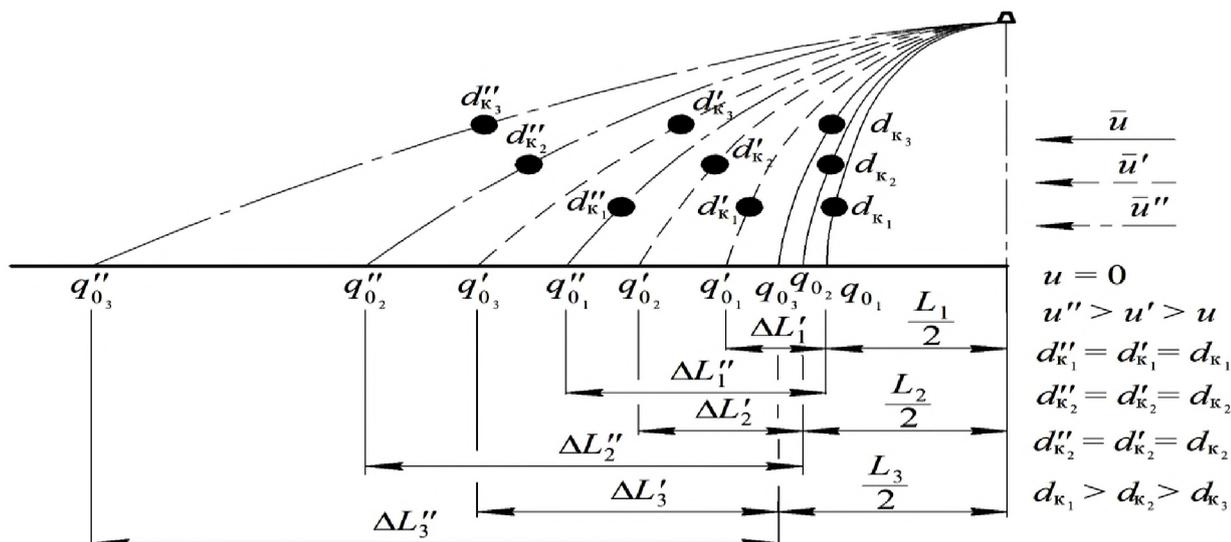


Рисунок 2. Наглядная схема обоснования зависимости дальности сноса капель, вылетевших из сопла распылителя, от их диаметров и скоростей ветра:  $u$  – скорость ветра, м/с;  $d_k$  – диаметр капли, мкм;  $q_0$  – объем осевшей жидкости,  $\text{дм}^3$ ;  $L$  – расстояние падения капли от оси факела распыла в идеальных условиях, м;  $\Delta L$  – расстояние сноса капли, м; ('', ' – индексы, соответствующие заданной скорости ветра)

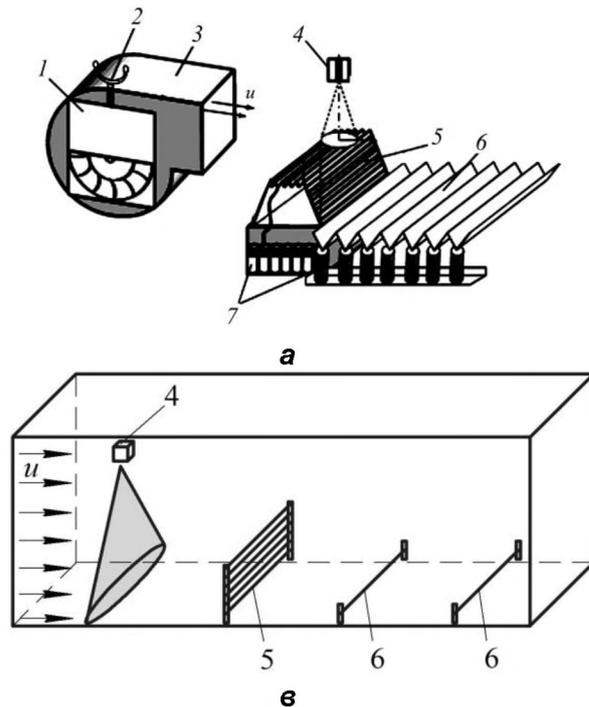


Рисунок 3. Лабораторные установки открытого (а, б) [3, 21, 22] и закрытого (б, в) типов [18; 22] для количественной оценки сноса жидкости: а, в – схемы; б, г – общий вид; 1 – заслонка; 2 – регулятор; 3 – вентилятор; 4 – распылитель; 5, 6 – улавливающие коллекторы (принимающие поверхности); 7 – мерные цилиндры;  $u$  – скорость ветра

