

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 632.93:632.934.1:631.348.4

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-1-4-11

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

ФЕДОРЕНКО ВЯЧЕСЛАВ ФИЛИППОВИЧ, академик РАН, д-р техн. наук, заместитель директора¹
vim@vim.ru, f@maro.pro

АРИСТОВ ЭДУАРД ГРИГОРЬЕВИЧ[✉], канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник²
mgp1947@mail.ru[✉]

КРАХОВЕЦКИЙ НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник²
npfguta@yandex.ru

¹ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

² Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса; 141261, г.п. Правдинский Московской области, ул. Лесная, 60

Аннотация. В рамках Стратегии «От поля до прилавка» Европарламент призывает пересмотреть процедуру допуска средств защиты растений (СЗР) в ЕС, усилить контроль за использованием СЗР и сократить их применение. Разработка энерго- и ресурсосберегающих агрохимических технологий применения СЗР подразумевает создание монодисперсных распылительных устройств для конкретных химических препаратов, определение норм их расхода на единицу площади, адаптированную к ним опрыскивающую технику и соответствующие сельскохозяйственные технологии. Создание распылительной техники требует принципиально нового подхода к методике ее испытаний и определению дисперсного состава капель распыла. В целях разработки инновационной методологии оптимизации работы распылительных устройств на основе метода дисперсного анализа капель распыла авторами разработан и изготовлен испытательный стенд, обеспечивающий репрезентативный отбор пробы аэрозоля. Разработаны экспресс-анализаторы качества опрыскивания, изготовленные в виде карточек размерами 90 на 40 мм или ленты шириной 40 мм и длиной 3 м, пропитанных раствором гексацианоферрата (III) калия концентрацией 5...7%. Создана компьютерная программа подсчета и ранжирования капель распыла в режиме реального времени. Представлены результаты исследований оптимизации нескольких параметров: норм расхода препарата и рабочей жидкости, плотности (концентрации) капель рабочей жидкости на поверхности объекта обработки, дисперсного состава капель распыла (размера капель, степени полидисперсности производительности и возможности регулирования параметров технологического процесса). Разработанный экспериментальный комплекс и технология экспериментального тестирования распылительных устройств позволяют проводить сравнительные испытания распылительных устройств.

Ключевые слова: средства защиты растений, мероприятия по защите растений, методы защиты растений, опрыскиватели, распылители, адресное внесение пестицидов, загрязнение окружающей среды, интенсивное сельскохозяйственное производство.

Формат цитирования: Федоренко В.Ф., Аристов Э.Г., Краховецкий Н.Н. Экологические аспекты оптимизации применения средств защиты растений // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 1. С. 4-11. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-1-4-11>.

© Федоренко В.Ф., Аристов Э.Г., Краховецкий Н.Н., 2022



ORIGINAL PAPER

ECOLOGICAL ASPECTS OF OPTIMIZED APPLICATION OF PLANT PROTECTION PRODUCTS

VYACHESLAV F. FEDORENKO, Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Deputy Director¹
vim@vim.ru, f@maro.pro

EDUARD G. ARISTOV[✉], PhD (Phys-Math), Lead Research Engineer²
mgp1947@mail.ru[✉]

NIKOLAY N. KRAKHOVETSKIY, PhD (Eng), Lead Research Engineer²
npfguta@yandex.ru

¹ Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 5, 1st Institutsky Proezd Str., Moscow, 109428, Russian Federation

² Russian Research Institute of Information and Technical-and-Economic Research on Engineering and Technical Support of the Agro-Industrial Sector; 60, Lesnaya Str., Moscow region, Pravdinsky, 141261, Russian Federation

Abstract. Within the “From Field to Counter” Strategy framework, the European Parliament calls for a review of the procedure for the admission of plant protection products (PPP) in the EU. The aim is to strengthen control over the PPP use and reduce their use. The development of energy- and resource-saving agrochemical technologies for the PPP use implies designing monodisperse spray devices for specific chemicals, specifying their consumption rates per unit area, and selecting compatible spray equipment and relevant agricultural technologies. The elaboration of spray technology requires a fundamentally new approach to its testing and determining the dispersed composition of spray droplets. To elaborate an innovative methodology for optimizing the operation of spraying devices based on the dispersive analysis of spray droplets, the authors have developed and manufactured a test bench that provides a representative aerosol sampling. Express analyzers of spraying quality have been developed, made in the form of cards with dimensions 90 by 40 mm or tape 40 mm wide and 3 m long, impregnated with a solution of potassium hexacyanoferrate (III) at a concentration of 5...7%. A computer program has been made for counting and ranking spray drops in a real-time mode. The article presents study results on the optimization of several parameters: the consumption rates of the products and the hydraulic medium, the density (concentration) of the power fluid droplets on the surface of the treatment object, the dispersed composition of the spray droplets (the droplet size, the degree of productivity polydispersity and the possibility of adjusting the technological process parameters). The developed experimental complex and the technology of experimental testing of spraying devices will facilitate comparative tests of spraying devices.

Key words: plant protection products, plant protection measures, plant protection methods, sprinklers, sprayers, targeted application of pesticides, environmental pollution, intensive agricultural production.

For citation: Fedorenko V.F., Aristov E.G., Krakhovetskiy N.N. Ecological aspects of optimized application of plant protection products. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2022; 24(1): 4-11. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-1-4-11>.

