

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ В КОНСТРУКЦИЯХ ШТАНГОВЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

И.С. КРУК, кандидат технических наук, доцент, E-mail: kruk_igar@mail.ru
О.В. ГОРДЕЕНКО*, кандидат технических наук, доцент E-mail: docent70@mail.ru
ФЕН БАЙЛИ**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
А.А. АНИЩЕНКО

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ,
МИНСК, РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ

* БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ,
ГОРКИ, РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ

**СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СЕЛЬСКОГО И ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА,
ЯНЛИН, КИТАЙ

***Аннотация.** Изучению потерь рабочих растворов пестицидов из-за сноса ветром и обоснованию направлений их уменьшения в настоящее время уделяется большое внимание. Ведущими предприятиями-изготовителями сельскохозяйственных машин для внесения средств защиты растений разработаны рекомендации по их настройке и работе в ветреную погоду. Для штанговых опрыскивателей разрабатываются дополнительное оборудование и системы, позволяющие снизить воздействие ветра на факел распыла или обеспечить транспортировку капель рабочих растворов пестицидов к обрабатываемым поверхностям. Данные разработки, наряду с несомненными достоинствами, имеют и ряд недостатков, снижающих качество проводимых технологических операций и повышающих их энергоемкость и себестоимость.*

В статье выполнен анализ ветрозащитных устройств, обоснованы требования к их конструкциям и определены условия использования в полевых опрыскивателях при обработке зерновых культур. Предложены конструкции ветрозащитных устройств, позволяющие использовать энергию ветра для повышения качества выполняемых технологических операций.

Проведены лабораторные исследования по изучению влияния ветрозащитных устройств на изменение коэффициента целевого использования рабочей жидкости и дальности сноса ее капель. В результате установлено, что наибольшее влияние на величину сноса капель оказывают дисперсность распыла, параметры установки распылителей, скорость и направление ветра. Использование ветрозащитных устройств позволяет увеличить коэффициент целевого использования жидкости на 18-39% при исследуемых скоростях ветра от 1 до 7 м/сек. Это позволит повысить качество химической защиты растений и снизить потери препаратов из-за сноса при обработках в ветреную погоду.

Ключевые слова: опрыскивание, снос, потери, капля, ветрозащитные устройства, пестициды, скорость.

Для цитирования: Крук И.С., Гордеенко О.В., Фен Байли Особенности использования ветрозащитных устройств в конструкциях штанговых опрыскивателей при обработке зерновых культур. Зернобобовые и крупяные культуры. 2024; 3(51):171-180. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-3-171-180

PECULIARITIES OF USING WIND PROTECTION DEVICES IN THE DESIGNS OF BOOM SPRAYERS WHEN TREATING GRAIN CROPS

I.S. Kruk, O.V. Hardeenka*, Fen Bayli, A.A. Anishchanka**

BELARUSIAN STATE AGRARIAN TECHNICAL UNIVERSITY, REPUBLIC OF BELARUS

*BELARUSIAN STATE AGRICULTURAL AKADEMY, REPUBLIC OF BELARUS

**NORTHWESTERN UNIVERSITY OF AGRICULTURE AND FORESTRY, CHINA

Abstract: *Much attention is currently paid to the study of losses of pesticide working solutions due to wind drift and substantiation of directions for their reduction. Leading manufacturers of agricultural machinery for crop protection agent application have developed recommendations on their adjustment and operation in windy weather. Additional equipment and systems are being developed for boom sprayers to reduce the impact of wind on the spraying torch or to provide transportation of drops of pesticide working solutions to the treated surfaces. These developments, along with undoubted advantages, have a number of disadvantages that reduce the quality of technological operations and increase their energy consumption and cost.*

The article analyzes wind protection devices, substantiates the requirements to their designs and determines the conditions of use in field sprayers for grain crops processing. Designs of wind deflectors that allow to use wind energy to improve the quality of technological operations are proposed.

The laboratory researches on studying the influence of wind protection devices on the change of the coefficient of target utilization of working liquid and the range of its droplets drifting have been carried out. As a result, it was found that the greatest influence on the value of droplet drift has a dispersity of atomization, sprayer installation parameters, wind speed and direction. The use of wind protection devices allows to increase the coefficient of target liquid utilization by 18-39 % at the studied wind speeds from 1 to 7 m/s. This will improve the quality of chemical plant protection and reduce losses of preparations due to drift during treatments in windy weather.

Keywords: spraying, drift, loss, drop, windbreaks, pesticides, rate.

