

EDN: TAJJVQ

DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-55-60



Научная статья

УДК 631.348.45



Определение параметров опрыскивателя для плодопитомников

Рамазан Мусаевич Тавасиев¹,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: tikis@yandex.ru;

Аркадий Павлович Дзиццов¹,
кандидат технических наук, старший преподаватель,
e-mail: range-rover_sport@mail.ru;

Авс Ахмад²,
младший научный сотрудник,
e-mail: aws.ahmad318@gmail.com

¹Горский государственный аграрный университет, Республика Северная Осетия-Алания, г. Владикавказ, Российская Федерация;

²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отмечено, что в промышленных насаждениях обработку от вредителей и сорняков проводят при помощи опрыскивателей. Для установления необходимого расхода жидкости необходимо пользоваться расчетами при регулировке опрыскивателя на заданный расход жидкости. Разработанный в Горском аграрном университете малогабаритный самоходный агрегат с дистанционным управлением «ГНОМ» предназначен для разного применения, в том числе гербицидного опрыскивания растений в плодопитомниках. (*Цель исследования*) Обосновать оптимальные параметры распылительного узла модуля у агрегата для гербицидной обработки, исследовать зависимость расхода и качества распыла жидкости от давления в системе. (*Материалы и методы*) Для исследования характеристик распыла создана лабораторная установка. В зоне распыла помещали нейлоновые нити диаметром 100 и 250 микрометров, результат распыла жидкости фиксировали цифровой фотокамерой *Nikon COOLPIX 58100*. В каждом последующем опыте давление жидкости увеличивали на 0,05 мегапаскаля. (*Результаты и обсуждение*) Получены снимки факела распыла жидкости малогабаритного самоходного агрегата для определения категории распыла жидкости по размерам капель. Теоретически обосновали влияние изменения объема воздуха в баке на давление и качество распыла жидкости, а также зависимость дисперсности от давления рабочей жидкости. (*Выводы*) Анализ показал, что при давлении рабочей жидкости в гидросистеме от 0,65 до 0,75 мегапаскаля и угле распыла 90 градусов наблюдается наиболее качественный мелкодисперсный распыл при расходе рабочей жидкости в диапазоне 0,4-0,6 литра в минуту, что весьма существенно влияет на увеличение обрабатываемой площади при одной заправке бака самоходного агрегата.

Ключевые слова: плодопитомник, гербицидная обработка, самоходный агрегат, дистанционное управление, форсунка, показатели распыла, давление, расход рабочей жидкости.

■ **Для цитирования:** Тавасиев Р.М., Дзиццов А.П., Ахмад А. Определение параметров опрыскивателя для плодопитомников // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N2. С. 55-60. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-55-60. EDN: TAJJVQ.

Scientific article

Determination of Sprayer Parameters for Fruit Nurseries

Ramazan M. Tavasiev¹,
Dr.Sc.(Eng.), professor, e-mail: tikis@yandex.ru;
Arkady P. Dzitsoev¹,
Ph.D. (Eng.), senior lecturer,
e-mail: range-rover_sport@mail.ru;

Aws Ahmad²,
junior researcher,
e-mail: aws.ahmad318@gmail.com

¹Gorsky State Agrarian University, Vladikavkaz, Russian Federation;

²Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper highlights that in industrial plantings, pests and weeds control is conducted using sprayers. To establish the required liquid flow rate, it is necessary to use calculations for sprayer adjustment. A small-sized, remotely controlled «GNOM»