Введение. Современные тенденции и вызовы развития цивилизации свидетельствует о необходимости формирования адекватных трансформаций в экономической, технической, научной и других сферах современного общества. Наиболее актуальны и востребованы в настоящее время экологическая и цифровая трансформации, которые значимо влияют и остро обсуждаются на всех уровнях управления политической, экономической и других сфер общественной жизни в ООН, ЕС, в руководстве страны.

Комиссия ЕС инициировала внесение изменений в общий Регламент AGVO с целью повышения уровня и расширения инструментов поддержки (прежде всего – за счет государственного финансирования) для достижения приоритетов ЕС в реализации «Зеленого пакта для Европы». В рамках Стратегии «От поля до прилавка» перед сельским хозяйством ею поставлены высокие цели по уменьшению химической интенсивности и сокращению к 2030 году применения средств защиты растений (СЗР) в два раза, а также по пересмотру процедуры допуска их к применению и тщательному контролю за исследованиями¹.

С одной стороны, это сокращение норм расхода пестицидов на единицу обрабатываемых площадей, химическая и биологическая безопасность природы и человека, с другой – получение максимально возможных урожаев за счет повышения эффективности применения СЗР. Это две глобальные, противостоящие друг другу экономические и научно-технические коллизии современности [1].

Главное условие успеха в деле создания энерго- и ресурсосберегающих агрохимических технологий применения СЗР – это создание монодисперсных распылительных устройств для конкретных химических препаратов и норм их расхода на единицу площади, адаптированную к ним опрыскивающую технику и соответствующие сельскохозяйственные технологии. В данной сфере совершенствование распылительной техники является одним из основных

факторов развития инновационных сельскохозяйственных технологий. Создание такой техники требует принципиально нового подхода к методике ее испытаний и определению дисперсного состава капель распыла.

Несмотря на широкий спектр исследований процесса распыления жидкостей, имеет место дефицит достоверных количественных данных, на базе которых можно было бы установить физические основы процесса диспергирования, механизма распыления, создать основы количественной оценки и теоретического анализа диспергирования жидкостей.

Отсутствие теоретического анализа, понимания физики диспергирования, технологии измерения дисперсных характеристик сдерживает процесс дальнейшего развития применения аэрозолей в промышленности, медицине и сельском хозяйстве, в результате чего оно остается на уровне 60-х гг. XX в.

Цель исследований: разработать инновационную методологию оптимизации работы распылительных устройств на основе метода дисперсного анализа капель распыла, базирующегося на запатентованном способе возвращения первоначального вида спектра распыла, трансформирующегося в процессе взаимодействия с внешней средой; создать компьютерную программу подсчета и ранжирования капель распыла в режиме реального времени и представить информацию в виде таблиц и графиков для последующего анализа и управления технологическим процессом; разработать форсунки, средства распыла, опрыскиватели и другие технические средства для проведения лабораторных и натурных производственных испытаний.

Материалы и методы. Анализ отечественных и зарубежных исследований позволяет заключить, что оптимальный дисперсный состав капель распыла – главное условие оптимизации процесса опрыскивания в целом и для каждого технического цикла применения СЗР. При этом до настоящего времени, в связи с отсутствием адекватной методологии испытаний, в действующих стандартах ИСО и международных ГОСТах качество распыления оценивается по американскому стандарту как капля «очень мелкая, мелкая, средняя, крупная, очень крупная, чрезвычайно

¹ EU-Parlament stimmt für Farm to Fork, aber kritisiert Kommission [Европарламент проголосовал за Стратегию «От поля до прилавка»]. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agrarheute.com/politik/eu-parlament-stimmt-fuer-farm-to-fork-kritik-kommission-586508> (дата обращения: 11.12.2021).

крупная». В действующем у нас межгосударственном стандарте (п. 7.6 «Размер капель») его определяют при перемещении насадки над расположенными в ряд одинаковыми чашками Петри или карточками из мелованной бумаги размером 50x70 мм; выбирают насадку, у которой расход наиболее близок к среднему значению² [2-4]. Плотность покрытия обрабатываемого объекта и дисперсность распыла также определяются согласно ГОСТ ИСО 5682-1-2004. В качестве рабочей жидкости используют 1,5%-ный раствор нигрозина [3, 5, 6], причем в ГОСТе дается пояснение того, что исходное «испытание обеспечивает только минимальную точность, поэтому оно будет пересмотрено при совершенствовании технологии определения размера капель».

К основным регламентирующим техническим и технологическим показателям техники для внесения СЗР относятся:

- норма расхода препарата;
- норма расхода рабочей жидкости (концентрация препарата в рабочей жидкости);
- плотность (концентрация) капель рабочей жидкости на поверхности объекта обработки;
- оптимальный дисперсный состав капель распыла (размеры капель, степень полидисперсности, производительность, возможность регулирования этих параметров)¹ [7]. В этой связи требуется разработка принципиально иного подхода к методике испытаний и определению дисперсного состава капель распыла.

Результаты и обсуждение. Обеспечение экологически безопасного применения средств защиты растений в значительной мере зависит от эффективности работы машин и технических средств по обеспечению качественных показателей технологического процесса, а именно:

- от соблюдения норм расхода препарата и рабочего раствора (концентрации препарата в рабочей жидкости);
- от плотности (концентрации) капель рабочего раствора на поверхности объекта;
- от оптимального дисперсного состава капель распыла (размера капель, степени их полидисперсности, производительности и возможности регулирования этих параметров).