Введение. Спрос на продукцию растениеводства и ожидание максимальной урожайности приводят к более интенсивным методам ведения сельского хозяйства во всем мире. Наращивание производства продукции растениеводства при снижении удельных затрат является важным условием повышения экономической эффективности аграрной отрасли. Получение стабильно высоких урожаев сельскохозяйственных культур достигается соблюдением технологической дисциплины при возделывании (своевременным и качественным проведением операций, внесением необходимых доз удобрений и средств защиты растений), высевам качественных семян. На протяжении всего периода роста культурные растения подвергаются воздействию вредителей и болезней, потери из-за которых составляют около 35% на поле и 14% при хранении. Генетически и биологически сорняки легко адаптируются к различным условиям возделывания, вторгаются в посевы и конкурируют с ними, оказывая при этом еще и содействие в быстром распространении болезней и вредителей сельскохозяйственных культур. Потенциальные потери урожая только от 40 наиболее вредоносных сорняков могут составлять 30% и более [1, 2]. Поэтому в современных технологиях возделывания особое внимание уделяется интегрированной системе защиты посевов от болезней, вредителей и сорняков, значительный прогресс в борьбе с которыми был достигнут с появлением синтетических пестицидов. Это привело к значительному усовершенствованию сельскохозяйственных технологий и повышению эффективности растениеводства. Однако нерациональное и необоснованное использование пестицидов оказывает существенное отрицательное воздействие на экологию окружающей среды. Это в первую очередь характеризуется качеством выполнения операций химической защиты растений, дозами и объемами внесения, а также потерями вследствие воздействия факторов окружающей среды, наиболее значимыми из которых являются температура, скорость и направление ветра. Существенное влияние на процесс внесения средств защиты растений оказывает ветер, приводящий к сносу капель рабочего раствора во время опрыскивания в сторону от объекта обработки или выносу за пределы обрабатываемого участка. При этом наносится ущерб окружающей среде, происходит угнетение других

растений на соседних полях, загрязнение грунтовых вод, гибель пчел и других насекомых-опылителей. Снос на сегодняшний день остается единственным, наиболее ограничивающим, фактором безопасного применения пестицидов.

Величина потерь из-за сноса характеризуется экономическими и технологическими показателями, определяемыми эффективностью выполнения технологических операций, необходимостью повторного их проведения, качеством и количеством полученного урожая.

В процессе исследований определяются потенциальные и абсолютные потери из-за сноса. К потенциальным потерям относится часть жидкости, которая остается во взвешенном состоянии в воздухе после прохода опрыскивателя и может быть снесена на большие расстояния, к абсолютным – часть жидкости, которая выносится из зоны обработки под действием воздушных потоков и осаждается вне целевого объекта обработки. При этом как потенциальные, так и абсолютные потери препаратов из-за сноса могут нанести значительный вред экологии окружающей среды. В результате многих исследований отмечено, что около 20% первоначального количества сноса оседает на поверхность в интервале 100 м от опрыскивателя. При изучении путей возможного загрязнения поверхностных вод при обработке сельскохозяйственных культур и виноградников в Швейцарии [3] было установлено, что при опрыскивании важно соблюдать санитарно-защитную зону не только между обрабатываемыми объектами и водоемам, но и между обрабатываемыми объектами и примыкающими к ним дорогам (рис. 1). Было отмечено, что большинство дорог, примыкающих к сельскохозяйственным угодьям и виноградникам оснащены ливневыми каналами, соединенными с водоемами. В зависимости от региона площадь данных дорог превышает площадь открытых водоемов в 2,7-7 раз. Исследованиями отмечено, что даже при наличии защитных зон объем пестицидов, осевших на дорогах при последующем смыве атмосферными осадками в ливневые каналы превышает непосредственный снос в открытые водоемы в 4,5-18 раз для пахотных земель и 35-140 раз – для виноградников [3].

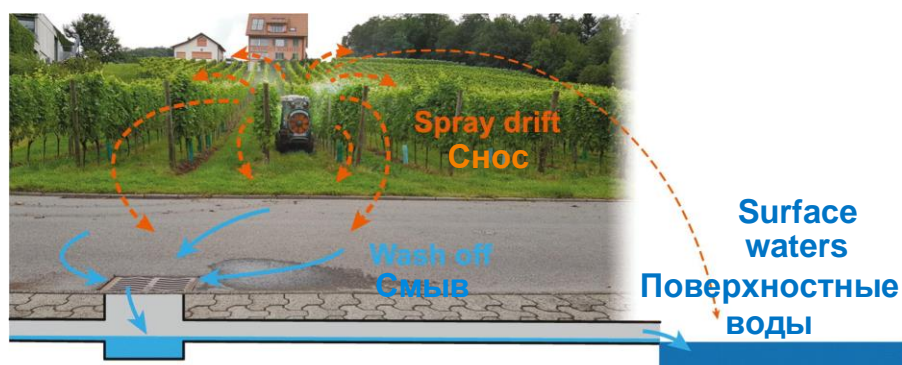


Рис. 1. Пути возможного загрязнения поверхностных вод при внесении пестицидов [3]

Анализ многих литературных источников и проведенные исследования подтверждают сделанные выводы о невозможности полного исключения потерь пестицидов вследствие сноса (выноса) капель рабочего раствора при использовании полевых наземных и надземных опрыскивателей в технологиях возделывания зерновых культур. При этом возможно их снижение до минимума при соблюдении определенных требований, а также использовании различных дополнительных приспособлений и систем.