возможность проведения многократных исследований различных распылителей и систем в непосредственно сравнимых и повторяемых условиях, что практически невозможно сделать при использовании установок открытого типа и в полевых условиях. Исследования в аэродинамической трубе позволяют получить сведения о потенциальном и абсолютном сносе, выраженные соответствующими коэффициентами [18-19]. При этом результаты, полученные в аэродинамических трубах, установках открытого типа и в полевых условиях, могут существенно отличаться.

Постановка и проведение экспериментов в полевых условиях является сложной задачей. Это связано в первую очередь с постоянным изменением условий, в которых осуществляются опыты: переменчивость направления и скорости восходящих от земли воздушных потоков, скорости и направления ветра, относительной влажности и температуры воздуха и других.

Проведение экспериментов в реальных условиях позволяет работать с готовыми растворами пестицидов, определять снос не только с технической стороны, но и с агрономической (биологической), то есть оценивать степень воздействия гербицидов на растения, их повреждаемость на различных расстояниях от обрабатываемого поля. Поэтому в полевых условиях могут использоваться установки различного назначения (рис. 4): для количественной оценки выноса жидкости из зоны обработки; оценки количества капель, дрейфующих в воздухе после прохода опрыскивателя; для оценки дрейфа и сноса капель на различном

расстоянии от обрабатываемого участка. Для этих целей используются желобчатые улавливающие поверхности и мерные сосуды, улавливающие вертикальные шесты, улавливающие карточки, например, Novartis, которые меняют цвет при осаждении на них капель рабочей жидкости.

В качестве примеров можно привести следующие результаты, которые невозможно было получить в лабораторных условиях. При штанговом опрыскивании капли диаметром 20 мкм сносятся на расстоянии одного км и более. Повреждения сельскохозяйственных культур пестицидами могут происходить на расстоянии до 20 км от места обработки [21].

В соответствии с поставленной целью исследований выбирается способ оценки потерь из-за сноса, разрабатывается программа и методика исследований, подбирается соответствующее оборудование и материалы.

### Заключение

Выбор способа исследований процесса сноса капель рабочего раствора пестицидов и разработка для него соответствующих программ и методик имеют основополагающее значение. При проведении данных экспериментов в зависимости от поставленной цели и задач исследований в качестве целевой функции могут приниматься следующие показатели: расстояние выноса капель за пределы зоны обработки, степень дрейфующих капель в воздушном потоке после прохода опрыскивателя, величина потерь пестицидов, определяемая коэффициентом целевого использования жидкости. В

