

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.348.46

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-11-18>**Обоснование элементов механизированной операции и рационального типа распылителя для уничтожения сорной растительности в рядах малины гербицидом*****В.В. Кузнецов¹, А.И. Купреенко², Х.М. Исаев³, С.Х. Исаев⁴, С.М. Михайличенко⁵***^{1,2,3,4}Брянский государственный аграрный университет; Брянская область, Россия⁵Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия¹vlg3k@rambler.ru; <https://orcid.org/0009-0002-0595-2521>²kupreenkoai@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>³haf-is@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4912-9908>⁴Samir.isaev.94@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6877-3128>⁵S.M.Mikhailichenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2305-2909>

Аннотация. Уничтожение сорной растительности в рядах малины агротехническим способом в России имеет низкий уровень механизации, и внесение гербицидов не практикуется. Поэтому конструктивные параметры и режимы работы опрыскивателей для уничтожения сорной растительности в рядах малины химическим способом недостаточно исследованы. С целью решения этой проблемы проведены эксперименты по оценке равномерности осаждения жидкости различного типа распылителями по ширине захвата в зависимости от высоты установки, углов наклона и скорости ветра. Исследования проведены в лабораторных условиях Брянского ГАУ и Всероссийского института защиты растений, г. С.-Петербург-Пушкин, с использованием распределительного стенда. Показателем равномерности осаждения жидкости по ширине захвата распылителя принят коэффициент вариации. Установлено, что наиболее рациональным по геометрическим параметрам образуемого капельного факела и дисперсности распыла является щелевой распылитель IS желтого цвета. В зависимости от скорости ветра изменение высоты установки распылителя от 0,1 до 0,7 м приводит к снижению коэффициента вариации с 68 до 10%. При высоте установки распылителя от 0,3 до 0,7 м увеличение угла наклона распылителя навстречу воздушному потоку приводит к увеличению коэффициента вариации, а при расположении от 0,1 до 0,3 м коэффициент вариации снижается. Влияние рассматриваемых факторов на коэффициент вариации носит нелинейный характер, что дает основание предположить о существовании глобального экстремума и необходимости дальнейших испытаний.

Ключевые слова: ряды малины, уничтожение сорной растительности, гербицид, внесение гербицидов, распылитель, высота установки распылителя, угол наклона распылителя, коэффициент вариации

Для цитирования: Кузнецов В.В., Купреенко А.И., Исаев Х.М., Исаев С.Х., Михайличенко С.М. Обоснование элементов механизированной операции и рационального типа распылителя для уничтожения сорной растительности в рядах малины гербицидом // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 6. С. 11-18. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-11-18>

ORIGINAL ARTICLE

Rationale for the elements of a mechanized operation and a sprayer type for killing weeds with a herbicide in raspberry rows***V.V. Kuznetsov¹, A.I. Kupreenko², K.M. Isaev³, S.K. Isaev⁴, S.M. Mikhailichenko⁵***^{1,2,3,4}Bryansk State Agrarian University; Bryansk, Russia⁵Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia¹vlg3k@rambler.ru; <https://orcid.org/0009-0002-0595-2521>²kupreenkoai@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>³haf-is@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4912-9908>⁴Samir.isaev.94@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6877-3128>⁵S.M.Mikhailichenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2305-2909>

Abstract. The agrotechnology of weed killing in raspberry rows is poorly mechanized in Russia. Unlike in other countries, herbicides are not typically applied in the raspberry rows. Therefore, there has been little study of the design parameters and operating modes of sprayers used for killing weeds chemically in raspberry rows. The authors used

a distribution trial unit for carrying out experiments to evaluate the liquid deposition uniformity of various types of sprayers along working width, depending on the installation height, tilt angles and wind speed. The experiments were carried out in the laboratory conditions of Bryansk State Agrarian University and All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg-Pushkin. The coefficient of variation was used as an indicator of the liquid deposition uniformity over the working width of the sprayer. It has been established that the IS yellow slot sprayer is the most rational option in terms of geometric parameters of the formed drip torch and spray dispersion. Changing the height of the sprayer installation from 0.1 to 0.7 meters leads to a decrease in the coefficient of variation from 68 to 10%, depending on the wind speed. An increase in the angle of inclination of the sprayer towards the airflow at a height of 0.3 to 0.7 meters leads to an increase in the coefficient of variation, and in the height range of the sprayer from 0.1 to 0.3 meters – to a slight decrease in the coefficient of variation. The influence of the considered factors on the coefficient of variation is nonlinear, which suggests the existence of a global extremum and the need for further tests.