Цель работы – обосновать возможности использования различных ветрозащитных устройств факелов распыла при опрыскивании зерновых культур в ветреную погоду полевыми опрыскивателями.

Материалы и методы исследований

В зависимости от поставленных целей исследований используются различные установки для определения сноса рабочих растворов пестицидов в лабораторных и полевых условиях [2, 4, 5]. Для измерения абсолютного сноса используются устройства, установленные на поверхности поля и улавливающие капли пестицидов в момент их

осаждения. По объему осажженной на их поверхности жидкости или количеству капель определенного диаметра дают количественную оценку величине абсолютных потерь рабочих растворов пестицидов. При определении потенциальных потерь из-за сноса оценка дается по каплям небольшого диаметра, которые витают в воздухе в течение более длительных периодов времени, когда они могут переноситься ветром или термическими потоками и турбулентностью а также испаряться [6]. Их величину определяют с помощью специальных, улавливающих дрейфующие капли вертикальных экранов или анализаторов, определяющих изменение параметров воздуха.

При исследованиях потерь рабочих растворов из-за сноса в качестве целевой функции принимаются дальность осаждения капель от объекта обработки или степень их сноса (объем снесенной или осевшей на целевом объекте обработки жидкости, объем осевшей жидкости за пределами целевого объекта обработки на различных расстояниях). Степень сноса может характеризоваться коэффициентом целевого использования жидкости (КЦИЖ), определяемым отношением объема (массы) жидкости, осевшей на обрабатываемых поверхностях, к объему (массе) жидкости, прошедшей через распылитель за определенный промежуток времени (определяется в долях или процентах). Экспериментальные исследования зачастую проводятся в лабораторных условиях на установках открытого или закрытого (аэродинамическая труба) типов. Они позволяют моделировать процесс сноса в условиях, максимально приближенных к реальным и, в отличие от полевых, позволяют исключить влияние случайных факторов и вероятность непреднамеренного изменения параметров регулируемых.

Для исследований изменения закономерностей движения и визуального наблюдения потока ветра при использовании различных ветрозащитных устройств в лабораторных условиях использовался генератор дыма.

Результаты исследований

Закономерности движения капель в факеле распыла определяются функциями баланса двух видов энергии. Первый (энергия капли) определяется размером и кинематическими параметрами движения капли, связанными с состоянием окружающей среды (температура и влажность), начальными условиями их вылета из сопла распылителя. Образовывающиеся при распаде пленки рабочего раствора пестицидов более крупные и тяжелые капли обладают большим запасом энергии, меньше подвергаются сносу и осаждаются на целевом объекте за меньший интервал времени. Однако, крупные капли, как правило более 500 мкм скатываются с обрабатываемых поверхностей растений и осаждаются на почве, не обеспечивая ожидаемого результата обработки. Второй (энергия смещения) определяется аэродинамическими параметрами относительного движения окружающей среды (воздуха) и скоростью движения опрыскивателя. При большей скорости ветра и скорости движения агрегата, высокой степени турбулентности окружающая среда обладает большей энергией для сноса капель. Исследованиями доказано, что в зависимости от условий опрыскивания снос препаратов может достигать 90%, что приводит к уменьшению эффективности проводимых мероприятий на 35-55% [1, 2, 7, 8, 9, 10].

При работе опрыскивателей величина сноса определяется не только размером капель, скоростью и направлением ветра, но и параметрами установки (высота и угол) распылителей над обрабатываемым объектом. Они определяют расстояние до обрабатываемого объекта, которое необходимо преодолеть каплям для полного осаждения на обрабатываемой поверхности. Чем больше данное расстояние, тем больший интервал времени на капли будет действовать ветер и тем дальше они будут сноситься. Поэтому важными факторами снижения сноса в данных условиях является применение инжекторных распылителей, генерирующих капли больших размеров, уменьшение высоты установки штанги (если это обеспечивается технологическими параметрами распылителей) и ограждение факелов распыла от прямого воздействия ветра.

