

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-624312>

Оригинальное исследование



Обоснование схемы и параметров пневматического щелевого распылителя с проточной камерой

В.В. Цыбулевский¹, Б.Ф. Тарасенко¹, И.П. Трояновская^{2, 3},
С.А. Войнаш⁴, С.А. Партко⁵, Р.Р. Загидуллин⁴

¹ Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Российская Федерация;

² Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Российская Федерация;

³ Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Российская Федерация;

⁴ Казанский федеральный университет, Казань, Российская Федерация;

⁵ Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Одним из мероприятий, способствующих сохранению урожайности плодово-ягодных культур, является химическая обработка гербицидами. Для многолетних культур определенную сложность составляет качественная обработка приствольной зоны. Кроме того, не все опрыскиватели обеспечивают равномерную дисперсность химических препаратов.

Цель работы — разработать устройство и обосновать его оптимальные параметры, обеспечивающее равномерную химическую обработку многолетних плодовых культур, включая приствольную зону.

Методы. Конструкция нового опрыскивателя не имеет насосного устройства, а рабочая жидкость поступает из бака к распылителям самотеком. Щелевой распылитель способствует диспергированию в мелкие капли одинакового размера. Для предохранения уноса мелких капель ветром применяется защитный фартук. Для качественной обработки приствольной зоны опрыскиватель оснащен поворотным устройством.

Результаты. Обоснование оптимального угла установки поворотного устройства проводилось по критериям: необработанной площади и площади, обработанной дважды. В результате для обработки деревьев с диаметром штамба не более 300 мм оптимальный угол установки поворотного устройства составил 58–60 градусов. Параметры щелевого распылителя были обоснованы по критерию максимальной производительности. Максимальный расход жидкости 207.4 мл/мин может быть обеспечен при щели питательной трубки 1.897 мм и воздушным соплом с шириной 9.492 мм и высотой 0.509 мм.

Заключение. Предложена конструкция распылителя, новизна которой подтверждена патентом Российской Федерации. Обоснованы его оптимальные параметры, позволяющие обеспечить качественную обработку жидкими химическими ядохимикатами.

Ключевые слова: опрыскиватель; жидкие ядохимикаты; борьба с сорняками; оптимизация.

Как цитировать:

Цыбулевский В.В., Тарасенко Б.Ф., Трояновская И.П., Войнаш С.А., Партко С.А., Загидуллин Р.Р. Обоснование схемы и параметров пневматического щелевого распылителя с проточной камерой // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 3. С. 271–280.

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-624312>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-624312>

Original Study Article

Justification of the layout and parameters of a pneumatic slot atomizer with a flow chamber

Valery V. Tsybulevsky¹, Boris F. Tarasenko¹, Irina P. Troyanovskaya^{2, 3},
Sergey A. Voinash⁴, Svetlana A. Partko⁵, Ramil R. Zagidullin⁴

¹ Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation;

² South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;

³ South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russian Federation;

⁴ Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation;

⁵ Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: One of the measures that helps to maintain the productivity of fruit and berry crops is chemical treatment with herbicides. For perennial crops, a certain difficulty lies in the high-quality processing of the tree trunk zone. In addition, not all sprayers ensure uniform dispersion of chemicals.

AIM: Development of the device and justification of its optimal parameters, ensuring uniform chemical treatment of perennial fruit crops, including the tree trunk zone.

METHODS: The design of the new sprayer does not have a pumping device, and the working fluid flows from the tank to the sprayers by gravity. The slot atomizer promotes dispersion into small droplets of uniform size. A protective apron is used to prevent small droplets from being carried away by the wind. For high-quality treatment of the tree trunk area, the sprayer is equipped with a turning device.

RESULTS: The justification for the optimal installation angle of the rotating device was carried out according to the following criteria: the untreated area and the area treated twice. As a result, for processing trees with a trunk diameter of no more than 300 mm, the optimal installation angle of the turning device was 58–60 degrees. The parameters of the slot atomizer were justified based on the criterion of maximal productivity. A maximum fluid flow of 207.4 ml/min can be achieved with a feeding tube opening of 1.897 mm and an air nozzle with a width of 9.492 mm and a height of 0.509 mm.