unit, developed at Gorsk Agrarian University, is designed for various tasks, including herbicidal spraying in fruit nurseries. (*Research purpose*) The research aims to substantiate the optimal parameters of the spraying unit in the herbicide treatment module. It also seeks to investigate the dependence of the flow rate of the working fluid and quality of liquid spray on the pressure in the system. (*Materials and methods*) A laboratory installation was developed to study the spray characteristics. Nylon threads with diameters of 100 and 250 micrometers were placed within the spray zone, and the resulting liquid spray was captured using a *Nikon COOLPIX 58100* digital camera. Each subsequent experiment was carried out at a liquid pressure of 0.05 megapascals more than the previous one. (*Results and discussion*) The experiments resulted in obtaining images of the spray swath for a small-sized self-propelled unit, allowing for the categorization of the spray based on droplet sizes. The theoretical analysis demonstrated how changes in the air volume within the tank influence both the pressure and quality of the liquid spray. Additionally, it showed how the dispersion depends on the pressure of the working fluid. (*Conclusions*) The analysis of the working fluid spray showed that at a pressure in the hydraulic system in the range from 0.65 to 0.75 megapascals and a spray angle of 90 degrees, the highest quality fine spray is observed, the flow rate of the working fluid is in the range of 0.4-0.6 liters per minute, which very significantly affects the size of the treated area in the direction of its increase at one tank refueling unit.

Keywords: fruit nursery, herbicide treatment, self-propelled unit, remote control, nozzle, spray characteristics, pressure, working fluid flow rate.

For citation: Tavasiev R.M., Dzitsoev A.P., Ahmad A. Determination of sprayer parameters for fruit nurseries. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N2. 55-60 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-55-60. EDN: TAJJVQ.

Сорняки забирают из почвы большое количество влаги и питательных веществ, затеняют и угнетают культурные растения, создают очаги для массового развития болезней и вредителей. Сильная засоренность нарушает процесс фотосинтеза, препятствует нормальному развитию плодово-ягодных культур [1]. В промышленных насаждениях гербициды вносят при помощи опрыскивателей, оборудованных для дозированного внесения в ряды [2, 3]. Для установления точного количества при внесении гербицидов необходимо пользоваться расчетами при регулировке опрыскивателя на заданный расход жидкости.

В Горском ГАУ разработан малогабаритный самоходный агрегат с дистанционным управлением «ГНОМ» для использования в плодopитомниках [4]. Он оснащен двумя рабочими органами: фрезой для рыхления поверхностного слоя почвы в междурядьях саженцев плодовых деревьев с одновременным механическим уничтожением сорняков; опрыскивателем для химического уничтожения сорняков (рис. 1).

Исследование работы и обоснования параметров опрыскивателя важно с точки зрения возможностей оптимизации процесса при выполнении основного требования – минимального расхода рабочей жидкости (Федоренко В.Ф., Мишуrow Н.П., Буклагин Д.С. и др. Цифровое сельское хозяйство: состояние и перспективы развития. М.: Росинформагротех, 2019. 316 с.). Как показали предварительные опыты, экспериментальный агрегат не уступает по качеству распыла стандартным устройствам (Якушев В.В. Точное земледелие: теория и практика. – СПб: АФИ, 2016. 364 с.). В связи с тем, что для малогабаритных опрыскивателей предпочтителен малый расход жидкости в единицу времени, принято

решение использовать экспериментальный распылитель в конструкции самоходного агрегата (Астахов В.С., Иванчиков Г.О. Точное земледелие как элемент ресурсосбережения и экологической безопасности; мат. междунар. науч. конф. «Молодежь и инновации». Горки, 2022. С. 87-91).

Цель исследования. Обосновать оптимальные параметры распыливающего узла агрегата, определить зависимость расхода от качества распыла рабочей жидкости от давления в системе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Разработана и изготовлена лабораторная установка (рис. 2). Она состоит из бака 1 с рабочей жидкостью 7, компрессора 2 и распылителя 3, снабжена манометром 4 и уровнемером 5. Для регулирования потока рабочей жидкости и подаваемого давления предусмотрены соответственно кран 6 и запорный вентиль 8.