С целью определения плотности покрытия обрабатываемого объекта и дисперсности распыла традиционно карточки из мелованной бумаги размером 50x70 мм развешивают на растения по определенной схеме в зависимости от культуры, чтобы охватить ими весь объем или значительные поверхности. Неравномерность распределения препарата определяют путем учета количества капель по верху и низу листьев (по ярусам и зонам кроны) и по растению (дереву) в целом. К недостаткам этого метода можно отнести применение нигрозина – очень стойкого органического красителя, попадание которого на нецелевые объекты является нежелательным.

Капли размерами в десятки и сотни микрон достаточно широко растекаются по поверхности карточки, а размер пятна даже приближенно не равен размеру самой капли:

$$D_{\text{капли}} = \Delta D_{\text{пятна}},$$

где Δ – коэффициент пропорциональности, непостоянный для всего диапазона размеров капель.

Мелкие капли оставляют след, мало отличающийся от их размера, а след крупной капли намного превышает ее диаметр. Определить этим методом размер капли, осажженной на карточку, в настоящее время не представляется возможным.

При определении количественных характеристик дисперсного состава капель распыла необходимо учитывать такие существенные факторы, как:

- деформация спектра генеральной совокупности в результате испарения капель;
- гравитационное разделение спектра капель по размерам за счет различной скорости седиментации;
- технология отбора пробы капель из факела;
- выбор теоретической функции, аппроксимирующей опытное распределение;
- неоднородность спектра капель в горизонтальном сечении факела.

Моделирование процесса гравитационного разделения капель по размерам позволило сделать вывод о зависимости его от испаряемости, влияния восходящих движений, коагуляции и др. Процесс гравитационного осаждения многозначен и не может быть представлен как функция одного аргумента. Поэтому создать теоретическую модель, учитывающую все стороны этой многозначности, не представляется возможным (по крайней мере в рамках настоящей работы).

Чтобы отклонения, причиной которых может быть гравитационное осаждение капель, не влияли на точность измерения, был отработан такой порядок проведения эксперимента, при котором отбор пробы аэрозоля производится в условиях равной вероятности осаждения для частиц всех размеров.

Неоднородность спектра капель приводит к тому, что численные показатели, отображающие дисперсные свойства спектра капель, носят многозначный характер. Поэтому выбор основных показателей и геометрическое место взятия пробы на поверхности орошения – вопрос, требующий специального решения.

Разработанные авторами технологические приемы и методы экспериментального определения количественных характеристик спектра капель распыла для отдельного распылительного механизма обеспечивают равную вероятность осаждения на коллектор всех капель, диспергированных за период экспозиции. В эту выборку не входят капли, образовавшиеся до начала экспозиции или после ее завершения.

Время от начала работы распылителя до выхода его на режим, а также момент прекращения работы распылителя не должны входить в период экспозиции. Выполнение этого условия обеспечивает заслонка (отсекатель потока), регулирующая процесс поступления аэрозоля в камеру. В начале эксперимента заслонка перекрывает доступ аэрозоля в камеру. После выхода форсунки на режим заслонка открывается. Капли начинают свободно осажаться на карточки. Перемещением заслонки управляет пневмоцилиндр, который обеспечивает высокую скорость поступательного движения и точное позиционирование отсекающего потока аэрозоля.

В целом время экспозиции выбирается таким, чтобы даже мелкие капли успели осесть на коллектор.

В горизонтальном сечении факела распыла в рамках существующей неоднородности по концентрации и размерам капель обозначены геометрические места линий симметрии, вдоль которых должны выкладываться карточки.

² ГОСТ ИСО 5682-1-2004 «Оборудование для защиты растений. Оборудование распылительное. Ч. 1. Методы испытаний распылительных насадок» (введен 1 января 2008 г.).

Такой порядок взятия пробы позволяет получить количественные значения градиентов неоднородности спектра генеральной совокупности по размерам, концентрации и суммарной массе капель по всей поверхности орошения.

Оценены вероятность искажения спектра распыла в результате разбрызгивания капель жидкости при ударе о поверхность и влияние инициированных слабых восходящих движений на спектральные характеристики.

Авторами разработан и изготовлен испытательный стенд, который обеспечивает репрезентативный отбор пробы аэрозоля, свободный от всякого рода искажений, возникающих за счет испарения капель, гравитационного

разделения капель по размерам (скорости осаждения), инерционности распылительных механизмов, способа и времени экспозиции, вторичного разбрызгивания капель при ударе о стенки или потолок камеры.

Испаряемость капель – фактор, который может существенно исказить результат измерения.

В процессе лабораторных исследований установлено время испарения капель разных размеров в условиях различных температур и влажности внешней среды (табл. 1).

Сопоставив скорость испарения капель со скоростью их осаждения, получили численные значения скорости осаждения капель разных размеров (по Стоксу) (табл. 2).