CONCLUSION: The atomizer design has been proposed, the novelty of which is confirmed by a patent of the Russian Federation. Its optimal parameters are justified to ensure high-quality treatment with liquid chemical pesticides.

Keywords: sprayer; liquid pesticides; weed control; optimization.

To cite this article:

Tsybulevsky VV, Tarasenko BF, Troyanovskaya IP, Voinash SA, Partko SA, Zagidullin RR. Justification of the layout and parameters of a pneumatic slot atomizer with a flow chamber. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(3):271–280. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-624312>

Received: 07.12.2023

Accepted: 23.06.2024

Published online: 05.07.2024

ВВЕДЕНИЕ

Сорные растения составляют серьезную конкуренцию плодовым культурам. Сильная засоренность сада может привести к потере урожайности до 7–10%. Для борьбы с сорняками используют различные методы подавления роста сорных растений. Механический способ чреват возможностью повреждения корневой системы растений, поэтому наибольшее распространение получила химическая обработка гербицидами [1]. Она позволяет на 90% снизить засоренность посадок и сохранить урожай плодовых культур [2].

Качество химической обработки зависит от:

- количества (расход) подаваемой рабочей жидкости [3]. Наибольшую эффективность получили опрыскиватели пневматического типа, позволяющие работать с распылителями любого типа [4];
- размеров (медианно-массовый диаметр) капель при распылении, поскольку крупные капли плохо удерживаются на листьях растений, а малый размер капель способствует их распылению ветром [5]. Однако, не все распылители обеспечивают капли одинакового размера [6];
- равномерности и плотности покрытия (количество капель на 1 см²). При обработке многолетних насаждений плодово-ягодных культур определенную проблему составляет приствольная зона [7–8].

Цель исследования — разработать устройство и обосновать его оптимальные параметры, обеспечивающее равномерную химическую обработку многолетних плодовых культур, включая приствольную зону.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Конструкция опрыскивателя

Для исключения пульсации распыляемого химиката было решено исключить насосное устройство для подачи

рабочей жидкости. Жидкость к распылителям 3 поступает из бака 2 самотеком (рис. 1). Гербицид, вследствие разряжения создаваемого струей воздуха, поступающего от компрессора 4 через воздушный коллектор 5 в щелевое сопло 3, диспергируется в мелкие капли. Такое решение характеризуется не только простотой конструкции и снижением ее металлоемкости за счет отсутствия насоса. Расход рабочей жидкости регулируется давлением воздуха, положением уравнильной емкости по высоте и размерами выходных отверстий распылителя. Предлагаемая схема защищена патентом на изобретение [9].

Для обработки приствольной зоны распылитель имеет возможность перемещаться относительно ствола обрабатываемого дерева. Для этого на раме опрыскивателя шарнирно закреплено поворотное устройство в виде петли, на шпуре которого крепится распылительное устройство (рис. 2). При необходимости на поворотном устройстве можно установить несколько распылителей. При работе опрыскивателя в междурядье шпур 1 поворотного устройства расположен между деревьями. Закрепленный на нем щелевой распылитель обрабатывает приствольную зону. При контакте со стволом дерева шпур 1 поворачивается и растягивает пружину 3. После схода со ствола дерева пружина 3 возвращает шпур 1 в исходное положение.

Для предохранения сноса ветром мелкодисперсной рабочей жидкости на поворотном устройстве дополнительно закреплен фартук 7, из прочной прорезиненной ткани (см. рис. 1). С целью увеличения зоны контакта жидкости снизу фартук разрезают на полоски для размазывания рабочей жидкости по выступающим сорным растениям.