Keywords: rows of raspberry, weed killing, herbicide, application of herbicides, sprayer, sprayer installation height, sprayer inclination angle, coefficient of variation

For citation: Kuznetsov V.V., Kupreenko A.I., Isaev K.M., Isaev S.K., Mikhailichenko S.M. Rationale for the elements of a mechanized operation and a sprayer type for killing weeds with a herbicide in raspberry rows. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(6):11-18. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-11-18>

Введение

Согласно прогнозу¹ на 2024–2028 гг. в России будет ежегодно расти спрос на свежую малину. В рамках государственной программы «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия Брянской области» производителям предоставляется субсидия в размере свыше 45,5 млн руб. [1]. В хозяйствах Брянской области² ягодные культуры возделываются на площади свыше 0,6 тыс. га, а урожайность ягод с 1 га варьируется от 68,4 до 79,5 ц.

В России комплекс операций по уходу за ягодными плантациями включает в себя химическую защиту в основном от болезней и вредителей³. Технические средства химической защиты растений малины постоянно совершенствуются: оптимизируются конструкции штанг и их крепления к энергетическому средству [2, 3]; разрабатываются конструкции машин, выполняющих несколько технологических операций [4]; создаются различного типа распылители [5]. Однако известные конструкции садовых опрыскивателей не предназначены для работы с гербицидами в рядах малины. Агротехнический способ уничтожения сорной растительности в рядах промышленных плантаций малины имеет низкий уровень механизации и высокую трудоемкость, что существенно повышает

себестоимость продукции. Например, затраты на выполнение ручных и механизированных работ на плантации малины площадью 4 га составляют 45,2% от общих затрат⁴. В России в отличие от других стран при выращивании малины внесение гербицидов для борьбы с сорняками не применяют, а используют различные агротехнические методы [6]. В связи с этим конструктивные параметры и режимы работы опрыскивателей для выполнения операции уничтожения сорной растительности в рядах малины химическим способом недостаточно исследованы.

Минимизировать негативное влияние средств химической защиты [7] на окружающую среду можно повышением равномерности распределения пестицидов по поверхности обрабатываемых растений [8] и созданием роботизированных устройств для дифференцированного внесения средств защиты растений, способных распознавать полезную культуру и сорную растительность [9].

Основным рабочим органом опрыскивателей, обеспечивающим качественное распыливание и равномерность осадения препарата на обрабатываемый объект, является распылитель.

Цель исследований: обоснование элементов механизированной операции и рационального типа распылителя для уничтожения сорной растительности в рядах малины гербицидом.

Материалы и методы

Проведен анализ трудов основоположников направления исследований и современных источников.

Анализ внешних условий, влияющих на качество выполнения операции, выполнили с учетом

¹ Анализ рынка малины в России в 2019–2023 гг., прогноз на 2024–2028 гг. (табл. 2. Прогноз спроса на свежую малину в России в 2024–2028 гг.). [Электронный ресурс]. URL: <https://businessstat.ru/catalog/id75287/> (дата обращения: 01.06.2024).

² Сельское хозяйство Брянской области: Статистический сборник / Брянскстат. Брянск, 2023. С. 79.

³ Защита промышленных плантаций малины от основных вредителей. [Электронный ресурс]. URL: <http://asprus.ru/blog/zashhita-promyshlennykh-plantacij-maliny-ot-osnovnykh-vreditelej/> (дата обращения: 01.06.2024).

⁴ Ожерельева М.В. Экономические основы эффективного ягодоводства. Брянск: Изд-во БГСХА, 2007. 217 с.

пространственного расположения необлиственной и облиственной вегетативной части растений малины, ширины рядов и защитных зон. Учитывалось также расположение распылителя относительно культурных и сорных растений.

Технические требования к операции разработаны с учетом внешних условий выполнения и требований, обеспечивающих гарантированное уничтожение сорной растительности в рядах малины.

С целью подбора рационального типа распылителя проанализировали геометрию факелов распыла известных типов распылителей [5, 10].

Предварительно в лабораторных условиях выполнили сравнительные испытания распылителей ОС-0,1 и IS на плотность покрытия каплями обрабатываемой поверхности. Провели оценку дисперсности осажденных на обрабатываемую поверхность капель. Испытания выполнили в лаборатории Брянского ГАУ на оригинальном стенде [11].