Одной из наиболее быстро развивающихся новых сельскохозяйственных технологий являются дроны-опрыскиватели, которые имеют объем технологической емкости до 40 л,

что позволяет обработать относительно большую площадь за один полет. Сторонники их использования ссылаются на возможность обрабатывать участки полей и целые поля (крутые склоны, заболоченные участки и др.), не доступные для использования наземных опрыскивателей. До 30% сельскохозяйственных площадей Южной Кореи обрабатывается при помощи дронов. Поскольку их полезная нагрузка относительно невелика (около 5–40 л в зависимости от модели), то и нормы внесения рабочих растворов пестицидов должны быть от 18 до 36 л/га. При этом рекомендуется применять локальное опрыскивание рабочими растворами пестицидов только участков поля, пораженных болезнями, вредителями и сорняками. Для увеличения производительности дронов будет тенденция либо к увеличению рабочего объема, либо снижению нормы. Соответственно единственным способом обеспечения требуемого качества внесения является мелкое распыление. При исследовании сноса капель рабочей жидкости при использовании распылителей, используемых в сельскохозяйственных дронах [11], отмечено, что тип распылителя оказывает существенное влияние на качество выполняемого технологического процесса и потери рабочего раствора пестицидов.

Для снижения степени воздействия на факел распыла ветра в конструкциях полевых опрыскивателей применяются различные ветрозащитные устройства и приспособления (рис. 2) [1, 2, 9, 10]. Их работа основана на использовании высокоскоростной струи сжатого воздуха (рис. 2, а) или электростатической зарядки раствора (рис. 2, б) для транспортировки генерируемых распылителями капель к обрабатываемой поверхности, а также применении различных экранов щитков и кожухов для защиты факела распыла от воздействия ветра (рис. 2, в, г) [9, 10].



Рис. 2. Системы, снижающие снос рабочих растворов при опрыскивании:

а – принудительное воздушное осаждение капель; б – электростатическая зарядка рабочего раствора; в, г – ветрозащитные устройства

Имеются два конструктивных исполнения опрыскивателей с распределяющими устройствами воздушного потока: при первом капли рабочего раствора вносятся в направленную воздушную струю (рис. 3, а), при втором – воздушные струи находятся симметрично относительно факела распыла и не воздействуют на капли (рис. 3, б) [2, 9, 10]. Важным условием эффективного использования создаваемых направленных воздушных струй является рациональное относительное расположение воздушной и воздушно-капельной струй. Их технологические параметры существенным образом оказывают влияние не только на уменьшение величины потерь препаратов из-за сноса, но и качество распределения пестицидов по обрабатываемым поверхностям при различных скоростях

ветра. Их использование позволяет проводить обработку растений даже при скоростях ветра, превышающих агротехнически допустимые величины [2, 12]. Однако, в результате проведенных полевых экспериментов было установлено, что при использовании в сухую погоду опрыскивателей с системой принудительного осаждения капель воздушной струей, направленный воздушный поток подхватывает с поверхности почвы пыль, создавая пылевую завесу, с которой смешиваются капли рабочего раствора [10, 13]. В результате пылью покрываются обрабатываемые поверхности растений, что снижает эффективность препаратов, а при смешивании с ней рабочей жидкости образуются комочки грязи, которые оседают на растения или почву. Отраженный от поверхности поля воздушный поток выносит вверх не осевшие на обрабатываемых поверхностях растений мелкие капли, которые затем витают в воздухе и сносятся. Поэтому особое внимание при разработке объемных опрыскивателей уделяется исследованиям параметров и способов взаимного расположения воздухораспределительной и жидкостной систем, а также условиям их эксплуатации.

Поэтому важным направлением в решении проблемы сноса рабочих растворов пестицидов является разработка технических средств, снижающих или исключаящих воздействие ветра на факел распыла. Использование дополнительных кожухов и щитков, полностью защищающих факел распыла в технологиях возделывания зерновых культур возможно при довсходовых обработках. При послевсходовых – возникает вероятность повреждения растений вследствие вхождения дополнительных устройств, расположенных на штанге опрыскивателя, в растительные покровы при ее колебаниях. Кроме того, расположенные с одной стороны факела распыла поверхности ветрозащитного устройства не обеспечивают его защиту при направлении ветра с других сторон. Также может возникнуть вариант, когда рабочая жидкость сносится на поверхность ветрозащитного устройства и затем, стекая с него, оседает на почву.



Рис. 3. Способы снижения сноса капель жидкости при использовании воздушных струй [2, 10]: а – схема осаждения капель воздушной струей, б – схема применения воздухоструйных защитных экранов

Поэтому при разработке ветрозащитных устройств следует учитывать следующие условия:

- установка дополнительного оборудования на несущую конструкцию штанг приводит к увеличению их массы, возрастанию инерционных сил, что в конечном итоге приведет к ее колебаниям в вертикальной плоскости и вероятности повреждения растений при вхождении элементов ветрозащитных устройств в растительные покровы;
- рабочие поверхности ветрозащитных устройств воспринимают ветровую нагрузку и увеличивают аэродинамическое сопротивление, что может привести к возникновению колебаний штанги в горизонтальной плоскости, имеющих большую амплитуду и критическую частоту;
- увеличение массы несущей конструкции штанги опрыскивателя может повлечь за собой корректировку систем ее стабилизации и гашения колебаний;
- параметры установки ветрозащитных устройств должны полностью исключить вероятность осаждения капель рабочих растворов пестицидов на их поверхностях для предотвращения загрязнения почв вследствие их стекания или смывания;

– не допускается осаждение капель рабочих растворов пестицидов на рабочие поверхности ветрозащитных устройств для предотвращения стекания их на почву в виде капель больших размеров, либо струек;

– установка ветрозащитных устройств на дронах приводит к изменению аэродинамических характеристик последних и может изменить закономерности их полета.