Дополнительная замена круглого отверстия выхода струи рабочей жидкости на прямоугольное сечение способствует более качественному диспергированию рабочей жидкости. Щелевой распылитель с плоской подающей насадкой обеспечивает дополнительную стабилизацию

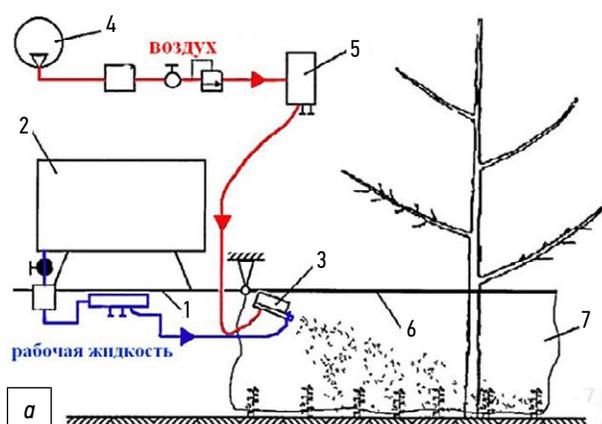


Рис. 1. Схема (а) и опытный образец (б) опрыскивателя с щелевым распылителем и поворотным устройством: 1 — рама; 2 — бак; 3 — щелевой распылитель; 4 — компрессор; 5 — воздушный коллектор; 6 — поворотное устройство; 7 — фартук.

Fig. 1. The layout (a) and the prototype (b) of a sprayer with a slot atomizer and a turning device: 1 — a frame; 2 — a tank; 3 — the slot atomizer; 4 — a compressor; 5 — an air manifold; 6 — the turning device; 7 — an apron.

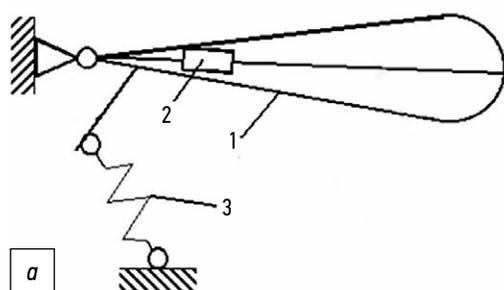


Рис. 2. Схема (а) и опытный образец (b) поворотного устройства: 1 — щуп; 2 — щелевой распылитель; 3 — пружина.
Fig. 2. The layout (a) and the prototype (b) of the turning device: 1 — a probe; 2 — the slot atomizer; 3 — a spring.

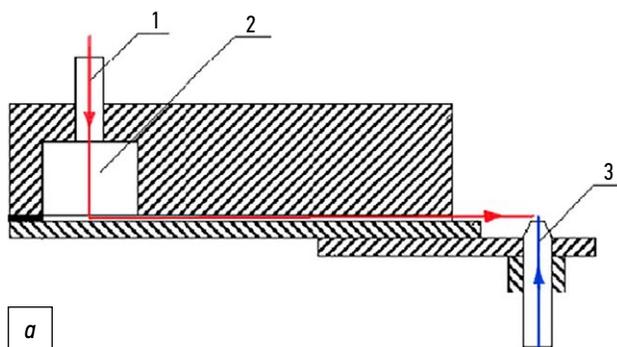


Рис. 3. Схема (а) и опытный образец (b) щелевого распылителя: 1 — воздушная трубка; 2 — пневматическая проточная камера; 3 — питательная трубка распылителя.
Fig. 3. The layout (a) and the prototype (b) of the slot atomizer: 1 — an air tube; 2 — a pneumatic flow chamber; 3 — an atomizer feeding tube.

скорости истечения струи рабочей жидкости и отсутствие вихреобразования на входе воздуха в щелевое сопло. Сжатый воздух по воздушной магистрали подводится к воздушной трубке 1 пневматического щелевого распылителя (рис. 3). Далее воздушный поток попадает в пневматическую проточную камеру 2, проходит по щелевому соплу и создает на выходе воздушную полуограниченную струю.

Выбор и обоснование параметров поворотного устройства

Для поворотного устройства были выделены три основных параметра, влияющих на качество химической обработки [10]:

- α угол установки поворотного устройства;
- L расстояние между штамбами деревьев;
- диаметр штамба дерева.

Другие конструктивные параметры поворотного устройства не рассматривались, так как они не влияют на качество химической обработки.