Рис. 1. Самоходный агрегат «ГНОМ»

Fig. 1. Self-propelled unit GNOM

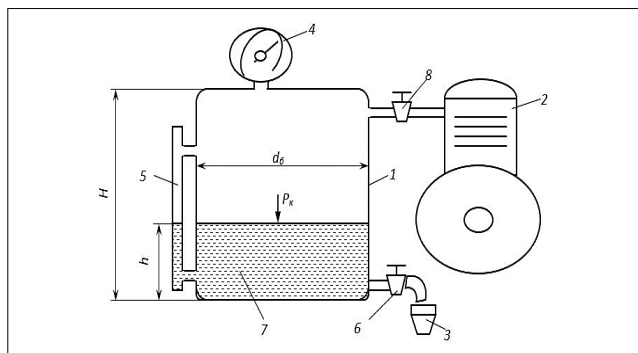


Рис. 2. Принципиальная схема лабораторной установки
Fig. 2. Schematic diagram of the laboratory installation

Ввиду малых концентраций статические и гидродинамические свойства рабочей жидкости практически не отличаются от свойств воды, которую использовали при лабораторных исследованиях [4].

Давление рабочей жидкости на входе в распылитель

$$P_p = P_k + P_B, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где P_k и P_B – давление, создаваемое компрессором и массой воды.

$$P_B = \rho_B \cdot g \cdot h, \quad (2)$$

где ρ_B – плотность воды, кг/м^3 ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; h – высота столба воды в баке, м.

$$\text{Тогда } P_p = P_k + \rho_B \cdot g \cdot h. \quad (3)$$

Объем рабочей жидкости для проведения одного опыта

$$V_{жс} = \frac{\pi d_0^2 h}{4}, \text{ следовательно } h = \frac{4V_{жс}}{\pi d_0^2}. \quad (4)$$

Максимальный расход жидкости на проведение одного опыта составляет 0,5 л. С учетом диаметра бака и расхода жидкости по формуле (4) для одного опыта высота столба жидкости в баке $h = 7$ мм. Согласно формуле (2) $P_B = 7 \cdot 10^{-4}$ МПа, среднее значение давления на входе в распылитель $P_{рсп} = 0,42$ МПа.

Относительная доля давления P_B , создаваемого массой воды,

$$\Delta = \frac{P_B}{P_{рсп}} \cdot 100 = \frac{7 \cdot 10^{-4}}{0,42} \cdot 100 = 0,17\%, \quad (5)$$

поскольку эта величина пренебрежимо мала и не превышает ошибку опыта, можно принять $P_p = P_k$.

На протяжении опыта рабочая жидкость убывает, ее уровень снижается, объем воздуха над жидкостью увеличивается, давление в баке уменьшается, т.е. имеет место изотермический процесс:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2. \quad (6)$$

Снижение давления жидкости влияет на точность и достоверность результатов исследований. Оценим степень этого влияния.

Из уравнения (5)

$$P_2/P_1 = V_1/V_2. \quad (7)$$

Первоначальный объем воздуха

$$V_1 = \frac{\pi d_0^2}{4} (H - h), \quad (8)$$

а объем воздуха при завершении опыта

$$V_2 = \frac{\pi d_0^2}{4} \cdot H. \quad (9)$$

Подставив значения V_1 и V_2 из (7) и (8) в равенство (6), получим:

$$P_2/P_1 = (H - h)/H; P_2/P_1 = 0,986. \quad (10)$$

Отклонение величины давления в баке от первоначального значения

$$\Delta = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100\%; \Delta = \frac{P_1 - 0,986 P_1}{P_1} \cdot 100\% = 1,4\%. \quad (11)$$

Полученная величина меньше максимальной ошибки опыта и влиянием этого фактора на точность результатов опытов можно пренебречь.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. При обработке экспериментальных данных использованы стандартные методики по ГОСТ 34630-2019 «Машины для защиты растений. Опрыскиватели. Методы испытаний». На первом этапе для определения давления жидкости и зависимости от качества распыла в зону распыла помещали нейлоновые нити диаметром 100 и 250 мкм [5]. Момент распыла жидкости фиксировался цифровой фотокамерой *Nikon COOLPIX 58100* с разрешением 12,1 мегапикселя (Башкирев А.П., Шварц А.А., Шкабенко А.Ю. Условия применения опрыскивателей в сельскохозяйственном производстве; тр. межд. науч. конф. «Молодежь и XXI век». Курск, 2019. С. 261-264).