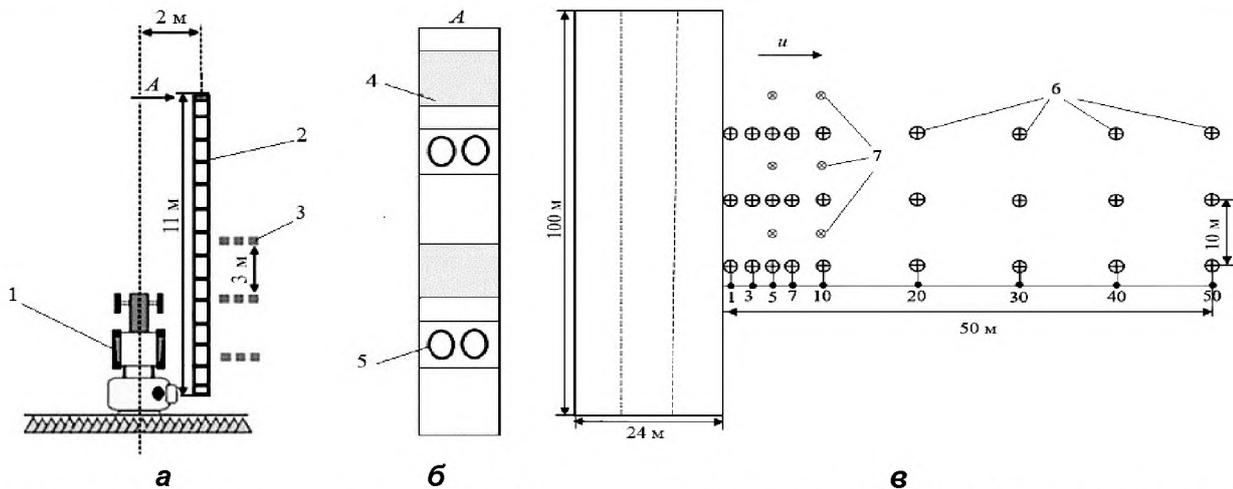


Рисунок 4. Исследования процесса сноса в полевых условиях [23]: а – установка улавливающего оборудования; б – конструкция улавливающего вертикального шеста; в – схема расположения улавливающих карточек и установки вертикальных шестов; 1 – штанговый опрыскиватель; 2 – устройство для сбора капель; 3 – устройство для сбора снесенных капель; 4 – раздвижная крышка; 5 – принимающие коллекторы; 6 – улавливающие карточки для измерения расстояния сноса капель; 7 – вертикальные шесты для улавливания дрейфующих в воздухе капель; и – скорость ветра.

качестве управляемых факторов рассматривают технологические (дисперсность факела распыла (определяется типом распылителя, формами и размерами их сопел, давлением в напорной магистрали), расстояние до обрабатываемой поверхности (угол и высота установки распылителя), параметры и метеорологические условия (скорость и направление ветра, относительная влажность и температура окружающего воздуха). На основе выбора данных факторов и обоснования пределов их варьирования составляются программы и методики лабораторных или полевых исследований.

Проведение исследований в полевых условиях позволяет изучить процесс в реальных условиях, хотя это сопряжено со многими проблемами. Среди них можно отметить непостоянные и неуправляемые метеорологические условия, которые необходимо контролировать в ходе проведения экспериментов, и низкую вероятность проведения повторных опытов в идентичных условиях. Кроме того, существует высокая вероятность воздействия на конечные результаты факторов, связанных с управлением и работой технического средства. Однако данный способ исследований позволяет определить дальность сноса капель и возможность оценить степень воздействия сносимых пестицидов на другие культуры, расположенные рядом с обрабатываемым полем и не подлежащие обработке при проведении данной операции химической защиты растений.

Проведение исследований в лабораторных условиях с использованием установок открытого типа позволяет проводить эксперименты в условиях, приближенных к реальным. При этом можно управлять направлением и скоростью ветра, учитывая ее снижение по мере удаления от исследуемого факела распыла. При этом имеется возможность исследовать различные способы защиты факела распыла от воздействия ветра, начиная от использования различных конструкций щитков, и заканчивая применением струй сжатого воздуха для

транспортировки капель к обрабатываемой поверхности. Также возможно учитывать влияние на конечный результат скорости и направления восходящих от поверхности почвы потоков воздуха. Однако существует вероятность проведения повторных опытов при измененных значениях показателей состояния окружающей среды и необходимости постоянного контроля температуры влажности в помещении.

Наиболее оптимальными являются лабораторные исследования с использованием установок закрытого типа (азродинамические трубы), которые позволяют сохранять требуемую скорость ветра на большом интервале расстояний от исследуемого факела распыла, проводить многократно повторяющиеся исследования в практически идентичных условиях и исключить влияние на конечные результаты неуправляемых факторов. При этом есть необходимость контроля температуры и влажности воздуха только внутри самой установки.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Field-crop-sprayer potential drift measured using test bench: Effects of boom height and nozzle type / P. Balsari [et al.] // Journal of Biosystems Engineering. – № 154. – 2017. – С. 3-13.
2. Droplet size and velocity characteristics of agricultural sprays / D. Nyuttens [et al.] // American Society of Agricultural Engineers. – 52 (5). – P. 1471-1480.
3. Крук, И.С. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей: монография / И.С. Крук, Т.П. Кот, О.В. Гордеенко. – Минск: БГАТУ, 2015. – 284 с.
4. Farooq, M. Agricultural sprays in cross flow and drift / M. Farooq [et al.] // Journal of Agricultural Engineering Research. – № 78 (4). – 2001. – P. 347-358.