Выбор оптимальных значений этих параметров проводился на основе симметричного композиционного плана. Максимальное значение угла установки поворотного устройства относительно штамба дерева равно $\alpha_{\max} = 70^\circ$. Минимальный угол установки поворотного устройства относительно штамба дерева равен $\alpha_{\min} = 50^\circ$.

Расстояние между штамбами плодовых деревьев изменялось в интервале $L = 2000 \dots 4000$ мм. Значения диаметра штамба плодового дерева принимались: минимальное $D_{\min} = 40$ мм и максимальное $D_{\max} = 300$ мм. Весь интервал размеров диаметра штамба плодового дерева был разбит на две части: $D = 40 \dots 100$ мм и $D = 100 \dots 300$ мм (табл. 1).

В качестве отклика были приняты [11–12]:

- Y_n не обработанная площадь около штамба, мм²;
- Y_o площадь, обработанная дважды, мм².

Выбор и обоснование параметров щелевого распылителя с проточной камерой

В качестве параметров, влияющих на качество обработки, были приняты [13]:

- h высота воздушного сопла;
- H ширина воздушного сопла;
- S размер щели питательной трубки.

Другие конструктивные параметры щелевого распылителя не являются определяющими для качественной работы нашего распылителя [14].

Минимальный размер щели питательной трубки 1 мм, так как при меньшем диаметре выходное отверстие будет забиваться [15]. При выходном диаметре питательной трубки 4 мм площадь выходного сечения составила 12,57 мм². Расстояние между питательным и воздушным соплом принято минимально возможным

Таблица 1. Факторы, интервалы и уровни варьирования параметров поворотного устройства

Table 1. Factors, intervals and levels of variation of the parameters of the turning device

Факторы	Кодированное обозначение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			-1	0	+1
Расстояние между штамбами, L мм	x_2	1000	2000	3000	4000
Угол установки поворотного устройства, α град	x_1	10	50	60	70
а) диаметр штамба дерева, D мм	x_3	20	40	60	100
б) диаметр штамба дерева, D мм	x_3	100	100	200	300

по конструкции — 8,5 мм, для обеспечения лучшей дисперсии химикатов и максимальной скорости воздушного потока. Минимальная ширина воздушного сопла — 8 мм, а высота — 0,15 мм. Уровни факторов выбирали таким образом, чтобы их оптимальные значения, попадали в центр интервала варьирования (табл. 2).

В качестве отклика была принята производительность распылителя Q (мл/мин).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Параметры поворотного устройства

В результате обработки математической модели поворотного устройства получили уравнения регрессии:

- для дважды обработанной площади около штамба

$$Y_{o, D=40...100} = 6.22 + 0.005x_1 + 0.09x_2 - 0.43x_3 + 0.025x_1x_3 + 8.23x_1x_2 + 0.039x_1^2 - 0.027x_2^2 + 0.02x_3^2, \quad (1)$$

$$Y_{o, D=100...300} = 4.85 + 0.03x_1 + 0.08x_2 - 0.82x_3 - 0.023x_2x_3 - 0.009x_1x_2 - 0.005x_1x_3 + 0.083x_1^2 - 0.017x_2^2 + 0.11x_3^2, \quad (2)$$

- для необработанной площади около штамба

$$Y_{n, D=40...100} = 0.015 - 0.0046x_1 - 0.005x_2 + 0.018x_3 - 0.007x_1x_3 - 0.007x_2x_3, \quad (3)$$

$$Y_{n, D=100...300} = 0.13 - 0.05x_1 - 0.04x_2 + 0.13x_3 - 0.029x_2x_3 + 0.024x_1x_2 - 0.036x_1x_3 + 0.0096x_1^2 + 0.013x_2^2 + 0.032x_3^2. \quad (4)$$

После преобразований (при $x_2 = 0$) получили следующие выражения:

- для дважды обработанной площади около штамба

$$0.0452x_1^2 + 0.0144x_3^2 = Y_{o, D=40...100} - 3.398, \quad (5)$$

$$0.0827x_1^2 + 0.11x_3^2 = Y_{o, D=100...300} - 3.34, \quad (6)$$

- для необработанной площади около штамба

$$0.0035(x_1^2 - x_3^2) = Y_{n, D=40...100} - 0.0028, \quad (7)$$

$$0.0416x_3^2 - 0.0004x_1^2 = Y_{n, D=100...300} - 0.399. \quad (8)$$

Для более детального исследования по уравнениям (5)–(8) были построены трехмерные поверхности откликов (рис. 4 и 5).

