

## СНОС ПЕСТИЦИДОВ ПРИ ОПРЫСКИВАНИИ И СПОСОБЫ ЕГО УМЕНЬШЕНИЯ. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

**О. В. ГОРДЕЕНКО, В. А. МЕЛЬНИКОВ**

*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: olegordeenko70@mail.ru*

**И. С. КРУК, Ф. И. НАЗАРОВ, А. А. АНИЩЕНКО**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220012*

**Г. ГАНТУЛГА**

*Монгольская академия аграрных наук,  
г. Улан-Батор, Монголия*

**Л. ЛХАГВАСУРЭН**

*Монгольский государственный аграрный университет,  
г. Улан-Батор, Монголия*

*(Поступила в редакцию 08.01.2025)*

Современные подходы к защите сельскохозяйственных растений сочетают в себе различные методы с минимальными последствиями для окружающей среды. Наиболее распространённым из методов средств защиты растений (СЗР) от болезней, вредителей и сорняков является опрыскивание пестицидами. Химические методы защиты растений стали популярными во второй половине 20-го века по причине своей результативности. Но у широкого распространения подобных методов защиты растений есть обратная сторона – химическое загрязнение грунта, воды, воздуха, появление генераций вредителей, стойких к химическим веществам, их аккумуляция в продовольствии и т.д. Поэтому сейчас химические методы защиты растений строго регулируются, а химические вещества должны отвечать современным экологическим требованиям. В процессе опрыскивания химическими средствами сельскохозяйственных культур, объекта обработки могут достигнуть лишь 30–40 % капель пестицида, остальную часть которых составляют потери от испарения капель (до 50 мкм), сноса ветром (50–100 мкм), скатывания с поверхности листьев (более 300 мкм). На потери рабочего раствора могут влиять такие факторы, как состояние окружающей среды (температурная инверсия, влажность, скорость ветра, топография), техническое состояние средства механизации, человеческий фактор (физическое состояние и квалификация механизатора).

Целью работы, выполняемой в рамках международного проекта T24MN-005 при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, является исследование направлений снижения расхода пестицидов и их потерь. Чрезвычайно важно делиться этими знаниями, чтобы снизить воздействие пестицидов на здоровье человека и окружающую среду.

**Ключевые слова:** опрыскивание, пестициды, потери, снос, воздушный поток.

Modern approaches to crop protection combine various methods with minimal impact on the environment. The most common method of plant protection against diseases, pests and weeds is spraying with pesticides. Chemical methods of plant protection became popular in the second half of the 20th century due to their effectiveness. But the widespread use of such methods of plant protection has a downside – chemical pollution of soil, water, air, the emergence of generations of pests resistant to chemicals, their accumulation in food, etc. Therefore, now chemical methods of plant protection are strictly regulated, and chemicals must meet modern environmental requirements. In the process of spraying agricultural crops with chemicals, only 30–40 % of pesticide droplets can reach the object of treatment, the rest of which is lost due to droplet evaporation (up to 50  $\mu\text{m}$ ), wind drift (50–100  $\mu\text{m}$ ), rolling off the surface of leaves (more than 300  $\mu\text{m}$ ). The loss of working solution can be affected by such factors as the state of the environment (temperature inversion, humidity, wind speed, topography), the technical condition of the mechanization tool, the human factor (physical condition and qualification of the machine operator).

The aim of the work carried out within the framework of the international project T24MN-005 with the financial support of the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research is to study the ways of reducing the consumption of pesticides and their losses. It is extremely important to share this knowledge in order to reduce the impact of pesticides on human health and the environment.