Таблица 1

Время испарения капель

Table 1

Evaporation time of drops

| Диаметр капли, мкм <i>Drop diameter, μm</i> | T = 20°C, влажность 80% <i>Humidity 80%</i> | T = 25°C, влажность 60% <i>Humidity 60%</i> | T = 30°C, влажность 50% <i>Humidity 50%</i> |
|--|---|--|--|
| | Время полного испарения капли, с / <i>Time of the complete evaporation of a drop, s</i> | | |
| 25 | 2 | 1,1 | 0,6 |
| 50 | 7 | 3,7 | 2,1 |
| 75 | 16 | 9 | 4,7 |
| 100 | 50 | 30 | 14 |

Таблица 2

Скорость осаждения капель

Table 2

Droplet deposition rate

| Диаметр капли, мкм <i>Drop diameter, μm</i> | Скорость осаждения, см/с <i>Deposition rate, cm/s</i> | Время осаждения, с <i>Deposition time, s</i> |
|--|--|---|
| 10 | 0,3 | 340 |
| 20 | 1,2 | 86 |
| 30 | 2,6 | 38 |
| 40 | 4,7 | 22 |
| 50 | 7,4 | 13,6 |
| 60 | 11 | 9,4 |
| 70 | 14 | 7 |
| 80 | 19 | 5,2 |
| 90 | 24 | 4,2 |
| 100 | 29 | 3,4 |

Сравнительный анализ этих результатов показывает, что капли размером менее 50 мкм практически не могут достичь поверхности защищаемого объекта, поскольку в процессе осаждения они продолжают испаряться, соответственно уменьшается их размер и замедляется скорость осаждения.

В последнее время для оценки качественных показателей химзащитных работ применяют карточки из водочувствительной плотной бумаги со специальным желтым покрытием, которое окрашивается в темно-синий цвет при попадании на него капель воды и не требует добавления красителя в водный раствор. При опрыскивании водочувствительная бумага в месте попадания капель

окрасится в синий цвет, и отразится рисунок распределения капель по поверхности карточки. Поверхностный водочувствительный слой гигроскопичен и на воздухе. Впитывая влагу, он окрашивается и становится непригодным для дальнейшего использования.

С целью исключения указанных недостатков авторами разработаны карточки, которые изготовлены из плотной бумаги, пропитанной специальным раствором, содержащим индикатор. Распыляемый рабочий раствор содержит неорганическое химическое соединение, образующее с индикатором цветной нерастворимый осадок. Карточки являются негигроскопичными, а цветная картина распределения капель

закрепляется на них и не меняет своих свойств. Рабочий раствор не содержит красителей и абсолютно безвреден.

В таблице 3 приведено несколько возможных разновидностей химических реакций, дающих цветные осадки [4, 8-10].

Таблица 3

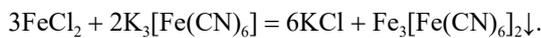
Цветные химические реакции

Table 3

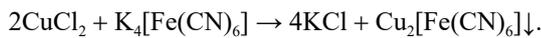
Colour chemical reactions

| Определяемый ион <i>Detected ion</i> | Реактив <i>Reagent</i> | Чувствительность <i>Sensitivity</i> | Цвет осадка <i>Sediment color</i> |
|---|---|--|--------------------------------------|
| Cu^{2+} | $K_4[Fe(CN)_6]$ – желтая кровяная соль | 0,0001 мг/мл | Красно-коричневый / Red brown |
| Fe^{3+} | $K_4[Fe(CN)_6]$ – желтая кровяная соль | 0,03 мг/мл | Синий / Blue |
| Fe^{3+} | NH_4CSN – роданит аммония | - | Кроваво-красный / Blood red |
| Fe^{2+} | $K_3[Fe(CN)_6]$ – красная кровяная соль | 0,0001 мг/мл | Темно-синий / Navy blue |

Была выбрана реакция двухвалентного железа (хлористое железо) с гексацианоферратом (III) калия (красная кровяная соль), в результате которой образуется синий осадок (турнбулевая синь):



Также можно предложить реакцию двухвалентной меди с гексациано-ферратом (IV) калия (желтая кровяная соль), в результате которой образуется красно-коричневый осадок:



На рисунке 1 представлены фотографии поверхностей карточек с такими покрытиями.

Выбор химических реагентов обусловлен высокой чувствительностью реакции, их толерантностью по отношению к растениям, высоким контрастом получаемого изображения. При этом карточки являются негигроскопичными, цветная картина распределения капель закреплена на их поверхности и не меняет своих свойств.

Предложенный способ определения качества опрыскивания исключает искажение результатов оценки вследствие испарения воды. Разработанные карточки для экспресс-анализа чувствительны к солям железа или меди, реагируют не на воду, а на растворенные в ней химические соединения, масса которых в растворе не меняется, следовательно, процесс испарения растворителя (воды) не влияет на размеры следов капель на карточке.

Процесс испарения будет иметь место только до момента снижения упругости пара над каплей до значения относительной влажности в окружающей среде.

На графике рисунка 2 представлена динамика повышения концентрации соли в капле до 30...40%, при которой испарение прекращается, так как градиент влажности у поверхности капли становится нулевым.

Экспресс-анализаторы качества опрыскивания изготавливались в виде карточек размерами 90×40 мм или в виде ленты шириной 40 мм и длиной 3 м.

Бумага пропитывается раствором гексацианоферрата (III) калия концентрацией 5...7%. После высушивания бумага приобретает желтый (соломенный) цвет и готова к употреблению.

На карточку (рис. 3а) наносится рисунок в виде квадратов. Площадь каждого квадрата составляет 1 см².