Дисперсность распыла и распределение капель по поверхности макета ряда малины фиксировали с помощью разложенных учетных карточек согласно ОСТ 106.1-2000.

Стендовые испытания выполнили на базе Всероссийского института защиты растений, г. С.-Петербург-Пушкин, в лабораторных условиях. Использовалось следующее оборудование: стенд распределительный, штанга крепления и изменения высоты и углов наклона распылителя в поперечной и продольной относительно каналов стенда плоскостях, вентилятор, анемометр, гигрометр, термометр, транспортер, линейка, секундомер.

Стенд распределительный (рис. 1) состоит из стола 1, разделенного ребрами на каналы шириной по 0,05 м, блока мерных цилиндров 2 для сбора жидкости из каждого канала, насосной установки, обеспечивающей подачу жидкости в распылитель под рекомендуемым фирмами производителями для каждого испытуемого распылителя давлением, измеряемым манометром 3, штанги 4, монтируемой над ребристой поверхностью стола. Распылитель устанавливался на штанге с направлением факела вдоль и поперек каналов стенда с возможностью изменения высоты и угла установки в соответствующих реализациях эксперимента.

Исследовался процесс осаждения капель на поверхность стенда в поперечных и продольных сечениях факела распыла, а также изучались характеристики распределения выливаемой распылителем жидкости по ширине факела.

Экспериментальные исследования проводились в статическом режиме методом планирования эксперимента по известной методике⁵.

Планом эксперимента явилась матрица ортогонального центрального композиционного плана третьего порядка⁶ (табл.).

Изменяемыми факторами и уровнями их варьирования являлись:

X_1 – высота установки распылителя (h) над обрабатываемой поверхностью, 0,1...0,7 м;

X_2 – угол наклона распылителя (α) к обрабатываемой поверхности в вертикальной плоскости, поперечной каналам стенда, 0...5 град.;

X_3 – скорость V_v ветра, 0...5 м/с.



Рис. 1. Вид распределительного стенда:

1 – стол; 2 – блок мерных цилиндров; 3 – манометр; 4 – штанга

Fig. 1. View of the distribution trial unit:

1 – table; 2 – block of measuring cylinders; 3 – pressure gauge; 4 – rod

⁵ Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 139 с.

⁶ Статистические методы в инженерных исследованиях / В.П. Бородюк и др.; Под ред. Г.К. Круга. М.: Высшая школа, 1983. 216 с.

Таблица

Ортогональный центральный композиционный план третьего порядка

Table

Orthogonal central compositional plan of the third order

Содержание плана <i>Content of the plan</i>	№ опыта <i>Experiment number</i>	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1^2	X_2^2	X_3^2
План типа 2^3 <i>Type plan 2^3</i>	1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1
	2	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1
	3	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1
	4	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1
	5	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1
	6	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1
	7	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
	8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
«Звездные» точки <i>“Star” points</i>	9	+1	-1,215	0	0	1,476	0	0
	10	+1	+1,215	0	0	1,476	0	0
	11	+1	0	-1,215	0	0	1,476	0
	12	+1	0	+1,215	0	0	1,476	0
	13	+1	0	0	-1,215	0	0	1,476
	14	+1	0	0	+1,215	0	0	1,476
Нулевая точка / <i>Zero point</i>	15	+1	0	0	0	0	0	0

Откликами являлись объемы q_i жидкости, вылитой распылителем на каждые 5 см ширины захвата (в каждый отдельный канал стенда).

Лабораторные опыты проводились в соответствии с матрицей планирования эксперимента в трехкратной повторности с точностью измерения рабочей жидкости до 1 мл.

Показателем равномерности осаждения жидкости по ширине захвата распылителя принят коэффициент вариации V (%), определяемый по формуле:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{q}} \cdot 100, \tag{1}$$

где σ – среднее квадратическое отклонение количества жидкости, собранной в мерные цилиндры от средней величины; \bar{q} – среднее количество жидкости, собранное в отдельные мерные цилиндры в каждом опыте.

Результаты и их обсуждение

По результатам анализа научных публикаций установлены основные факторы, влияющие на качество внесения гербицидов в ряды малины ниже облиственной части растений: ширина рядов малины, высота расположения нижних листьев малины над поверхностью почвы, тип распылителя, давление в распылителе, дисперсность распыла, скорость движения опрыскивателя, скорость ветра, высота установки распылителя над поверхностью почвы, угол наклона распылителя в поперечно-вертикальной и продольно-вертикальной плоскостях. Проанализируем эти факторы с помощью данных рисунка 2.