**Key words:** spraying, pesticides, losses, drift, air flow.

### Введение

Прогресс в борьбе с вредителями, болезнями и сорняками сельскохозяйственных культур достигнут с появлением синтетических пестицидов, что привело к значительному усовершенствованию сельскохозяйственных технологий и повышению эффективности растениеводства. Эксперты отмечают, что высокий уровень вредных организмов в ключевых странах-потребителях пестицидов будет

иметь решающее влияние на развитие мирового рынка СЗР. Что касается объемов применения СЗР, то прогнозируется рост, который будет обусловлен высоким давлением вредителей и болезней из-за неустойчивых погодных условий и отклонений от климатических норм [1]. Исключение не составляет и Беларусь. В 2018–2022 гг. продажи пестицидов в Беларуси выросли на 6,9 %: с 14,7 до 15,7 тыс. тонн. Увеличение валового сбора по основным видам культур в стране обеспечивалось, в том числе ростом пестицидной нагрузки. Стабильный уровень продаж и использования пестицидов сельхозпроизводителями в Беларуси поддерживался также субсидиями для агропредприятий на закупку средств защиты растений [2].

Внесение рабочих растворов пестицидов в полевых условиях неизбежно сопровождается потерями, полностью исключить которые на данном этапе не представляется возможным [3]. Этим обусловлена озабоченность общества во всем мире, в частности загрязнением пестицидами воздуха, воды и других природных ресурсов. Факторы, определяющие потери рабочих растворов пестицидов при опрыскивании, изучаются во всем мире и технические идеи в решении этих проблем переходят от концепции к реализации рекордными темпами. Чрезвычайно важно делиться этими знаниями, чтобы снизить воздействие пестицидов на окружающую среду и здоровье человека.

### Основная часть

За последние 100 лет мировая агроиндустрия определила, что около 100–200 л/га – это приблизительный объем, который позволяет добиться разумных показателей работы с наземными опрыскивателями. Рабочий раствор пестицида в баке распыляется в капли, которые должны достичь цели и обеспечить равномерное покрытие целевого объекта.

К основным, регламентирующим техническим и технологическим показателям техники для химической защиты растений относятся: норма расхода препарата; норма расхода рабочей жидкости (концентрация препарата в рабочей жидкости); плотность (численная концентрация) капель рабочей жидкости на поверхности объекта обработки; оптимальный дисперсный состав капель распыла (размеры капель, степень полидисперсности, производительность, возможность регулирования этих параметров).

Для определения этих показателей действует межгосударственный стандарт ГОСТ ИСО 5682-1-2004 «Оборудование для защиты растений. Оборудование распылительное. Часть 1. Методы испытаний распылительных насадок» (введен 01.01.2008 г.). Эти показатели являются основополагающими, ими определяются оптимальные технические и технологические показатели распылительного механизма.

На основе анализа работ отечественных и зарубежных исследователей можно сделать однозначный вывод о том, что оптимальный дисперсный состав капель распыла – главное условие оптимизации процесса опрыскивания в целом.

Исследователи и практики по работе с опрыскивателями рекомендуют, прежде чем начинать вносить СЗР, ознакомиться с прогнозом погоды на перспективу. Ветер – один из существенных факторов, влияющих на снос капель пестицидов из зоны обработки. Визуализация ветровых схем на сайтах прогноза погоды позволяет лучше понять и оценить риски для чувствительных к ветру зон обработки.

Снос остается единственным наиболее ограничивающим фактором безопасного применения пестицидов. Авторы работ [4, 5] определяют две формы сноса распыляемых пестицидов: снос капель «первичный» и «вторичный» (рис. 1) и снос паров.

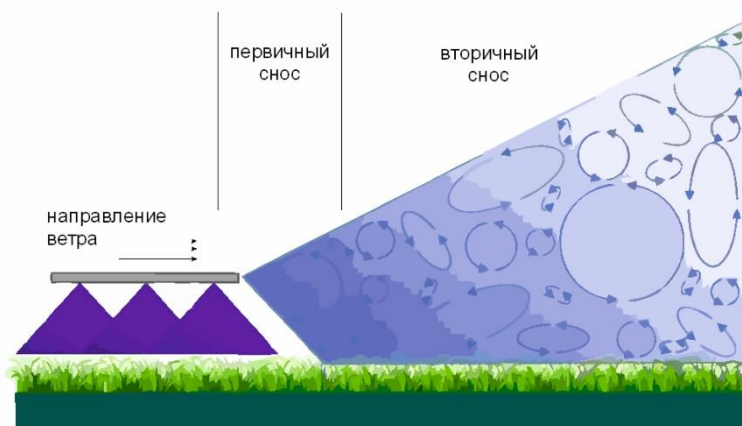


Рис. 1. Первичный и вторичный снос [5]

Первичный и вторичный сносы капель можно измерить, разместив пробоотборники (устройства, способные улавливать капли в воздухе) рядом с подветренной кромкой полосы распыления.