Просчитывается количество капель в отдельных квадратах, определяется их среднее количество на 1 см² по формуле:

$$\bar{N} = \sum_1^n N_i / n,$$

где \bar{N} – средняя концентрация капель на конкретном участке поля орошения; N_i – концентрация капель в отдельных квадратах; n – число просчитанных квадратов.

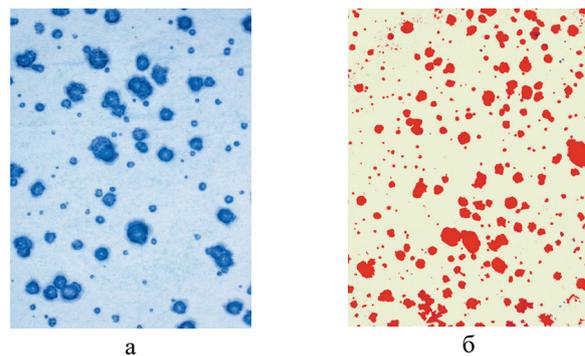


Рис. 1. Макроизображение поверхностей карточек с осажденными на нее каплями:

а – слабого раствора хлористого железа (Fe^{2+}); б – слабого раствора двухвалентной меди с гексацианоферратом (Cu^{2+})

Fig. 1. Macro image of the card surface with the drops deposited on it:

a – a weak solution of ferric chloride (Fe^{2+}); b – a weak solution of bivalent copper with hexacyanoferrate (Cu^{2+})

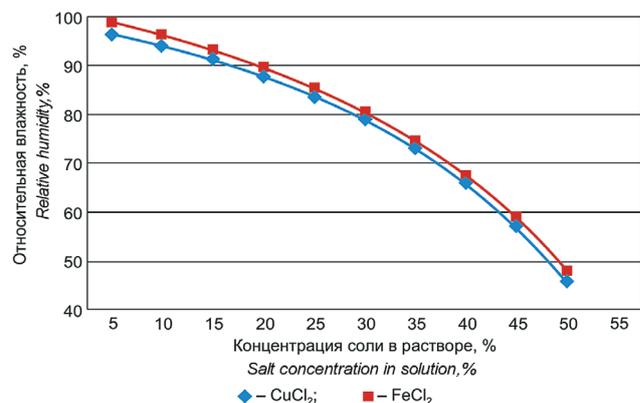


Рис. 2. Относительная влажность над растворами солей

Fig. 2. Relative humidity measured above salt solutions

На ленту (рис. 3б) наносится шкала с ценой деления 1 см. Нулевая отметка располагается в середине ленты и градуируется от неё в обе стороны. Цвет делений с каждой стороны разный: красный и синий.

Лента располагается под форсункой таким образом, чтобы нулевая отметка находилась точно на оси, проходящей через центр форсунки.

Каждая сторона просчитывается отдельно, и на основании этих результатов рассчитывается неоднородность численной концентрации капель относительно центральной оси факела.

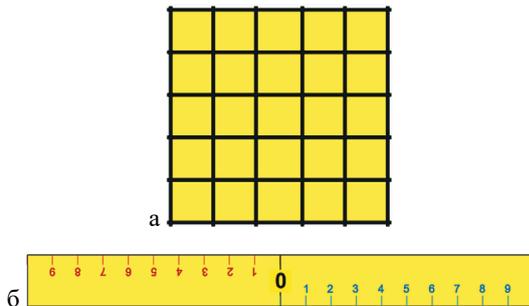


Рис. 3. Экспресс-анализаторы качества опрыскивания:
а – в виде карточки; б – в виде ленты

Fig. 3. Express analyzers of the spraying quality:
а – in the form of a card; б – in the form of a tape

Для измерения концентрации капель их изображение на ленте обрабатывается с помощью портативного цифрового USB-микроскопа Levenhuk DTX 90, позволяющего получать снимки высокого качества и разрешения, подключающегося к компьютеру через стандартный порт USB2.0.

Количество капель, необходимое для обеспечения репрезентативности выборки, составляет 600...1200 шт. Такое количество необходимо набрать на каждой линии отбора пробы (16 коллекторов), то есть в среднем нужно измерить около 16000 капель, что является довольно сложным. В связи с этим создана компьютерная программа графической обработки фотографий массива восстановленных капель.

В рамках этой программы осуществляются распознавание капель на фотографии, установление их размеров, группирование в интервалы заданной ширины. Определяются несколько показателей: равномерность покрытия в процентах к общей площади на различных участках зоны орошения; площадь покрытия карточки следами капель; процентная доля покрытия относительно площади карточки и численная концентрация капель на площади орошения [11, 12].

Равномерность распределения рабочей жидкости оценивается сравнительным анализом пигментированной карточки или ленты, а численная концентрация капель определяется количеством их отдельных цветных отпечатков.

В ходе создания программы разработан следующий алгоритм:

1. Открыть изображение линейки и определить цену деления шкалы в микронах.

2. Открыть файл с каплями и выделить обрабатываемый участок.

3. Распознать капли измерить их размеры.

Суммарное количество фотографий, полученных со всей поверхности орошения, – до 200.

Обработка одной фотографии, содержащей 50...70 капель, занимает 6-8 с. После обработки требуемого количества изображений, полученных при проведении эксперимента, данные переносятся в электронную таблицу, которая осуществляет количественный расчет параметров распределения. Общее время обработки материалов, полученных на одном участке поверхности орошения, составляет 5-7 мин. Время обработки всех 16 коллекторов не превышает 2 ч.