Анализ поверхностей показал, что при малых диаметрах штамба $D < 100$ мм площадь необработанной площади зоны не зависит от α угла установки поворотного устройства опрыскивателя (см. рис. 4а). Увеличение диаметра штамба $D > 100$ мм приводит к значительному влиянию α угла установки рабочего органа опрыскивателя на площадь необработанной поверхности. Диапазон изменений необработанной площади находится в пределах $\pm 0.003\%$. Оптимальное значение соответствует углу поворота рабочего органа 60° (см. рис. 4б).

Таблица 2. Факторы, интервалы и уровни варьирования параметров щелевого распылителя

Table 2. Factors, intervals and levels of variation of the slot sprayer parameters

Факторы	Кодированное обозначение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			-1	0	+1
Ширина воздушного сопла H , мм	x_4	1	8	9	10
Высота воздушного сопла h , мм	x_5	0,15	0,15	0,3	0,45
Размер щели питательной трубки S , мм	x_6	1	1	2	3

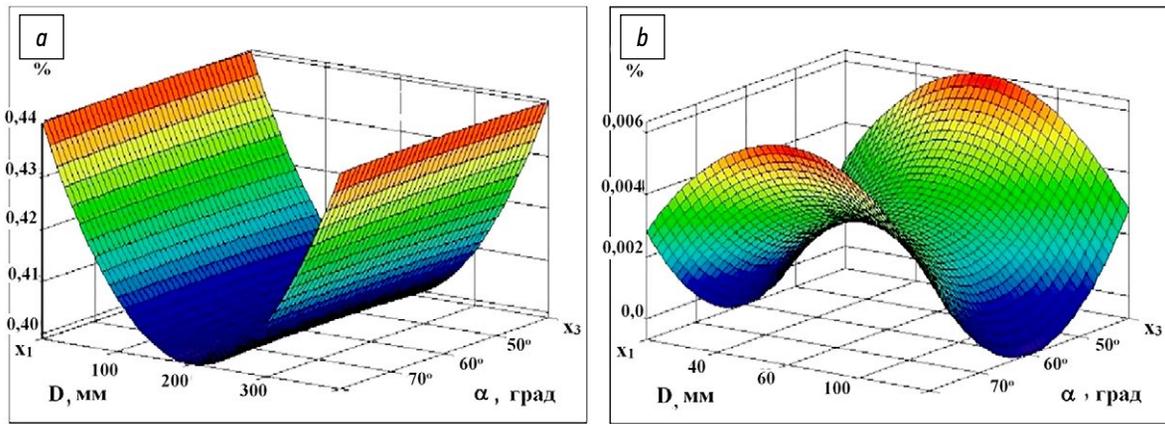


Рис. 4. Зависимость необработанной площади Y_n около штамба от α угла установки поворотного устройства и D диаметра штамба при (a) $D = 40 \dots 100$ мм; (b) $D = 100 \dots 300$ мм.

Fig. 4. Dependence of the untreated area Y_n near a tree trunk on the installation angle α of the turning device and the bole diameter D at (a) $D = 40 \dots 100$ mm; (b) $D = 100 \dots 300$ mm.