Снос паров – совсем другая проблема. Дрейф пара зависит от условий, которые могут возникнуть в период с момента опрыскивания до трех дней после опрыскивания, и они могут включать высокие температуры, различные направления ветра и даже инверсии, в которых скапливаются пары. В ситуациях, когда пар выделяется в течение нескольких дней после опрыскивания, становится невозможным контролировать его последующее перемещение. В конечном счете, лучший способ избежать нецелевого сноса пара — это избегать использования летучих пестицидов [4, 5] или добавлять в состав рабочих растворов пестицидов адъюванты-антидрейфы, основная функция которых заключается в уменьшении дрейфующей фракции за счет пленкообразования и растекания на объекте обработке (повышенное удерживание капель) и уменьшение испарения [9].

Что касается сноса капель, если мы знаем направление ветра во время распыления, то он предсказуем и имеется множество методик и установок по его определению [6, 7, 8].

«Первичный снос» легко понять и объяснить. Снос капель из факела распылы является функцией баланса двух видов энергии. Первый, энергия капли, представляет собой произведение диаметра капли и скорости. Чем больше энергии в каплях, тем труднее их сместить, и именно поэтому более крупные и тяжелые капли меньше подвергаются сносу и быстрее оседают на целевом объекте. Вторая – энергия смещения, возникает из-за относительного движения воздуха, либо из-за скорости движения вперед опрыскивателя, либо из-за ветра и связанной с ним турбулентности. Больше ветра или турбулентности означает больше мощности для сноса капель. Испытания на снос показывают, что около 20 % первоначального количества сноса оседает на поверхность в интервале 100 м от опрыскивателя [4, 5].

«Вторичный снос», при котором особенно мелкие капли (или испаренные остатки капель) остаются в воздухе в течение более длительных периодов времени, в течение которых они могут перемещаться вбок с ветром или вертикально с термическими потоками и турбулентностью поднимается в атмосферу, где испаряются и перемещаются дальше, составляют 80 % [5].

Авторы работы [10] наглядно показывают, как изменяются характеристики капель в результате испарения (рис. 2).

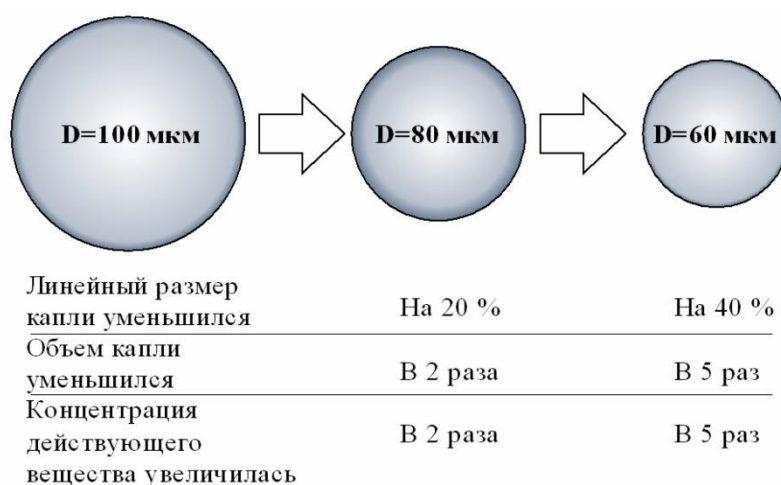


Рис. 2. Изменение физических характеристик капель в результате испарения [10]

Время существования водяной капли и дальность ее полета до полного испарения зависят от размера, температуры и относительной влажности воздуха. В зависимости от температуры и влажности окружающей среды время полного испарения мелких капель (менее 30 мкм) колеблется от долей секунды до нескольких секунд, для сравнительно крупных капель (более 150 мкм) – до десятков секунд [7, 10, 11].