Интерфейс программы включает в себя две команды: «Файл» и «Линейка». Перед началом измерений устанавливается и загружается в программу цена деления контрольной миллиметровой линейки в пикселях.

В первую очередь программа осуществляет цветовую трансформацию изображения пятен и поверхности карточки с целью повышения контраста отпечатка. Изображение очищается от посторонних вкраплений и бликов, а затем происходит подсчет (рис. 4).

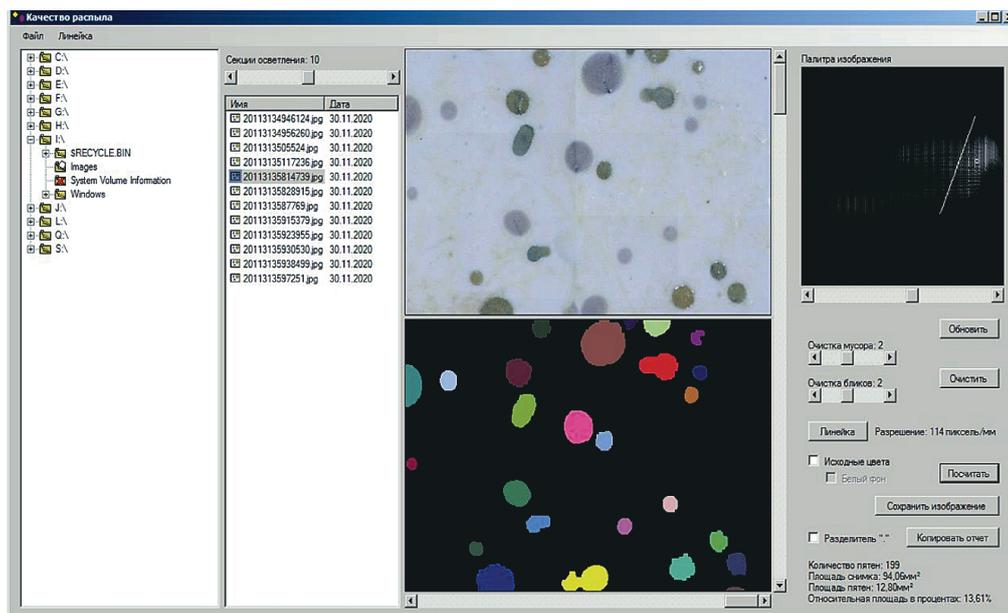


Рис. 4. Подсчет капель на карточке

Fig. 4. Counting drops on a card

По результатам измерения определяются число пятен, общая площадь обработанной поверхности, суммарная и относительная площадь пятен.

Результаты расчетов вносятся в итоговую таблицу, а также представляются в виде графика. По команде «Сохранить» эти данные сохраняются в таблице Excel для итогового расчета (рис. 5).

| № | Количество | Общ. площадь, мм ² | Площадь, мм ² | Отн. Площадь, % |
|----|------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------|
| 1 | 95 | 94,06 | 4,43 | 4,71 |
| 2 | 77 | 94,06 | 3,53 | 3,75 |
| 3 | 108 | 94,06 | 6,05 | 6,43 |
| 4 | 100 | 94,06 | 2,88 | 3,06 |
| 5 | 201 | 94,06 | 12,26 | 13,03 |
| 6 | 230 | 94,06 | 12,43 | 13,21 |
| 7 | 231 | 94,06 | 13,63 | 14,49 |
| 8 | 108 | 47,52 | 5,79 | 12,18 |
| 9 | 103 | 47,52 | 6,81 | 14,34 |
| 10 | 85 | 47,52 | 4,87 | 10,25 |
| 11 | 100 | 47,52 | 5,06 | 10,68 |
| 12 | 98 | 47,52 | 6,4 | 11,35 |

Рис. 5. Итоговая расчетная таблица

Fig. 5. Final calculation table

Определение качественных характеристик спектра капель методом экспресс-тестирования проводилось в аэрозольной камере. Карточки выкладывались на пробоотборники в четырех зонах (0-3). Зона 0 располагалась непосредственно под форсункой, а каждая последующая зона отстояла от предыдущей на 25 см.

Таким образом, контролируемая зона орошения отстояла в обе стороны от центра на 1 м. Карточки экспонировались в потоке аэрозоля в течение 1 с. Далее они выдерживались в камере в течение 20 мин до полного осаждения на них капель. При этом испаряемость капель была минимальной благодаря растворенному в них неорганическому соединению, понижающему упругость пара над каплями.

Осаждение капель в каждой зоне исследования лабораторной установки фиксировалось в виде 19 цифровых

изображений поверхности карточки (рис. 6). Затем изображения обрабатывались компьютерной программой (табл. 4).

Из таблицы 4 следует, что численная концентрация капель является максимальной в нулевой зоне. В первой зоне число капель значительно меньше, но их суммарная площадь больше, чем в нулевой зоне. Это говорит о том, что размеры капель в зоне 1 больше, чем в нулевой зоне. Во второй зоне численная концентрация капель значительно меньше, чем в нулевой и первой зонах, но капли имеют существенно большие размеры. Третья – периферийная зона – имеет невысокую численную концентрацию капель сравнительно небольших размеров.