5. Herbicide application methodologies: influence of nozzle selection, droplet size and spray drift on effective spraying – a review. / C.R. Chethan [et al.] // Innovative Farming. – № 4 (1). – 2019. – P. 45-53.

6. Hewitt, A.J. An international database on pesticide drift. / A.J. Hewitt, T.M. Wolf // Aspects of Applied Biology. – № 71. – 2004. – P. 165-168.

7. Nyuttens, D. Drift from field crop sprayers: the influence of spray application technology determined using indirect and direct drift assessment means. PhD thesis no. 772, Katholieke Universiteit Leuven. – 293 pp.

8. The influence of operator controlled variables on spray drift from field crop sprayers. / D. Nyuttens [et al.] // Transactions of the ASABE. – № 50 (4). – 2007. – P. 1129-1140.

9. Experimental air-assisted spraying of young cereal plants under controlled conditions / E.C. Hislop [et al.] // Crop Protection. – № 12 (3). – 1993. – P. 193-200.

10. Effect of injection angle on drift potential reduction in pesticide injection nozzle spray applied in domestic agricultural drones / Seung-Hwa Yu [et al.] // Journal of Biosystems Engineering. – № 189. – 2021. – P. 129-138.

11. Symmetrical multi-foil shields for reducing spray drift. / M.M. Sidahmed [et al.] // Biosystems Engineering. – № 88 (3). – 2004. – P. 305-312.

12. A comparison of the drift potential of a novel twin fluid nozzle with conventional low volume flat fan nozzles when using a range of adjuvants. / J.H. Combellack [et al.] // Crop Protection. – № 15 (2). – 1996. – P. 147-152.

13. Shields to reduce spray drift / H.E. Ozkan [et al.] // Journal of Agricultural Engineering Research. – 67. – P. 311-322.

14. Никитин, Н.В. Научно-практические аспекты технологии применения современных гербицидов в растениеводстве / Н.В. Никитин; под общ. ред. Ю.Я. Спиридонова и В.Г. Шестакова. – М.: Печатный Город, 2010. – 200 с.

15. The effect of boom selection and nozzle configuration on the risk of spray drift. / S.D. Murphy [et al.] // Journal of Agricultural Engineering Research. – № 75. – 2000. – P. 127-137.

16. Защита растений в устойчивых системах земледелия: в 4-х книгах / Под общей ред. Д. Шпаара. – Торжок: ООО «Вариант», 2004. – Кн. 4. – 345 с.

17. Братута, Э.Г. Диагностика капельных потоков при внешних воздействиях / Э.Г. Братута. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1987. – 144 с.

18. Influence of nozzle type and size on drift potential by means of different wind tunnel evaluation methods / D. Nyuttens [et al.] // Biosystems Engineering. – № 103 (3). – 2009. – P. 271-280.

19. Drift classification of boom sprayers based on single nozzle measurements in a wind tunnel. / P.J. Walklate [et al.] // Aspects of Applied Biology. – № 57. – 2000. – P. 49-57.

20. British Crop Protection Council scheme for the classification of pesticide application equipment by hazard. / C.S. Parkin [et al.] // Crop Protection. – № 13. – 1994. – P. 281-285.

21. Направления повышения качества внесения пестицидов в ветреную погоду / И.С. Крук [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2022. – Т. 60. – № 3. – С. 320-331.

22. Методика оценки технического состояния полевых штанговых опрыскивателей и технологические требования к ним / И.С. Крук [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2016. – 140 с.

23. Evaluation of compact airinduction flat fan nozzles for herbicide applications: Spray drift and biological efficacy / Shilin Wang [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2023. – P. 1-10.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 15.02.2024

### Радиоволновой влагомер зерна

*Предназначен* для непрерывного измерения влажности зерна в процессе сушки на зерносушильных комплексах.

Влагомер обеспечивает непрерывный контроль влажности зерна в потоке и обеспечивает автоматическую коррекцию результатов измерения при изменении температуры материала, имеет аналоговый выход 4-20 мА, а также интерфейс RS-485.



#### Основные технические данные

Диапазон измерения влажности зерна	от 9 до 25%
Основная абсолютная погрешность	не более 0,5%
Температура контролируемого материала	от +5 до +65°C
Цена деления младшего разряда блока индикации	0,1%
Напряжение питания	220 В 50Гц,
Потребляемая мощность	30ВА