Независимо от применяемых в мире методов, способов и агротехнологий, потери пестицидов из-за сноса ветром и стекания их на почву в реальном сельскохозяйственном производстве могут достигать 70–90 %, а пищевые продукты и корма содержать микроостатки ядов в достаточно опасных концентрациях.

Для решения проблемы сноса мелких капель и повышения эффективности опрыскивания можно выделить следующие технические решения.

**Применение ветрозащитных устройств.** Ветрозащитные устройства могут быть пассивного, активного и комбинированного действия [3].



В роли **пассивных устройств** могут выступать ветрозащитные козырьки, экраны, кожухи (рис. 3). Кожух, установленный на штангу полевого опрыскивателя, был впервые предложен и построен в 1950-х годах в Великобритании Dr. Walter Ripper. Штанга «No drif» вдохновила целую отрасль, которая захватила мировых производителей в 1980-х и 1990-х годах. Капли факела распыла в абсолютном большинстве случаев полидисперсные. Покидая распылитель они приобретают определённую скорость и энергию. Их движение в трехмерном потоке приводит к большому числу столкновений, в результате которых капли могут дробиться или сливаться (в зависимости от скорости и угла соударения), что приводит к увеличению степени полидисперсности. Будучи огражденными ветрозащитными устройствами от ветра, снос капель уменьшается, и они достигают своей цели.



Рис. 3. Опрыскиватели с ветрозащитными устройствами пассивного действия

Исследования, проведенные при опрыскивании с кожухами, произведенными фирмами Flexi-Coil, Rogers Engineering, AgShield и Brandt, показали уменьшение сноса до 80 % [12].

К конструктивным недостаткам можно отнести снижение аэродинамического сопротивления опрыскивателя; плохая видимость сопла в случае засоров; с увеличением длины штанги при ее складывании возникают определенные трудности плотно складывающихся подвесных секций; загрязнение почвы остатками пестицидов стекающих с кожухов.

**Активные ветрозащитные устройства** в свою очередь используют энергию воздушного потока, нагнетаемый вентилятором (рис. 4). Штанговые опрыскиватели с воздушным сопровождением появились еще в 1970-х годах в Европе и продемонстрировали свою ценность в снижении сноса и улучшении проникновения рабочего раствора пестицидов в растительный полог.



Рис. 4. Ветрозащитные устройства активного действия

Воздушное сопровождение гидравлического распыления изучается во всем мире, и технические идеи реализуются в новых машинах. Так, немецкая компания DAMMANN GmbH выпускает опрыскиватель, оборудованный штангой с двухсторонним сопровождением воздуха (рис. 5).



Рис. 5. Ветрозащитные устройства активного действия

Исследованиями работы опрыскивателей с воздушным сопровождением занимались и ученые учреждений образования БГСХА и БГАТУ (А. В. Клочков, Л. Я. Степук, Т. П. Кот, П. М. Новицкий). Вывод однозначный, для воздушного сопровождения факела распыла и проникновения капель в растительный полог необходима значительная скорость воздуха. В некоторых случаях, при внесении рабочего раствора на голую землю или с небольшой растительностью, когда покров не может поглотить энергию воздушной струи, а оператор не может ее регулировать, воздух отскакивает и создается снос капель, т.е. снижается эффективность воздушного сопровождения.

Компания Agrifac из Нидерланд разработала собственную систему воздушного сопровождения AirFlowPlus (рис. 6).