В целом можно сделать вывод о достаточно высокой степени осевой неоднородности дисперсных характеристик факела распыла (размеров капель и их счетной концентрации) на поле орошения.

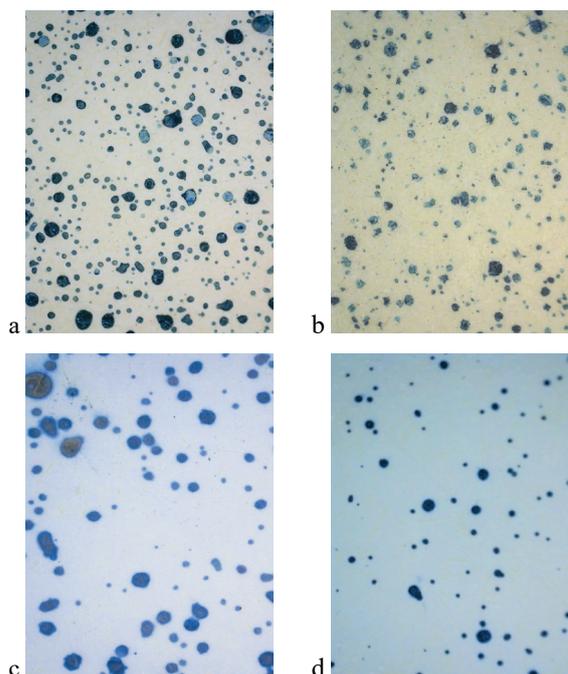


Рис. 6. Цифровые изображения карточки: a – зона 0; b – зона 1; c – зона 2; d – зона 3

Fig. 6. Digital images on the card:

a – zone 0; b – zone 1; c – zone 2; d – zone 3

Результаты компьютерной обработки карточек по зонам

Таблица 4

Table 4

Results of computer processing of cards by zones

| Зона Zone | Число Number | Общая площадь, мм ² Total area, mm ² | Площадь пятен, мм ² Spot area, mm ² | Относительная площадь, % Relative area, % |
|--------------|-----------------|---|--|--|
| 0 | 470 | 47 | 4,7 | 10,09 |
| 1 | 300 | 47 | 4,8 | 10,22 |
| 2 | 110 | 47 | 5,54 | 11,8 |
| 3 | 80 | 47 | 1,33 | 2,84 |

Выводы

1. Разработанный экспериментальный комплекс позволяет проводить сравнительные испытания распылительных устройств.

2. Разработанная технология экспериментального тестирования распылительных устройств позволяет выявить и научно обосновать теоретические закономерности, правила, методы расчета и управления промышленными аэрозолями.

Библиографический список

1. Дорохов А.С., Старостин И.А., Ещин А.В. Перспективы развития методов и технических средств защиты сельскохозяйственных растений // *Агроинженерия*. 2021. № 1 (101). С. 26-35. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-1-26-35>
2. Веретенников Ю.М., Долженко В.И., Горбачев И.В. и др. Монодисперсные техногенные аэрозоли // *Материалы к симпозиуму по научно-технической проблеме «Создание и внедрение монодисперсных технологий сжигания жидких углеводородов и внесения пестицидов взамен полидисперсных»* (5 сентября 2013 г.). Большие Вяземы, 2013. 28 с.
3. Утков Ю.А. Технологические и технические требования к сельскохозяйственным опрыскивателям: Монография / Ю.А. Утков, В.В. Бычков, В.М. Дринча. М.: ФГБНУ ВСТИСП, 2015. 183 с.
4. Евстигнеев В.В., Есков А.В. Комплекс оптического контроля дисперсного состава струи распыленной жидкости // *Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение»*. 2007. № 3. С. 13-21.
5. Степановских А.С., Жернова С.Ю., Жернов Г.О. Химическая защита растений: проблемы и перспективы // *Актуальные проблемы медицины и биологии*. 2019. № 1. С. 28-34.
6. Юрий М. Защита растений. Подходы и методы. [Электронный ресурс]. Online-газета «Защита растений». 2017. № 03. URL: <https://www.agroxxi.ru/gazeta-zaschita-rastenii/zrast/zaschita-rastenii-podhody-i-metody.html> (дата обращения: 20.11.2021).
7. Федоренко В.Ф., Аристов Э.Г. и др. Инновационные методы исследования дисперсных характеристик распылителей машин для химической защиты растений: Научное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 120 с.
8. Arkhipov V.A., Bondarchuk S.S., Evsevlev M.Ya. Experimental investigation of the dispersion of liquids by ejection atomizers. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2013. 86 (6): 1306-1314. <https://doi.org/10.1007/s10891-013-0955-3>
9. Справочник химика / Под ред. Б.П. Никольского. Т. 1. Общие сведения, строение вещества, свойства важнейших веществ, лабораторная техника. М. – Л.: Химия, 1965. 1008 с.
10. Справочник химика / Под ред. Б.П. Никольского. Т. 3. Химическое равновесие и кинетика, свойства растворов, электродные процессы. М. – Л.: Химия, 1965. 1005 с.
11. Gong Ch.W., Ma Yu, Yang R., Ruan Y.W., Wang X.G., Liu Y. Effect of nozzle type on the spray performance of plant protection unmanned aerial vehicle (UAV), 2020. *Scientia Agriculture Sinica*. 2020. 53 (12): 2385-2398. <https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2020.12.007>
12. Веретенников Ю.М., Островский В.Г., Антонюк П.Н., Паремский И.Я., Овсянкина А.В. Система СИ: система единиц измерений дисперсности // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2012. № 2. С. 27-29.