Воду заливали в бак и закрывали горловину. При закрытом кране включается компрессор для создания в баке избыточного давления (0,05 МПа). Каждый последующий опыт проводился при повышении давления жидкости с шагом 0,05 МПа [6]. При достижении определенного давления в баке компрессор выключается, кран 8 закрывается. Затем открывается кран 6 и фиксируется фотокамерой факел распыла жидкости с соответствующей нитью [7]. Анализ снимков в 10-кратном увеличении на экране монитора компьютера позволяет определить качество опрыскивания по категории распыла [8]. В данном эксперименте выделены крупнокапельный распыл (капли больше 250 мкм), мелкокапельный (100-250 мкм) и туманообразный (25-100 мкм) [9, 10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Согласно принятой методике проведены серии опытов, получены снимки факела распыла жидкости [11]. Капли жидкости идентифицировали по дисперсности и сравнили с

диаметром нити (Горюнов Н.Н. Способы настройки нормы расхода рабочей жидкости сельскохозяйственных опрыскивателей; междунауч.-практ. конф. «Инновационные тенденции развития российской науки». Красноярск, 2022. С. 195-197).

На рисунке 3 представлены факелы распыла при давлении в гидросистеме 0,35 и 0,65 МПа, угле распыла 90° с использованием стандартных распылителей.

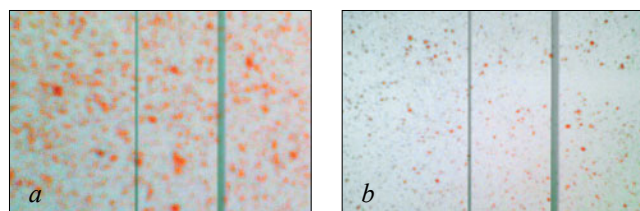


Рис. 3. Снимок факела распыла рабочей жидкости: а – $P = 0,35$ МПа; б – $P = 0,65$ МПа (увеличение 10-кратное)
Fig. 3. Image of the working fluid spray: а – $P = 0,35$ МПа; б – $P = 0,65$ МПа (10-fold increase)

Дисперсность распыла каплей зависит от давления рабочей жидкости: крупнокапельный при 0,30, 0,35 МПа; мелкокапельный при 0,40, 0,45, 0,50, 0,55 МПа; туманообразный распыл при 0,60, 0,65, 0,70, 0,75 МПа.

Из графика зависимости расхода рабочей жидкости от давления (рис. 4) следует, что используемые в агрегате распылители значительно экономичнее по сравнению со стандартными [12]. При этом с повышением давления в системе распыл получается более мелкокапельный, стремится к туманообразному виду [13]. При давлении 0,35 МПа и выше расход жидкости стабилизируется на уровне 0,4-0,6 л/мин.

Обработку результатов и построение графика проводили на компьютере с использованием программы Excel. Зависимость расхода рабочей жидкости от давления для исследуемого распылителя представлена в виде линии тренда и описывается уравнением вида [14-16]:

$$q = 0,1472 \ln(p) + 0,0195. \quad (12)$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тавасиев Р.М., Дзищцов А.П. Агрегат для ухода за саженцами в питомниках // *Сельский механизатор*. 2021. №8. С. 16-17. EDN: RFTVIN.
2. Мирзаев М.А. Разработка алгоритма роботизированного устройства точного внесения средств защиты растений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №3. С. 74-80. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-3-74-80.
3. Денисов А.В., Усина Е.Е., Яковлев Р.Н. и др. Алгоритмы построения сетей радиомаяков с ячеистой топологией для локализации робототехнических систем в сельском хозяйстве // *Вестник МГТУ «Станкин»*. 2019. №3(50). С. 57-65.
4. Андреев К.П., Аникин Н.В., Бышов Н.В. и др. Внедрение системы точного земледелия // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2019. №2(42). С. 74-80.
5. Baillie C.P., Thomasson J.A., Lobsey C.R. et al. A review of the state of the art in agricultural automation. *ASABE*. 2018. N1801589. DOI: 10.13031/aim.201801591.