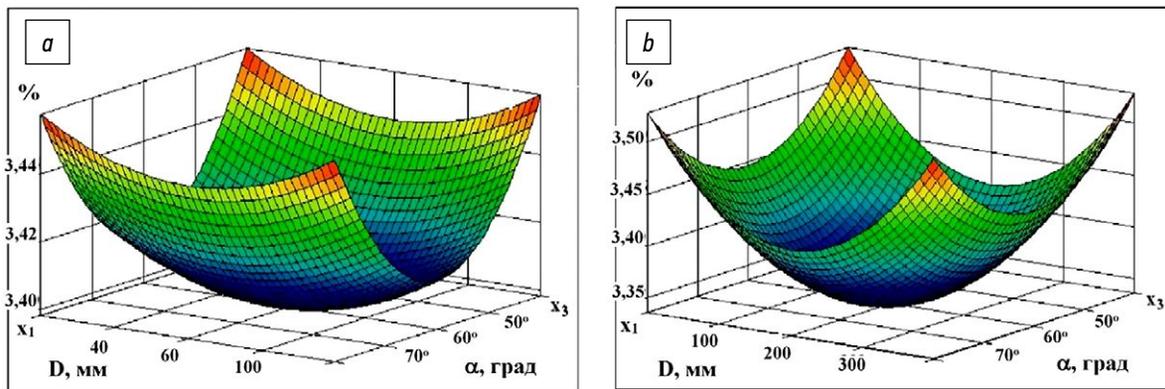


Рис. 5. Зависимость дважды обработанной площади около штамба от α угла установки поворотного устройства и D диаметра штамба при (a) $D = 40 \dots 100$ мм; (b) $D = 100 \dots 300$ мм.

Fig. 5. Dependence of the twice processed area Y_p near a tree trunk on the installation angle α of the turning device and the bole diameter D at (a) $D = 40 \dots 100$ mm; (b) $D = 100 \dots 300$ mm.

Анализ поверхностей двукратной обработки показал, что изменение α угла установки рабочего органа зависит от D диаметра штамба. При больших диаметрах штамба $D > 100$ мм эта зависимость является более выраженной (см. рис. 5b). Оптимальное значение в обоих случаях работы в приствольной зоне наблюдается при $\alpha = 58 \dots 60^\circ$.

Параметры щелевого распылителя

После математической обработки экспериментальных данных было получено уравнение регрессии для производительности распылителя:

$$Y_p = 164.91 + 17.232x_4 + 55.47x_5 + 7.801x_6 + 6.372x_4x_5 - 26.561x_4^2 - 21.003x_5^2 - 37.961x_6^2. \quad (9)$$

Для определения оптимальных параметров были взяты производные уравнения (9) по каждой из переменных и приравнены к нулю:

$$\begin{cases} \frac{dY_p}{dx_4} = -17.232 + 53.122x_4 - 6.372x_5 \\ \frac{dY_p}{dx_5} = -55.47 + 6.372x_4 - 42.006x_5 \\ \frac{dY_p}{dx_6} = 7.801 + 75.722x_6 \end{cases} \quad (10)$$

В результате решения полученных линейных уравнений (10) были определены оптимальные значения параметров щелевого распылителя:

$$x_4 = 0.492 \quad H = 9.492 \text{ мм}, \quad x_5 = 1.395 \quad h = 0.509 \text{ мм},$$

$$x_6 = -0.103 \quad S = 1.97 \text{ мм}.$$

Путем подстановки оптимальных значений параметров x_4, x_5, x_6 уравнение (9) получено максимальное значение производительности $Q = 207.4$ мл/мин. Построение поверхности отклика проводилось с помощью двухмерных сечений, т.е. учитывалось влияние двух факторов на отклик, а третий фактор принимался оптимальным (рис. 6).

При подстановке оптимального значения параметра x_6 получим уравнение регрессии Y_p от параметров x_4 и x_5 в каноническом виде:

$$Y_{p45} - 207.4 = -28.009x_4^2 - 19.555x_5^2. \quad (11)$$

Поскольку коэффициенты при обоих параметрах имеют один знак (отрицательны) поверхность отклика (зависимости производительности $Q(H; h)$ от ширины и высоты воздушного сопла) представляет собой эллипсоид с экстремумом в середине.