Средняя ширина рядов l малины при различных технологиях возделывания составляет 0,35...0,60 м, средняя нижняя граница k расположения листьев

растений малины – порядка 0,13 м, а средняя ширина защитной зоны a – около 0,15 м [6].

Как следует из рисунка 2, необходимо использовать движущийся сбоку от ряда малины распылитель, создающий смещенный факел распыла, – например, американский плоскоструйный распылитель типа ОС фирмы Teejet или распылитель типа IS германской фирмы LECHLER.

При использовании таких распылителей условие осаждения гербицида в пределах полосы шириной $l + 2a$ можно обеспечить регулированием угла α наклона распылителя в поперечно-вертикальной плоскости (рис. 2а).

Высоту c плоского факела распыла меньше высоты k расположения нижних листьев малины можно обеспечить регулированием высоты h расположения распылителя над поверхностью почвы и угла β наклона распылителя в продольно-вертикальной плоскости (рис. 2б).

Важным фактором, влияющим на качество уничтожения сорной растительности, является соблюдение равномерного распределения капель рабочей жидкости по поверхности сорных растений на всей обрабатываемой площади. Должна обеспечиваться минимально допустимая плотность (густота) покрытия (МДПП), ниже которой не достигается достаточная биологическая эффективность применения средств защиты растений. Для гербицидов МДПП⁷ составляет в среднем 30 капель на 1 см².

⁷Маркевич 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: Могилевский государственный учебный центр подготовки, повышения квалификации, переподготовки кадров, консультирования и аграрной реформы, 2004. 60 с.

Номинальное давление в выбранном типе распылителя должно соответствовать его технической характеристике, установленной фирмой-производителем, и нашему исследованию не подлежит.

Исходя из перечисленных условий, к операции внесения гербицидов в ряды малины, направленной на уничтожение сорной растительности, необходимо установить следующие технические требования:

- скорость движения агрегата⁸ должна быть равномерной в диапазоне 1,4...1,7 м/с;
- распылители должны перемещаться сбоку от ряда малины (рис. 1а) на расстоянии, не касаясь растений при колебаниях агрегата, и копировать макро- и мезорельеф поверхности поля, сохраняя заданную высоту над почвой;
- факел распыла должен быть плоским и иметь ограничения по высоте;
- распыливание рабочей жидкости должно быть с минимальной долей мелких и крупных капель.

В результате испытаний распылителей ОС-0,1 и IS получены учетные карточки со следами капель рабочего раствора (рис. 3).

Статистическую обработку характеристик следов капель выполнили с помощью компьютерной программы «Анализатор капель» [13].

Лучшие показатели дисперсности распыла и плотности осаждения капель показал концевой

распылитель IS фирмы LECHLER желтого цвета, который выбран для дальнейших исследований на распределительном стенде.

Выполнив регрессионный анализ результатов экспериментов и проанализировав полученные уравнения регрессии, мы установили зависимость коэффициента вариации равномерности осаждения жидкости по ширине захвата распылителями IS.

По результатам исследований получены характеристики процесса осаждения капель жидкости распылителем IS в поперечных и продольных сечениях факела распыла. Влияние угла наклона распылителя IS на осаждение количества жидкости q в каждом канале стенда в процентах от общего объема осажденной жидкости при отсутствии ветра представлено на рисунке 4.

Вариационные кривые осаждения жидкости распылителем IS желтого цвета при повторностях в продольном и поперечном направлениях имеют по центру широкую равномерную зону, а по краям осаждается небольшое количество жидкости. Это дает возможность при оптимальном расположении распылителя относительно рядов малины достичь равномерного осаждения капель по площади ряда и минимальных потерь гербицидов в междурядье и окружающую среду.

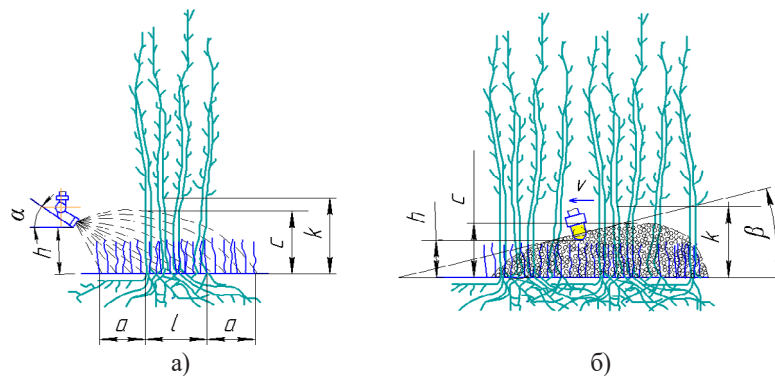


Рис. 2. Схема внесения гербицидов в ряды малины в поперечно-вертикальной (а) и продольно-вертикальной плоскостях (б):

a – ширина защитной зоны; l – ширина рядов; k – нижняя граница расположения листьев; c – высота плоского факела распыла; h , α , β – высота расположения и углы наклона распылителя