Критерии авторства

Федоренко В.Ф., Аристов Э.Г., Краховецкий Н.Н. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Федоренко В.Ф., Аристов Э.Г., Краховецкий Н.Н. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 27.12.2021

Одобрена после рецензирования 10.01.2022

Принята к публикации 14.01.2022

References

1. Dorokhov A.S., Starostin I.A., Eshchin A.V. Prospects for the development of methods and technical means of protecting agricultural plants [Perspektivy razvitiya metodov i tekhnicheskikh sredstv zashchity sel'skokhozyaystvennykh rasteniy]. *Agroengineering*. 2021; 1 (101): 26-35. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-1-26-35> (In Rus.)
2. Veretennikov Yu.M., Dolzhenko V.I., Gorbachev I.V. et al. Monodispersnye tekhnogennye aerozoli: Materialy k simpoziyumu po nauchno-tekhnicheskoy probleme "Sozдание i vnedrenie monodispersnykh tekhnologiy szhiganiya zhidkikh uglevodorodov i vneseniya pestitsidov vzamen polidispersnykh" [Monodisperse technogenic aerosols: Materials for the symposium on the scientific and technical problem "Development and implementation of monodisperse technologies for combustion of liquid hydrocarbons and the introduction of pesticides instead of polydisperse"] (September 5, 2013). Bolshie Vyazemy, 2013. 28 p. (In Rus.)
3. Utkov Yu.A., Bychkov V.V., Drinkcha V.M. Technological and technical requirements for agricultural sprayers [Tekhnologicheskie i tekhnicheskie trebovaniya k sel'skokhozyaystvennym opryskivatelyam]: monograph. Moscow, FGBNU VSTISP, 2015. 183 p. (In Rus.)
4. Evstigneev V.V., Eskov A.V. Kompleks opticheskogo kontrolya dispersnogo sostava strui raspylennoy zhidkosti [Means for optical control of the dispersed composition of a liquid spray]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. "Priborostroenie" Series*, 2007; 3; 13-21. (In Rus.)
5. Stepanovskikh A.S., Zhernova S.Yu., Zhernov G.O. Khimicheskaya zashchita rasteniy: problemy i perspektivy [Chemical protection of plants: problems and prospects]. *Aktual'nye problemy meditsiny i biologii*, 2019; 1: 28-34. (In Rus.)
6. Yuri M. Zashchita rasteniy. Podkhody i metody [Plant protection. Approaches and methods]. [Electronic resource]. *Zashchita rasteniy*, 2017; 3. URL: <https://www.agroxxi.ru/gazeta-zaschita-rastenii/zrast/zaschita-rastenii-podhody-i-metody.html> (access date: 20.11.2021). (In Rus.)
7. Fedorenko V.F., Aristov E.G. et al. Innovatsionnye metody issledovaniya dispersnykh kharakteristik raspyliteley mashin dlya khimicheskoy zashchity rasteniy: nauch. izd. [Innovative research methods to study dispersed characteristics of chemical plant protection machine sprayers: scientific. ed.] Moscow, FGBNU "Rosinformagrotekh", 2021. 120 p. (In Rus.)
8. Arkhipov V.A., Bondarchuk S.S., Evsevlev M.Ya. Experimental investigation of the dispersion of liquids by ejection atomizers. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2013; 86 (6): 1306-1314. <https://doi.org/10.1007/s10891-013-0955-3>
9. Spravochnik khimika [Chemist's handbook] / Ed. by B.P. Nikolsky. Vol. 1. Obshchie svedeniya, stroenie veshchestva, svoystva vazhneyshikh veshchestv, laboratornaya tekhnika [General information, structure of matter, properties of the most important substances, laboratory technology]. M. – L.: Khimiya, 1965. 1008 p. (In Rus.)
10. Spravochnik khimika [Chemist's handbook] / Ed. by B.P. Nikolsky. Vol. 3. Khimicheskoe ravnovesie i kinetika, svoystva rastvorov, elektrodnye protsessy [Chemical equilibrium and kinetics, properties of solutions, electrode processes]. M. – L.: Khimiya, 1965. 1005 p.
11. Gong Ch.W., Ma Yu, Yang R., Ruan Y.W., Wang X.G., Liu Y. Effect of nozzle type on the spray performance of plant protection unmanned aerial vehicle (UAV). *Scientia Agriculture Sinica*, 2020; 53 (12): 2385-2398. <https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2020.12.007>
12. Veretennikov Yu.M., Ostrovsky V.G., Antonyuk P.N., Paremский I.Ya., Ovsyankina A.V. Sistema SI: sistema edinits izmereniy dispersnosti [SI system: a system of dispersion measurement units]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennye mashiny*, 2012; 2: 27-29. (In Rus.)

Contribution

V.F. Fedorenko, E.G. Aristov, N.N. Krakhovetskiy performed theoretical studies, and based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. V.F. Fedorenko, E.G. Aristov, N.N. Krakhovetskiy have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 27.12.2021

Approved after reviewing 10.01.2022

Accepted for publication 14.01.2022