Аналогично были получены уравнения регрессии Y_p от двух других параметров:

$$Y_{p46} - 207.4 = -26.561x_4^2 + 37.861x_6^2, \quad (12)$$

$$Y_{p56} - 207.4 = -21.003x_5^2 + 37.861x_6^2. \quad (13)$$

Поскольку в уравнениях (12)–(13) коэффициенты уравнений регрессии при разных параметрах имеют разные знаки, то поверхности отклика представляют собой гиперboloиды с минимаксом в центре. Гиперболы вытянуты вдоль оси с меньшим значением коэффициента в уравнении регрессии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная схема опрыскивателя для химической обработки плодовых культур, включая приствольные зоны. Отсутствие насоса и редуционно-предохранительного устройств экономит расход металла при изготовлении и энергию подачи жидкости к распылителям. Новизна

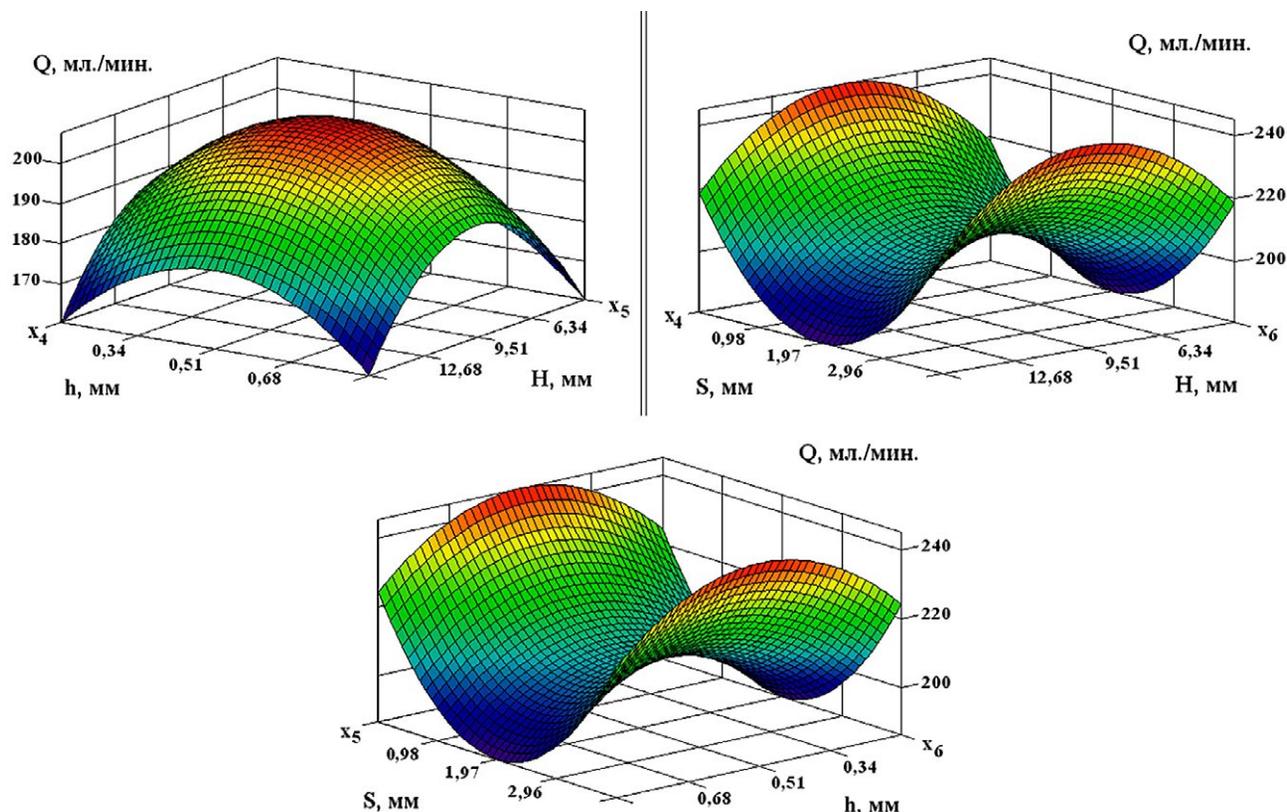


Рис. 6. Поверхности зависимостей h производительности Q от ширины H , высоты h воздушного сопла и размера щели питающей трубкой S .

Fig. 6. Surfaces of the dependences of productivity Q on the width H , the height of the air nozzle and the size of the gap in the feed tube S .