Fig. 2. Pattern of herbicide application in raspberry rows in a transversely vertical plane (a) and in a longitudinally vertical plane (b):

a – width of a protective zone; l – width of rows; k – lower boundary of leaves; c – height of a flat spray torch; h , α , β – height of arrangement and inclination angles of the sprayer

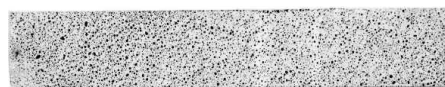


Рис. 3. Вид учетной карточки со следами осажденных капель
Fig. 3. View of the registration card with traces of deposited droplets

⁸ Факторы, влияющие на качество опрыскивания: скорость движения. URL: <https://direct.farm/post/factory-vliayushchiye-na-kachestvo-opryskivaniya-skorost-dvizheniya-16108> (дата обращения: 03.05.2024).

Получив аналогичные данные для всех условий работы распылителя, заданных в матрице (табл. 1), выполнили регрессионный анализ результатов экспериментов. Для коэффициента вариации распределения жидкости по ширине захвата одним распылителем получили уравнение регрессии со значимыми коэффициентами:

$$V = 69,53 - 38,76X_1 - 0,77X_2 - 1,47X_3 + 13,10X_1X_2 + 13,75 X_1X_3 - 1,87 X_2X_3 - 66,64X_1^2 - 0,59 X_2^2 + 0,13 X_3^2. \quad (2)$$

Гипотезу о статистической значимости (об отличии от нуля) коэффициентов регрессии проверяли по известной методике с вычислением расчетного $t_{расч}$

критерия Стьюдента и сравнении его с критическим значением $t_{кр}$.

Для проверки адекватности математической модели использовали коэффициент детерминации R^2 .

С помощью уравнения (2) получена зависимость коэффициента вариации распределения жидкости по ширине захвата факела одного распылителя от высоты установки штанги при различной скорости ветра (рис. 5).

Увеличение угла наклона распылителя IS желтого цвета навстречу воздушному потоку в поперечном к движению агрегата направлении при высоте установки распылителя от 0,3 до 0,7 м приводит к увеличению коэффициента вариации, а в диапазоне высот от 0,1 до 0,3 м – некоторому его снижению (рис. 6).

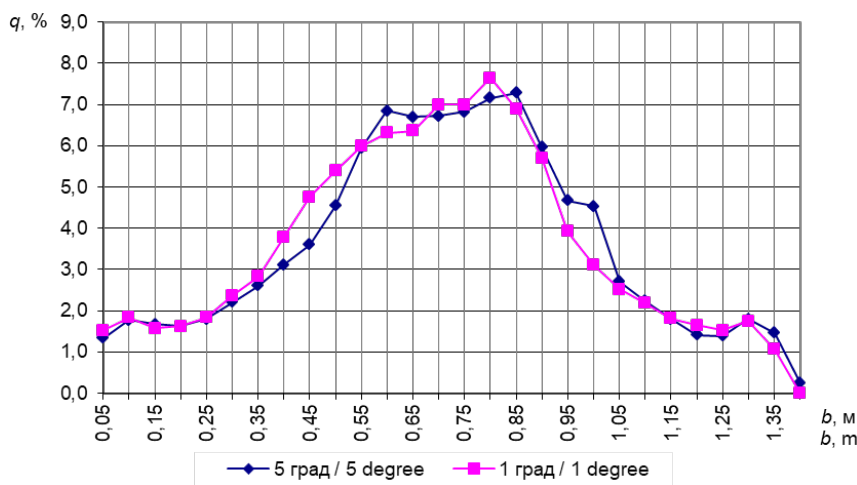


Рис. 4. Распределение осажденной жидкости в продольном сечении факела распылителя IS при различном угле наклона в поперечно-вертикальной плоскости