Учитывая данные требования, были разработаны ветрозащитные устройства факелов распыла (рис. 4-7) [1, 2, 14-18]. Они позволяют использовать энергию ветра для транспортировки капель рабочего раствора к обрабатываемым поверхностям, обеспечивая при этом необходимый технологический зазор между нижними сторонами рабочих поверхностей и обрабатываемыми растениями.

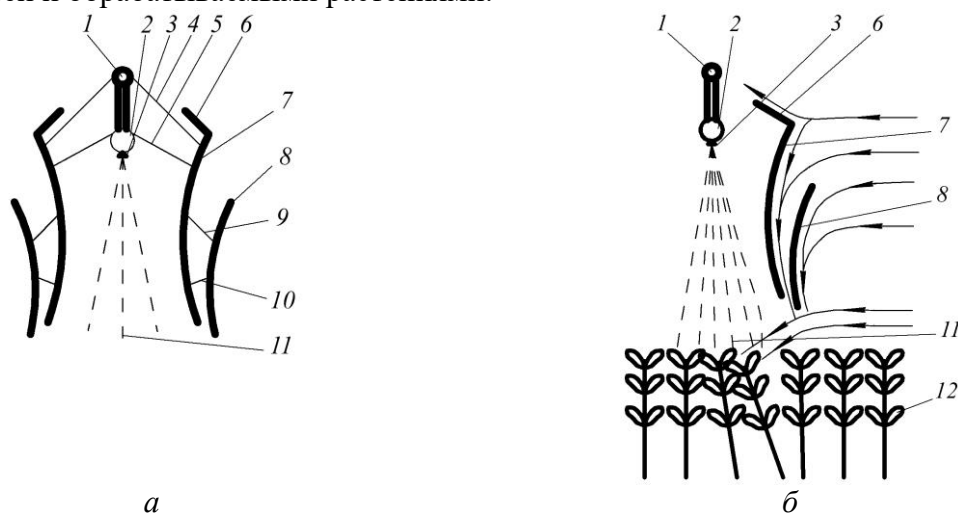


Рис. 4. Ветрозащитное устройство комбинированного действия [2, 14]: а – схема; б – рабочий процесс; 1 – несущая конструкция; 2 – распределительная штанга; 3 – распылитель; 4, 5, 9, 10 – кронштейны; 6 – козырьки; 7 – внутренние щитки; 8 – наружные щитки; 11 – факел распыла; 12 – посевы сельскохозяйственной культуры

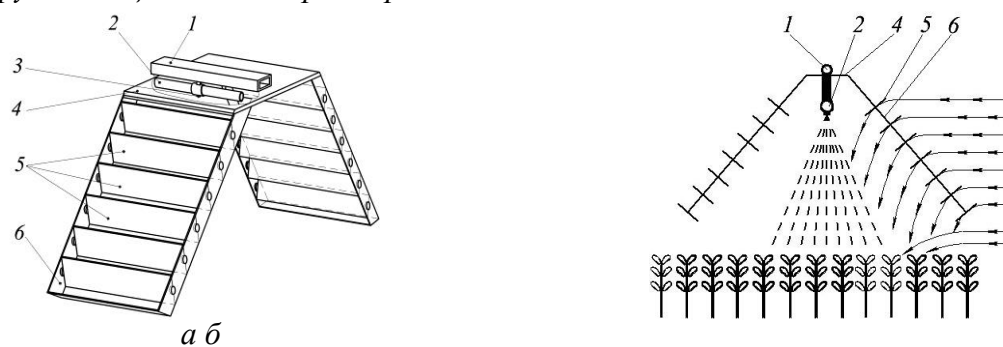


Рис. 5. Ветрозащитное устройство комбинированного действия [2, 15]: а – схема; б – рабочий процесс; 1 – несущая конструкция; 2 – распределительная штанга; 3 – распылитель; 4 – кронштейн; 5 – прямоугольные пластины (жалюзи); 6 – рамка