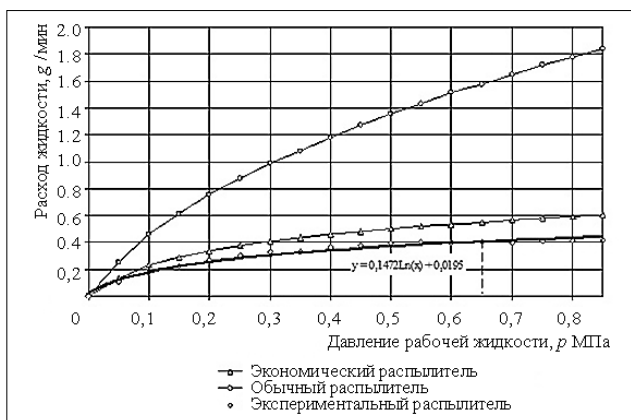


Рис. 4. Зависимость расхода рабочей жидкости от давления для экспериментального агрегата
Fig. 4. Dependence of working fluid flow on pressure in the experimental unit

Таким образом, в опрыскивателе для гербицидной обработки междурядий саженцев в плодпитомниках оптимальным давлением рабочей жидкости можно признать 0,60-0,75 МПа [17]. При таком давлении расход рабочей жидкости составляет 0,4-0,6 л в минуту, распыл туманообразный, что способствует увеличению обрабатываемой площади при одной заправке бака агрегата [18].

Выводы

В питомниках уход за саженцами весьма трудоемкая задача, особенно уничтожение сорняков в их междурядьях. Применение обычных тракторных агрегатов довольно сложно из-за ограниченной ширины междурядья саженцев (до 1 м). Новые конструктивные и технологические решения, в том числе использование сельскохозяйственных роботов [19], позволяют проводить операции с оптимальными эксплуатационными параметрами.

Обоснованы оптимальные параметры распыливающего узла агрегата «ГНОМ» при опрыскивании. Оптимальным давлением рабочей жидкости при гербицидной обработке междурядий саженцев в плодпитомниках, можно считать 0,60-0,75 МПа. Равномерный туманообразный распыл достигается при расходе жидкости 0,4-0,6 л в минуту.