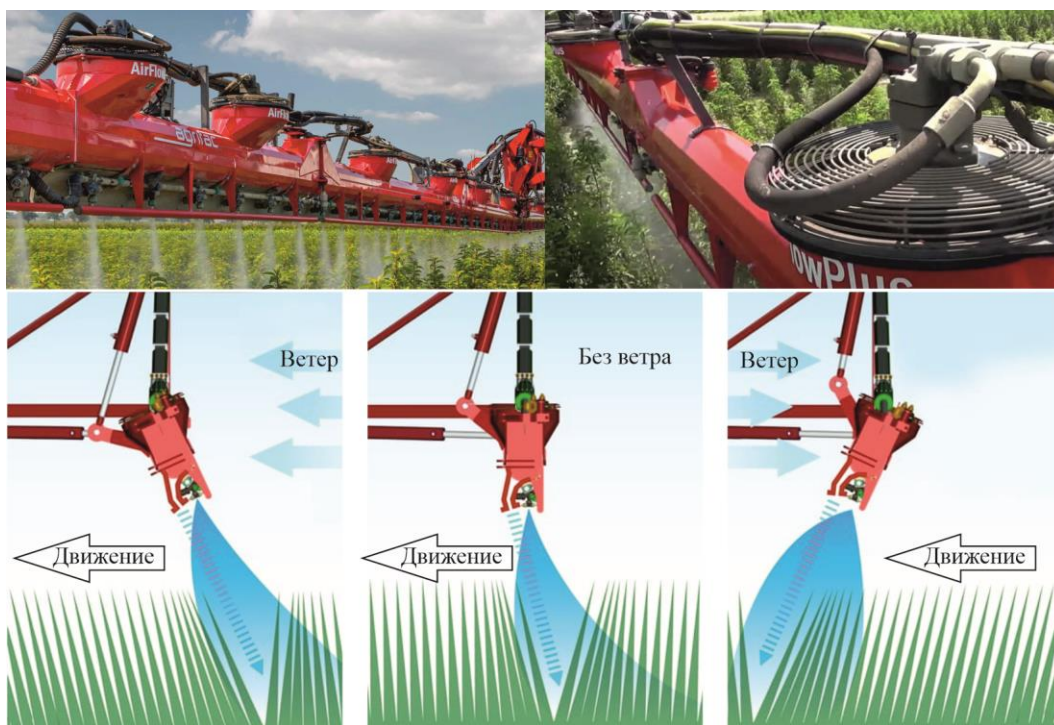


Рис. 6. Штанга с системой воздушного сопровождения AirFlowPlus [13]

Отличительной особенностью этой системы является установка на штанге вентиляторов с шагом в три метра. Частота вращения вентиляторов регулируется гидромоторами, что создает постоянный поток и оптимальную производительность воздуха по всей ширине штанги. Воздух из сопел, смешиваясь с факелом распыла, формирует воздушно-капельную массу, обладающая значительной скоростью и энергией по сравнению с потоком ветра. Направление потока жидкости и воздуха регулируется в зависимости от условий и направления ветра (рис. 6) наклоном штанги опрыскивателя вперед или назад с помощью гидроцилиндров. Это приводит к уменьшению сноса ветром, уменьшает процент неравномерности распределения жидкости (коэффициент вариации). Такая смесь эффективнее проникает в растительную массу растений, чем обеспечивается объемная обработка растений.



**Комбинированные защитные устройства** представляют собой сочетание предыдущих устройств: как пассивных (ограждение от ветра), так и активных (использование энергии воздушного потока) (рис. 7).