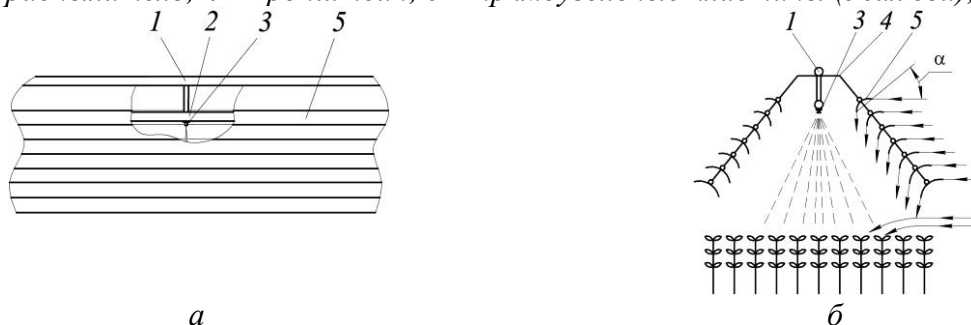


Рис. 6. Ветрозащитное устройство комбинированного действия [2, 16]: а – схема (вид спереди), б – рабочий процесс; 1 – несущая конструкция; 2 – распределительная штанга; 3 – распылитель; 4 – боковая рамка; 5 – изогнутая пластина (часть цилиндрической трубы)

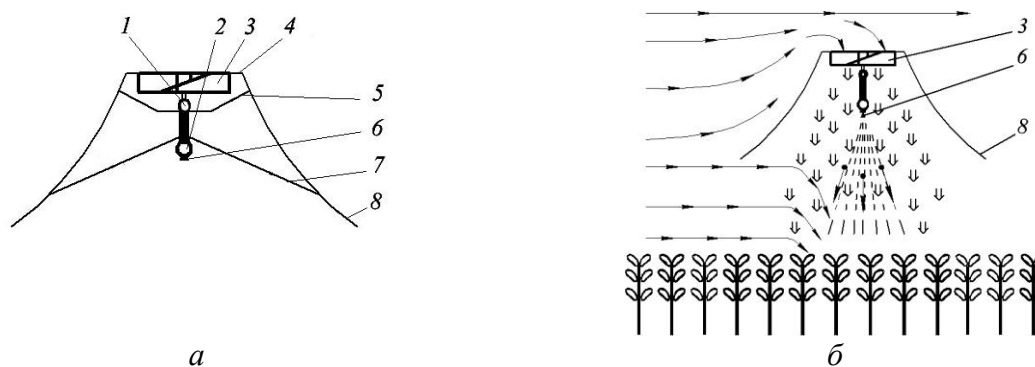


Рис. 7. Ветрозащитное устройство комбинированного действия [2, 17]: а, б – схемы; в – рабочий процесс; 1 – несущая конструкция; 2 – распределительная штанга; 3 – вентиляторы; 4 – козырек; 5, 7 – кронштейны; 6 – распылитель; 8 – ветрозащитные устройства (щитки)

Создаваемый ветром воздушный поток, взаимодействуя с поверхностями щитков ветрозащитных устройств, скользит по ним вниз и, сходя с их нижнего края, воздействует с движущимся внизу прямым воздушным потоком ветра, снижает его скорость и перенаправляет в сторону обрабатываемых поверхностей. При этом перенаправленный поток ветра доставляет капли рабочего раствора пестицидов к обрабатываемым поверхностям растений, что снижает потери пестицидов из-за сноса, увеличивает равномерность распределения его по обрабатываемой поверхности, следовательно, повышается качество внесения пестицидов. Перенаправленный поток ветра, входя под углом в растительный слой, обеспечивает проникновение капель внутрь растительного слоя и обработку нижней части листьев растений, что способствует повышению равномерности распределения пестицидов по объему растения, следовательно, повышается не только качество внесения пестицидов, но и эффективность химической защиты растений. Защита факела распыла при помощи перенаправленных струй воздушного потока позволяет увеличить высоту установки ветрозащитных устройств над обрабатываемым объектом и избежать их взаимодействия с растениями при колебаниях штанги.

В результате проведенных исследований в лабораторных условиях закономерностей распределения пестицидов отмечено, что факторами, влияющими на величину сноса, являются: дисперсность факела распыла (диаметр капель), параметры установки распылителей (высота и угол), скорость и направление ветра. Были обоснованы технологические и конструктивные параметры ветрозащитных устройств, позволяющих уменьшить величину сноса капель рабочего раствора пестицидов при обработках в ветреную погоду. В зависимости от конструкции ветрозащитного устройства коэффициент целевого использования жидкости увеличивался на 18-39% при исследуемых скоростях ветра от 1 до 6 м/сек. Установлено, что использование данных ветрозащитных устройств обеспечивает проникновение капель внутрь растительного слоя, что повышает эффективность химической защиты вследствие улучшения объемной обработки растений.