6. Liu X., Chen S., Aditya S. et al. Robust fruit counting: Combining deep learning, tracking, and structure from motion. *IEEE/RSJ Intelligent Robots and Systems*. 2018. 1045-1052. DOI: 10.1109/IROS.2018.8594239.
7. Измайлов А.Ю., Хорт Д.О., Смирнов И.Г. и др. Анализ параметров работы устройства для гидравлического удаления сорной растительности // *Инженерные технологии и системы*. 2019. Т. 29. N4. С. 614-634. DOI: 10.15507/2658-4123.029.201904.614-634.
8. Измайлов А.Ю., Смирнов И.Г., Хорт Д.О. Цифровые агротехнологии в системе «Умный сад» // *Садоводство и виноградарство*. 2018. N6. С. 33-39. DOI: 10.31676/0235-2591-2018-6-33-39.
9. Bechar A., Vigneault C. Agricultural robots for field operations. Part 2: Operations and systems. *Biosystems Engineering*. 2017. Vol. 153. 110-128. DOI: 10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2016.11.004.
10. Смирнов И.Г., Хорт Д.О. Перспективы развития автоматизации и роботизации работ в полевых экспериментах // *Известия Международной академии аграрного образования*. 2018. N41-2. С. 60-64. EDN: VOGENY.
11. Шалова С.Х., Загазежева О.З. Обзор рынка сельскохозяйственных роботов и их влияние на экономическое развитие // *Известия ЮФУ*. 2019. N7(209). С. 57-70. DOI: 10.23683/2311-3103-2019-7-57-70.
12. Киреев И.М., Коваль З.М. Способ и средство для совершенствования технологий опрыскивания растений // *Агрехимия*. 2017. N4. С. 87-96.
13. Лысов А.К., Корнилов Т.В., Наумова Н.И., Гончаров Н.Р. Новое оборудование для ультрамалообъемного опрыскивания в борьбе с вредителями капусты, экологическое и экономическое преимущества // *Агро-ЭкоИнженерия*. 2019. N1(98). С. 115-124. DOI: 10.24411/0131-5226-2019-10128.
14. Воробьева Н.С., Дяшкин А.В., Ажгалиев Р.С., Дяшкин-Титов В.В. Обоснование конструктивного исполнения роботизированного устройства для возделывания бахчевых культур под пленкой // *Известия Волгоградского государственного технического университета*. 2022. N9(268). С. 19-23. DOI: 10.35211/1990-5297-2022-9-268-19-23.
15. Кочева Н.С., Пискунов К.С., Мохань О.В. Влияние средств защиты растений на урожайность сои сорта Сфера в условиях Приморского края // *Вестник КрасГАУ*. 2021. N12(177). С. 32-37. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-12-32-37.
16. Киреев, И.М., Коваль З.М. Способ и пневматическое устройство для снижения коагуляции капель в факелах распыла жидкости при защите растений // *Тракторы и сельхозмашины*. 2016. N9. С. 3-6. DOI: 10.17816/0321-4443-66176.
17. Мирзаев М.А. Проектирование автономного полевого робота для дифференцированного внесения агрохимических средств // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2021. Т. 68. N4(45). С. 131-136. DOI: 10.22314/2658-4859-2021-68-4-131-136.
18. Лысов А.К., Гончаров Н.Р., Наумова Н.И., Корнилов Т.В. Экономическое обоснование технологии УМО опрыскивания с принудительным осаждением капель в борьбе с сорняками в посевах зерновых культур // *Вестник защиты растений*. 2018. N2(96). С. 46-50. EDN: ХТТQLZ.
19. Романенкова М.С., Балабанов В.И. Применение цифровых технологий в растениеводстве // *Наука в Центральной России*. 2020. N2(44). С. 74-82. DOI: 10.35887/2305-2538-2020-2-74-82.

REFERENCES

1. Tavasiev R.M., Dzitsoev A.P. The unit for the care of seedlings in nurseries. *Selskiy Mechanizator*. 2021. N8. 16-17 (In Russian). EDN: RFTBIIH.
2. Mirzaev M.A. Developing an Algorithm for Robotic Precision Application of Crop Protection Products. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022. Vol. 16. N3. 74-80 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-3-74-80.
3. Denisov A.V., Usina E.E., Iakovlev R.N. et al. Algorithms for radio beacon mesh network establishment for navigation of robotic systems in agriculture. *Vestnik MSTU «STANKIN»*. 2019. N3 (50). 57-65 (In Russian).
4. Andreev K.P., Anikin N.V., Byshov N.V. et al. Introduction of exact farming system. *Herald of Ryazan State Agro-technological University Named after P.A. Kostychev*. 2019. N2(42). 74-80 (In Russian).
5. Baillie C.P., Thomasson J.A., Lobsey C.R. et al. A review of the state of the art in agricultural automation. *ASABE*. 2018. N1801589 (In English). DOI: 10.13031/aim.201801591
6. Liu X., Chen S., Aditya S. et al. Robust fruit counting: Combining deep learning, tracking, and structure from motion. *IEEE/RSJ Intelligent Robots and Systems*. 2018. 1045-1052 (In English). DOI: 10.1109/IROS.2018.8594239.
7. Izmaylov A.Yu., Khort D.O., Smirnov I.G. et al. Analysis of work parameters of the device for hydraulic removal of weed vegetation. *Engineering Technologies and Systems*. 2019. Vol. 29. N4. 614-634 (In Russian). DOI: 10.15507/2658-4123.029.201904.614-634.
8. Izmailov A.Yu., Smirnov I.G., Khort D.O. Digital agricultural technologies in the «Smart garden» system. *Horticulture and Viticulture*. 2018. N6. 33-39 (In Russian). DOI: 10.31676/0235-2591-2018-6-33-39.
9. Bechar A., Vigneault C. Agricultural robots for field operations. Part 2: Operations and systems. *Biosystems Engineering*. 2017. Vol. 153. 110-128 (In English). DOI: 10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2016.11.004.
10. Smirnov I.G., Khort D.O. Prospects for the development of automation and robotics work in field experiments.