Fig. 4. Distribution of the deposited liquid in the longitudinal section of the IS spray torch at different angles of inclination in the transversely vertical plane

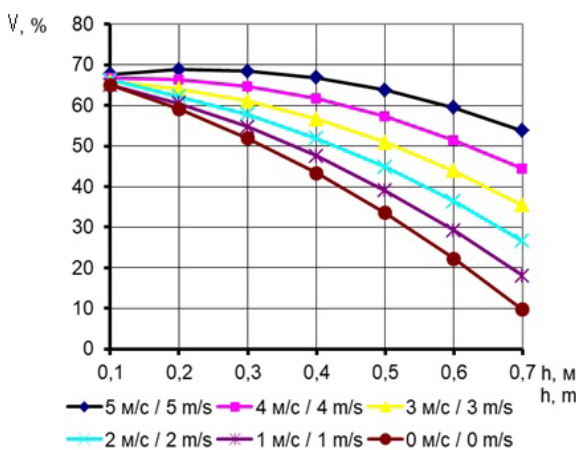


Рис. 5. Зависимость коэффициента вариации осаждения жидкости по ширине захвата одним распылителем IS от высоты установки при различной скорости ветра и $\alpha = 0^\circ$

Fig. 5. Relationship between the coefficient of variation of liquid deposition over the operating width of an IS sprayer and the installation height at different wind speeds and $\alpha = 0^\circ$

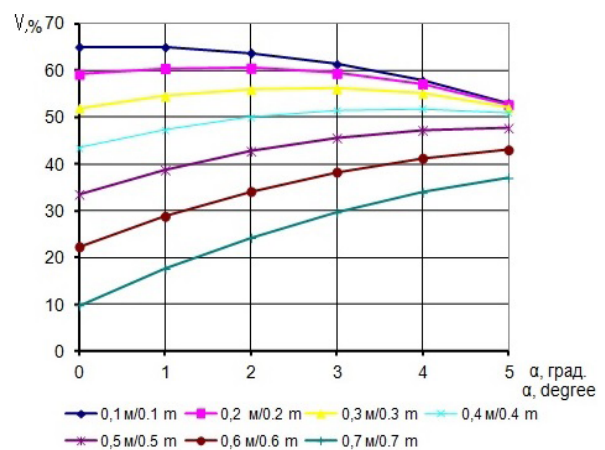


Рис. 6. Зависимость коэффициента вариации осаждения жидкости по ширине захвата распылителем IS от угла наклона в поперечно-вертикальной плоскости при различной высоте над обрабатываемой поверхностью

Fig. 6. Relationship between the coefficient of variation of liquid deposition over the operating width by an IS yellow sprayer and the inclination angle in the transverse-vertical plane at different heights above the treated surface

С увеличением высоты установки распылителя интенсивность влияния его угла наклона на коэффициент вариации возрастает.

По результатам экспериментов также установлено, что скорость ветра, высота установки распылителя над обрабатываемой поверхностью и углы наклона распылителя в продольной и поперечной плоскостях существенно влияют на коэффициент вариации равномерности осаднения гербицида в пределах ряда малины ниже облиственной части, и это влияние имеет нелинейный характер.

Выводы

1. Внешними условиями, влияющими на качество внесения гербицидов в ряды малины ниже облиственной части, являются: ширина рядов малины в диапазоне 0,35...0,60 м; средняя нижняя граница расположения листьев растений малины, составляющая 0,13 м; средняя ширина защитной зоны 0,15 м; направление и допустимая скорость ветра 0...5 м/с.

2. К операции внесения гербицидов в ряды малины для уничтожения сорных растений необходимо установить следующие технические требования:

- скорость движения агрегата должна быть равномерной в диапазоне 1,4...1,7 м/с;
- распылители должны перемещаться сбоку от ряда малины на оптимальном расстоянии от него,

обеспечивающем отсутствие касания растений при колебаниях агрегата, и копировать макро- и мезорельеф поверхности поля, сохраняя заданную высоту над почвой;

- факел распыла должен быть плоским и иметь ограничение по высоте 0,13 м;
- плотность покрытия поверхности сорных растений каплями гербицида должна составлять не менее 30 капель на 1 см².

3. Наиболее рациональным по геометрическим параметрам образуемого капельного факела для условий внесения гербицидов в ряды малины, по дисперсности распыла и количеству капель, осаждаемых на 1 см², является щелевой распылитель IS желтого цвета.