Заключение

В результате проведенного анализа результатов исследований и эксплуатации полевых опрыскивателей обоснованы требования к конструкциям ветрозащитных устройств факелов распыла и обоснованы варианты их использования в полевых штанговых опрыскивателях. Результатами лабораторных исследований подтверждена эффективность использования ветрозащитных устройств, обоснованы их конструктивные и технологические параметры. Установлено, что применение ветрозащитных устройств позволяет увеличить коэффициент целевого использования жидкости на 18-39% при исследуемых скоростях ветра от 1 до 7 м/сек.

Литература

1. Клочков А.В., Новицкий П.М., Маркевич А.Е. Снижение потерь пестицидов при опрыскивании: монография / – Горки: БГСХА, – 2017. – 230 с.

2. Крук И.С., Кот Т.П., Гордеенко О.В. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей: монография /. – Минск: БГАТУ, – 2015. – 284 с.
3. Schöenberger, Urs T. Janine Simon, Christian Stamm Are spray drift losses to agricultural roads more important for surface water contamination than direct drift to surface waters? // *Science of the Total Environment*. – 2022. – № 809. – С. 1 – 12.
4. Evaporation drift of pesticides active ingredients / M. De Schamphelire [et al.] // *Communications in agricultural and applied biological sciences*. – № 73 (4). – 2008. – p. 739–742.
5. Обоснование выбора методики исследований закономерностей сноса капель рабочего раствора пестицидов ветром / И.С. Крук [и др.] // *Агропанорама*. – 2024. – № 1 (161). – С. 17 – 22.
6. Wolf, Tom. Fundamentals of Spray Drift. [Электронный ресурс] / *Sprayers101* // <https://sprayers101.com/fundamentals-of-spray-drift/> (дата обращения: 18.04.2024).
7. Spray drift and pest control from aerial applications on soybeans / P.A. João [et al.] // *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*. – vol. 37. – № 3. – 2017. – p. 493-501.
8. Evaluation of Drift-Reducing Nozzles for Pesticide Application in Hazelnut (*Corylus avellana* L.) / Biocca Marcello [et al.] // *AgriEngineering* – vol. 3. – № 2. – p. 230–239.
9. Способы и устройства защиты факела распыла при внесении пестицидов в ветреную погоду / И.С. Крук [и др.] // *Механизация и электрификация: Межведомственный тематический сб. / НППЦ НАН Беларуси по механиз. сел. хоз-ва / ред. колл. В.Н. Дашков [и др.]*. – Минск, 2007. – С. 106–113.
10. Направления повышения качества внесения пестицидов в ветреную погоду / И.С. Крук [и др.] // *Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук*. – 2022. – Т. 60, No 3. – С. 320–331.
11. Effect of injection angle on drift potential reduction in pesticide injection nozzle spray applied in domestic agricultural drones / Seung-Hwa Yu [and oth.] // *Journal of Biosystems Engineering*. – № 189. – 2021. – С. 129–138.
12. Кот Т.П. Повышение эффективности обработки вегетирующих культур обоснованием параметров воздухораспределительной и гидравлической систем штанговых опрыскивателей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / – Минск, – 2006. – 152 с.
13. Lechler. Теория и практика опрыскивания 2010. – 2010. – 19 с.
14. Штанга опрыскивателя с ветрозащитными устройствами: пат. 3928 Респ. Беларусь, МПК А 01М 7/00 / И.С. Крук, А.В. Маркевич, О.В. Гордеенко, А.И. Гайдуковский, М.И. Назарова, Е.В. Послед; заявитель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № u 20070215; заявл. 26.03.2007; опубл. 30.10.2007 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці*. – 2007. – № 5 (58). – С. 163.
15. 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.
16. Штанга опрыскивателя с ветрозащитными устройствами: пат. 16589 Респ. Беларусь, МПК А 01М 7/00 / И.С. Крук, Е.В. Послед, О.В. Гордеенко, С.В. Якубовский, П.Э. Гринкевич, Г.Ф. Назарова; заявитель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № u 20100608; заявл. 08.06.2010; опубл. 30.12.2012 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці*. – 2012. – № 6 (89). – С. 62.
17. Штанга опрыскивателя с ветрозащитными устройствами: пат. 9714 Респ. Беларусь, МПК А 01М 7/00 / И.С. Крук, В.А. Агейчик, Д.Р. Мальцев, О.В. Гордеенко; заявитель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № u 20130442; заявл. 28.05.2013; опубл. 30.12.2013 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці*. – 2013. – № 6 (95). – С. 171.
18. Shields to Reduce Spray Drift / H.E. Ozkan [et al.] // *Journal of Agricultural engineering Research*. – 1997. – № 67(4). – p. 311–322.