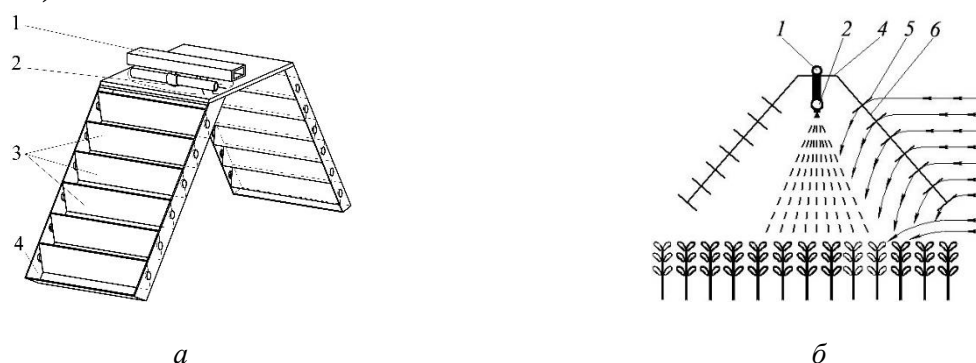


Рис. 7. Комбинированное защитное устройство [14]:  
 а – комбинированное ветрозащитное устройство (жалюзийная решётка),  
 б – принцип работы; 1 – несущая конструкция, 2 – распределительная штанга, 3 – распылитель, 4 – кронштейн,  
 5 прямоугольные пластины (жалюзи), 6 – рамка

Принцип действия комбинированных защитных устройств реализован фирмой Wingssprayer на штанге опрыскивателя в виде двойного крыла (рис. 8).



Рис. 6. Штанга фирмы Wingssprayer с системой Double Wing [15]

Одним из резервов повышения эффективности и экологической безопасности опрыскивания является проведение обработок с узким спектром капель оптимального (с учетом максимальной эффективности и минимального сноса) размера. В этой связи интерес представляют вращающиеся распылители, которые при определенных условиях (малые расходы жидкости) позволяют распыливать жидкость на однородные капли регулируемого размера (монодисперсное распыление), а при больших расходах жидкости они обеспечивают более узкий спектр размеров капель, чем гидравлические. Данные распылители нашли широкое применение при авиаобработках. Испанская фирма Micron Sprayers Ltd реализовала идею на полевых опрыскивателях Micromax (рис. 7).



Рис. 7. Опрыскиватель Micromax с роторным распылителем [16]

Однако процесс распыления жидкости вращающимся распылителем, работающим в обдуваемом его воздушном потоке, и условия отделения из образующегося факела мелких ( $< 1 < 50$  мкм) капель изучен еще недостаточно и данных исследований в свободном доступе нет.

Опытами многочисленных исследований было выявлено, что магнитное поле способно изменять структуру межмолекулярных связей воды, улучшая её физические свойства. Так, например омагниченная вода, используемая при приготовлении рабочего раствора пестицидов, способна сужать спектр распыленных капель к оптимальным размерам, уменьшая возникновение крупных (скатывание с листьев) и мелких (испарение, снос ветром) капель. В результате снижается процент потерь пестицидов от испарения и сноса ветром, улучшается степень покрытия каплями поверхности растений, уменьшаются нормы внесения рабочего раствора, снижается расход химических средств и воды. Компонировка расположения магнитного оборудования может быть различна, оно может быть расположена в фильтрующих элементах, заправочных ёмкостях, рядом с распыливающими устройствами.

Одним из примеров эффективного применения магнитных технологий при опрыскивании является технология MagGrow ирландской фирмы MagrowTec. Изготавливаемый модульный комплект оборудования Magrow Tec Boom Kit, подходящий к большинству опрыскивателей, включает в себя магнитные коллекторы (рис. 8 а), устанавливаемые на опрыскиватель, и магнитные стержни, устанавливаемые непосредственно в нагнетательную аппаратуру («мокрую» штангу) распылителей (рис. 8 б).



а



б

Рис. 8. Модульный комплект оборудования Magrow Tec Boom Kit [17]:

а – магнитные коллекторы, б – магнитные стержни

В результате такая технология способна привести к уменьшению сноса капель раствора (примерно на 70 %), увеличить степень покрытия листовой части (на 20–50 %), повысить производительность агрегата за счёт уменьшения нормы внесения и заправок, сохраняя требуемую степень покрытия растений [17].

### Заключение

В результате аналитического обзора определены направления снижения потерь рабочих растворов пестицидов при проведении операций химической защиты посевов сельскохозяйственных культур методом опрыскивания в ветреную погоду.