4. Различное сочетание скорости ветра, высоты установки распылителя над обрабатываемой поверхностью и углов наклона распылителя в продольной и поперечной плоскостях приводит к изменению коэффициента вариации равномерности осаднения гербицида в пределах ряда малины от 68 до 10%.

5. Влияние четырех вышеуказанных факторов на коэффициент вариации носит нелинейный характер, что дает основание предположить о существовании глобального экстремума и необходимости дальнейших испытаний по методике планирования четырехфакторного эксперимента.

Список источников

1. Сычев С.М., Бельченко С.А., Малявко Г.П., Дронов А.В., Ковалев В.В. Развитие подотраслей садоводства, овощеводства и картофелеводства в АПК Брянской области // Вестник Брянской ГСХА. 2023. № 1 (95). С. 10-20. EDN: OFTUOU
2. Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В. Конструктивные особенности штангового опрыскивателя малины // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2004. № 5. С. 10-13. EDN: WJKFMB
3. Ожерельев В.Н. Опрыскиватель для ягодников // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 5. С. 8-11. EDN: TUNZAN
4. Агрегат для возделывания высокостебельных культур: Патент RU216711 U1, МПК А01В 49/04 / С.М. Сычёв, В.В. Кузнецов, А.В. Кубышкин, Н.А. Лаптева; заявл. 03.11.2022; опубл. 22.02.2023; Бюл. № 6. EDN: WCXHQС
5. Свиридов А.С., Катаев Ю.В., Загоруйко М.Г. Анализ типов распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей // Аграрный научный журнал. № 6. 2021. С. 96-100. <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i6pp96-100>
6. Ярославцев Е.И. Различные технологические решения для выращивания малины. Ассоциация производителей плодов, ягод и посадочного материала: официальный сайт. URL: <http://asprus.ru/blog/tehnologiya-vozdelyvaniya-maliny/> (дата обращения: 04. 10. 2024).
7. Кузнецов А.В., Кузнецов В.В., Кузнецов Е.В., Лысов А.К. Информативная модель взаимодействия опрыскивающего агрегата и пестицидов с окружающей средой // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 12. С. 8-10. EDN: IISFCN

References

1. Sychev S.M., Belchenko S.A., Malyavko G.P., Dronov A.V., Kovalev V.V. Development of gardening and vegetable sub-industry and potato growing in the a gro-industrial complex of the Bryansk region. *Vestnik Bryanskoy GSKhA = Bulletin of Bryansk State Agricultural Academy*. 2023;1(95):10-20. (In Russ.)
2. Ozherelyev V.N., Ozherelyev M.V. Design features of the raspberry rod sprayer. *Mekhanizatsiya i Elektrifikatsiya Selskogo Khozyaystva*. 2004;5:10-13. (In Russ.)
3. Ozherelyev V.N. Spraying device for berry fields. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2015;5:8-11. (In Russ.)
4. Sychev S.M., Kuznetsov V.V., Kubyshekin A.V., Lapteva N.A. Unit for cultivating high-stemmed crops: Patent No. 216711 U1 Russian Federation, IPC A01B49/04, 2022. (In Russ.)
5. Sviridov A.S., Kataev Yu.V., Zagoruiko M.G. Analysis of the types of agricultural sprayers' nozzles. *Agrarian Scientific Journal*. 2021;6:96-100. (In Russ.)
6. Yaroslavtsev E.I. Various technological solutions for raspberry cultivation. URL: <http://asprus.ru/blog/tehnologiya-vozdelyvaniya-maliny/> (accessed 04.10.2024) (In Russ.)
7. Kuznetsov A.V., Kuznetsov V.V., Kuznetsov E.V., Lysov A.K. Informative model of interaction of a spraying unit and pesticides with the environment. *Mekhanizatsiya i Elektrifikatsiya Selskogo Khozyaystva*. 2007;12:8-10. (In Russ.)
8. Smirnov I.G., Lichman G.I., Marchenko L.A. Algorithm for calculating the parameters of a garden boom sprayer for pesticide application. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022;16(4):26-33 (In Russ). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-26-33>
9. Mirzaev M.A. Developing an Algorithm for Robotic Precision Application of Crop Protection Products. *Agricultural*

8. Смирнов И.Г., Личман Г.И., Марченко Л.А. Алгоритм расчета параметров штангового садового опрыскивателя для внесения пестицидов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16, № 4. С. 26-33. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-26-33>