References

1. Klochkov A. V., Novitskii P. M., Markevich A. E. Reduction of pesticide losses during spraying: a monograph - Gorki: BGSKhA, 2017. -230 p.
2. Kruk I. S., Kot T. P., Gordeenko O. V. Methods and technical means of protection of atomizing torch from direct wind impact in constructions of field sprayers: monograph - Minsk : BGATU, 2015. - 284 p.
3. Schönenberger Urs T. Are spray drift losses to agricultural roads more important for surface water contamination than direct drift to surface waters? / Urs T. Schönenberger, Janine Simon, Christian Stamm // *Science of the Total Environment*. - 2022. -no. 809. - Pp. 1 - 12.
4. Evaporation drift of pesticides active ingredients / M. De Schampheleire [et al.] // *Communications in agricultural and applied biological sciences*. - no. 73(4). - 2008. - Pp. 739-742.
5. I.S. Kruk [et al.] Obosnovanie vybora metodiki issledovaniia zakonornosti snosa kapel' rabocheho rastvora pestitsidov vetrom // *Agropanorama*. - 2024. - no. 1 (161). - Pp. 17 - 22.
6. Wolf, Tom. Fundamentals of Spray Drift. [Electronic resource] / *Sprayers101* // <https://sprayers101.com/fundamentals-of-spray-drift/> (accessed: 18.04.2024).
7. Spray drift and pest control from aerial applications on soybeans / P.A. João [et al.] // *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*. - vol. 37. - no. 3. - 2017. - Pp. 493-501.
8. Evaluation of Drift-Reducing Nozzles for Pesticide Application in Hazelnut (*Corylus avellana* L.) / Biocca Marcello [et al.] // *AgriEngineering* - vol. 3. - no. 2. - p. 230-239.
9. I.S. Kruk [et al.] Methods and devices of spray torch protection when applying pesticides in windy weather // *Mechanization and electrification: Interdepartmental thematic collection. / NPTs NAN Belarusi po mekhaniz. sel. khoz-va / eds: V.N. Dashkov [et al.]*. - Minsk, 2007. - Pp. 106-113.
10. I.S. Kruk [et al.] Directions to improve the quality of pesticide application in windy conditions // *Ves. Nats. akad. navuk Belarusi. Ser. agrar. navuk*. - 2022. - V. 60, No 3. - Pp. 320-331.
11. Effect of injection angle on drift potential reduction in pesticide injection nozzle spray applied in domestic agricultural drones / Seung-Hwa Yu [and oth.] // *Journal of Biosystems Engineering*. - no. 189.- 2021. - Pp. 129-138.
12. Kot T.P. Increase of vegetating crops treatment efficiency by justification of parameters of air distribution and hydraulic systems of boom sprayers: diss. candidate techn. sci: 05.20.01 - Minsk, 2006. - 152 p.
13. Lechler. Theory and practice of spraying. 2010. - Lechler, 2010. - 19 p.
14. Kruk I.S. , Markevich A.V. , Gordeenko O.V., Gaidukovskii A.I., Nazarova M.I., Posled E.V. Sprayer boom with wind protection devices: patent 3928 of the Republic of Belarus, MPK A 01M 7/00 /, applicant Belarus. gos. agr. agr. tech. un. - no. u 20070215; appl. 26.03.2007; publ. 30.10.2007 // *Afitsyiny byul. / Nats. tsentr intelektual. ulasnasti*. - 2007.- no. 5 (58). - P. 163.
15. Kruk I.S. , Gordeenko O.V. , Posled E.V., Gaidukovskii A.I., Nazarova G.F., Novikov A.A., Grinkevich P.E. Sprayer boom with wind protection devices: patent 6648 of the Republic of Belarus., MPK A 01M 7/00 Applicant Belarusian State Agrarian Technical University. - no. u 20100267; appl. 18.03.2010; publ. 30.10.2010 // *Afitsyiny byul. / Nats. tsentr intelektual. ulasnasti*. - 2010. - no. 5 (76). - P. 161.
16. Kruk I.S. , Posled E.V. , Gordeenko O.V., Yakubovskii S.V., Grinkevich P.E., Nazarova G.F. Sprayer boom with wind protection devices: patent 16589 of the Republic of Belarus., MPK A 01M 7/00 /; applicant Belarus. gos. agr. agr. tech. un. - no. u 20100608; appl. 08.06.2010; publ. 30.12.2012 // *Afitsyiny byul. / Nats. tsentr intelektual. ulasnasti*. - 2012. - no. 6 (89). - P. 62.
17. Kruk I.S. , Ageichik V.A. , Mal'tsev D.R., Gordeenko O.V. Sprayer boom with wind protection devices: patent 9714 of the Republic of Belarus., MPK A 01M 7/00 ; Applicant Belarusian State Agrarian Technical University - no. u 20130442; appl. 28.05.2013; publ. 30.12.2013 // *Afitsyiny byul. / Nats. tsentr intelektual. ulasnasti*. - 2013. - no. 6 (95). - P. 171.
18. Shields to Reduce Spray Drift / H.E. Ozkan [et al.] // *Journal of Agricultural engineering Research*. - 1997. - no. 67(4). - Pp. 311-322.