- Proceedings of the International Academy of Agricultural Education*. 2018. N41-2. 60-64 (In Russian). EDN: VOGEHY.
11. Shalova S.Kh., Zagasezheva O.Z. Overview of agricultural robots market and their impact on economic development. *Izvestiya Southern Federal University*. 2019. N7(209). 57-70 (In Russian). DOI: 10.23683/2311-3103-2019-7-57-70.
 12. Kireev I.M., Koval' Z.M. Method and means for improving plant spraying technologies. *Agrochemistry*. 2017. N4. 87-96 (In Russian).
 13. Lysov A.K., Kornilov T.V., Naumova N.I., Goncharov N.R. New equipment for ULV spraying for pest control of cabbage: environmental and economic benefits. *AgroEcoEngineering*. 2019. N1(98). 115-124 (In Russian). DOI: 10.24411/0131-5226-2019-10128.
 14. Vorob'eva N.S., Dyashkin A.V., Azhgaliev R.S., Dyashkin-Titov V.V. Substantiation of the design of a robotic device for cultivating melons under a film. *Izvestia Volgograd State Technical University*. 2022. N9 (268). 19-23 (In Russian). DOI: 10.35211/1990-5297-2022-9-268-19-23.
 15. Kocheva N.S., Piskunov K.S., Mohan O.V. Plant protectors effect on the soybean Sfera varieties yield in the Primorsky region. *Bulletin of KrasGAU*. 2021. N12(177). 32-37 (In Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2021-12-32-37.
 16. Kireev I.M., Koval' Z.M. Method and pneumatic device for reduction of coalescence of drops in spray cones of liquid in plant protection. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2016. N9. 3-6 (In Russian). DOI: 10.17816/0321-4443-66176.
 17. Mirzaev M.A. Design of an autonomous field robot for differentiated application of agrochemical agents. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2021. Vol. 68. N4 (45). 131-136 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2021-68-4-131-136.
 18. Lysov A.K., Goncharov N.P., Naumova N.I., Kornilov T.V. Economic justification of ultra-low volume spraying technology with forced deposition of drops in integrated crop protection system. *Plant Protection News*. 2018. 2(96). 46-50 (In Russian). EDN: XTTQLZ.
 19. Romanenkova M.S., Balabanov V.I. Application of digital technologies in plant crops. *Science in the Central Russia*. 2020. N2(44). 74-82 (In Russian). DOI: 10.35887/2305-2538-2020-2-74-82.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Тавасиев Р.М. – научное руководство, концепция исследования, участие в разработке конструкции и методики испытаний, подготовка текста, итоговые выводы;
 Дзитсоев А.П. – участие в разработке конструкции и испытаниях, доработка текста, итоговые выводы;
 Ахмад А. – обработка экспериментальных данных.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Tavasiev R.M. – scientific guidance, research concept, participation in the development of the design and test methodology, preparing the manuscript, final conclusions.
 Dzitsoev A.P. – participation in the design and testing, revision of the manuscript, final conclusions;
 Ahmad A. – processing of experimental data.
The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
 Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
 The paper was accepted for publication on

02.04.2024
 24.05.2024