9. Мирзаев М.А. Разработка алгоритма роботизированного устройства точного внесения средств защиты растений // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16, № 3. С. 74-80. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-3-74-80>

10. Абдразаков Ф.К., Чуркина К.И. Оценка агротехнических и гидравлических характеристик распыла при работе различных типов щелевых распылителей // Аграрный научный журнал. 2022. № 4. С. 70-75. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp70-75>

11. Стенд для испытания рабочих органов опрыскивателей: Патент RU74764 U1, МПК А01М 7/00 / Е.В. Кузнецов, В.А. Ермичев, А.В. Кузнецов, В.В. Кузнецов; заявл. 27.02.2008; опубл. 20.07.2008; Бюл. № 20. EDN: LXZDET

12. Кузнецов Е.В. Результаты исследования растений малины как входного фактора при работе опрыскивателя // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2009. № 1 (8). С. 22-25. EDN: XHQCGZ

13. Анализатор пятен: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU2005612345 / М.В. Данилов, А.А. Андреев; заявл. 19.07.2005; приоритет 9.09.2005. EDN: YNDPDK

Machinery and Technologies. 2022;16(3):74-80 (In Russ). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-3-74-80>

10. Abdrazakov F.K., Churkina K.I. Assessment of agrotechnical and hydraulic characteristics of the spray during different slot sprayers operation. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2022;(4):70-75. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp70-75>

11. Kuznetsov E.V., Ermichev V.A., Kuznetsov A.V., Kuznetsov V.V. Bench for testing the working elements of sprayers: Patent No. 74764 U1 Russian Federation, IPC A01M 7/00, 2008. (In Russ.)

12. Kuznetsov E.V. The results of the study of raspberry plants as an input factor while the sprayer is operating. *Konstruirovaniye, Ispolzovaniye i Nadezhnost Mashin Selskokhozyaystvennogo Naznacheniya*. 2009;1(8):22-25. (In Russ.)

13. Danilov M.V., Andreev A.A. Stain analyzer: certificate of official registration of computer program No. 2005612345, 2005. (In Russ.)

Информация об авторах

Владимир Васильевич Кузнецов¹, канд. техн. наук, доцент; vlg3k@rambler.ru; <https://orcid.org/0009-0002-0595-2521>

Алексей Иванович Купреенко^{2,3}, д-р техн. наук, профессор; kupreenkoai@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>

Хафиз Мубариз-оглы Исаев³, канд. экон. наук, доцент, заведующий кафедрой; haf-is@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4912-9908>

Самир Хафизович Исаев⁴, канд. техн. наук, доцент; Samir.isaev.94@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6877-3128>

Станислав Михайлович Михайличенко⁵, канд. техн. наук, доцент; S.M. Mikhailichenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2305-2909>

^{1,2,3,4} Брянский государственный аграрный университет; 243365, Российская Федерация, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская, д. 2а

⁵ Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49

Вклад авторов

В.В. Кузнецов – разработка общей концепции, проведение исследований;

А.И. Купреенко – формальный анализ и верификация данных;

Х.М. Исаев – создание черновика рукописи;

С.Х. Исаев – визуализация;

С.М. Михайличенко – доработка рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила в редакцию 05.06.2024; поступила после рецензирования и доработки 01.10.2024; принята к публикации 04.10.2024

Author Information

Vladimir V. Kuznetsov¹, CSc (Eng), Associate Professor; vlg3k@rambler.ru; <https://orcid.org/0009-0002-0595-2521>

Aleksey I. Kupreenko^{2,3}, DSc (Eng), Professor; kupreenkoai@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>

Khafiz M.-O. Isaev³, CSc (Econ), Associate Professor; haf-is@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4912-9908>

Samir Kh. Isaev⁴, CSc (Eng); Samir.isaev.94@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6877-3128>

Stanislav M. Mikhailichenko⁵, CSc (Eng); S.M. Mikhailichenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2305-2909>

^{1,2,3,4} Bryansk State Agrarian University; Sovetskaya Str. 2a, Kokino, Vygonichi district, Bryansk region, 243365, Russian Federation

⁵ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Timiryazevskaya Str. 49, Moscow, 127434, Russian Federation

Author Contribution

V.V. Kuznetsov – conceptualization;

A.I. Kupreenko – formal analysis and data verification;

Kh.M. Isaev – writing – original draft preparation;

S.Kh. Isaev – visualization;

S.M. Mikhailichenko – writing – manuscript review and editing.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 05.06.2024; Revised 01.10.2024; Accepted 04.10.2024.