На основании априорной информации можно утверждать об эффективности использования ветрозащитных устройств. На штанговых опрыскивателях наибольшее распространение получили системы активного и комбинированного действия. Пассивные ветрозащитные устройства более приемлемы для ленточного опрыскивания.

Применение роторных распылителей на полевых опрыскивателях в условиях ветра изучено недостаточно.

Применение технологии омагничивания жидкости позволяют добиваться лучшей степени покрытия пестицидами растений и равномерности внесения препарата, однако стоимость таких устройств на порядок выше стоимости ветрозащитных агрегатов пассивного и комбинированного действия, которые также способны улучшать равномерность внесения пестицидов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Обзор мирового рынка пестицидов, прогноз на 2024 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://glavagronom.ru/articles/obzor-mirovogo-rynka-pesticidov-prognoz-na-2024-god/> – Дата доступа: 10.09.2024.
2. Анализ рынка пестицидов в Беларуси в 2019-2023 гг, прогноз на 2024-2028 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://businessstat.ru/catalog/id80265/> – Дата доступа: 12.09.2024.
3. Направления повышения качества внесения пестицидов в ветреную погоду / И. С. Крук [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2022. – Т. 60, № 3. – С. 320–331.
4. Spray Drift Basics. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sprayers101.com/spray-drift-basics/> Дата доступа: 12.09.2024.
5. Fundamentals of Spray Drift. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sprayers101.com/fundamentals-of-spray-drift/> Дата доступа: 18.09.2024.
6. Обоснование выбора методики исследований закономерностей сноса капель рабочего раствора пестицидов ветром [Текст] / И. С. Крук [и др.] // Агропанорама. - 2024. - N 1. - С. 17-22
7. 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.
8. Крук, И. С. Стенды и установки для исследований гидравлических распылителей полевых опрыскивателей / И. С. Крук, О. В. Гордеенко, А. А. Анищенко // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Минск, 23-24 ноября 2023 г. – Минск: БГАТУ, 2023. – С. 121–124.
9. Spray drift and pest control from aerial applications on soybeans. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n3p493-501/2017> Дата доступа: 15.09.2024.
10. Федоренко В. Ф., Аристов Э. Г., Краховецкий Н. Н., Селиванов В. Г., Береговенко С. А., Веретенников Ю. М. Инновационные методы исследования дисперсных характеристик распылителей машин для химической защиты растений: науч. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 120 с.
11. Маркевич А. Е., Немировец Ю. Н. Основы эффективного применения пестицидов: Справочник в вопросах и ответах по механизации и контролю качества применения пестицидов в сельском хозяйстве. – Горки: учред. образов. «Могилевский гос. учеб. центр подготовки, повышения квалификации, переподготовки кадров, консультирования аграрной реформы», 2004. – 60 с.
12. We need better drift control technologies / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sprayers101.com/we-need-better-drift-control-technologies/> Дата доступа: 08.10.2024.
13. Air-assisted spraying with AirFlowPlus / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agrifac.com/ca/optional-spray-technology/airflowplus/> Дата доступа: 01.11.2024.
14. Штанга опрыскивателя с ветрозащитными устройствами: пат. 6648 Респ. Беларусь, МПК А 01М 7/00 / И. С. Крук, О. В. Гордеенко, Е. В. Послед, А. И. Гайдуковский, Г. Ф. Назарова, А. А. Новиков, П. Э. Гринкевич; заявитель Белорус.гос. аграр. техн. ун-т. – № u 20100267; заявл. 18.03.2010; опубл. 30.10.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 5 (76). – С. 161.
15. Wingssprayer DW de Dubbele Wing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.wingssprayer.com/post/wingssprayer-dw-de-dubbele-wing> Дата доступа: 02.11.2024.
16. Micromax Vehicle Mounted CDA Sprayer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.microngroup.com/micromax/> Дата доступа: 12.11.2024.
17. MagrowTec's Progressive Research [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://magrowtec.com/research/> Дата доступа: 12.11.2024.