представленного устройства защищена патентами Российской Федерации.

Использование трехфакторного эксперимента позволило определить оптимальные параметры рабочего органа поворотного устройства опрыскивателя и режимов его работы при условии выполнения агротехнических требований к качеству обработки. Согласно полученному уравнению регрессии по критерию максимальной площади обработки около штамба и минимальной площади двукратной обработки начальный угол установки рабочего органа составил $\alpha = 58 \dots 60^\circ$.

На основе трехфакторного эксперимента определены оптимальные параметры распылителя: ширина воздушного сопла $H = 9.492$ мм, высота воздушного сопла $h = 0.509$ мм, размер щели питательной трубкой $S = 1.897$ мм. При этом максимальная производительность составила $Q = 207.4$ мл/мин.

В результате экспериментальных исследований установлено влияние управляемых факторов (ширины и высоты воздушного сопла и щели питательной трубки) на величину производительности распылителя. Увеличение ширины H и высоты h воздушного сопла относительно центра плана при неизменном размере щели питательной трубки приводит к падению производительности. Увеличение щели питательной трубки при неизменных других факторах ведет к росту производительности распылителя: 2,31 л/мин при щели 3 мм и 0,6 л/мин при щели 1 мм. Увеличение щели питательной трубки выше 3 мм при постоянных значениях других факторов приводит к снижению производительности за счет снижения инжекции.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. В.В. Цыбулевский и Б.Ф. Тарасенко — научная идея изобретения, руководство исследованием, написание текста рукописи, редактирование окончательной версии статьи; И.П. Трояновская — решение задачи оптимизации для обоснования параметров щелевого

распылителя; С.А. Войнаш и Р.Р. Загидуллин — проведение трёхфакторного эксперимента для определения угла установки поворотного устройства; С.А. Партко — поиск публикаций по теме статьи, обработка изображений и перевод на английский. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведенным исследованием и публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. V.V. Tsybulevsky and B.F. Tarasenko — scientific idea of the invention, research management, writing th text of manuscript, editing the final version of the article; I.P. Troyanovskaya — solving the optimization problem to justify the parameters of a slot atomizer; S.A. Voinash and R.R. Zagidullin — conducting the three-factor experiment to determine the installation angle of the turning device; S.A. Partko — search for publications on the topic of the article, processing of images and translation into English. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing interests. The authors declare no any transparent and potential conflict of interests in relation to this article publication.

Funding source. The present study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хамурзаев С.М., Борзаев Р.Б., Гишкаева Л.С. Эффективные методы борьбы с сорными растениями в насаждениях плодовых культур // Горное сельское хозяйство. 2018. №. 2. С. 26–28. EDN: XPIENB doi: 10.25691/GSH.2018.2.005
2. Тымчик Н.Е., Закирова М.М., Кузьмина А.В., Ковалева Ю.Р., Яковенко П.Ю. Борьба с сорняками в плодовых насаждениях предгорной зоны плодородства // Colloquium-Journal. 2021. № 5-3(92). С. 4–5. EDN: OZWBOD
3. Горюнов Н.Н. Способы настройки нормы расхода рабочей жидкости сельскохозяйственных опрыскивателей. В кн.: Инновационные тенденции развития российской науки. Материалы XV Международной научно-практической конференции молодых ученых. Красноярск, 2022. С. 195–197. EDN: UKUTGI
4. Соколенко О.Н., Король И.Д. Анализ работы пневматических распылителей. В кн.: Инновационные направления интеграции науки, образования и производства. Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. Керчь, 2023. С. 150–153. EDN: WQVQJK
5. Аушев М.К. Научное обоснование параметров и режимов междурядной обработки почвы комбинированным агрегатом в условиях предгорного садоводства Республики Ингушетия: дисс. ... канд. с.-х. наук. Махачкала, 2017.
6. Tsybulevsky V., Tarasenko B., Troyanovskaya I., et al. Selecting the Best Planter Option Based on Harrington Function // BIO Web of Conference. 2023. Vol. 71. P. 01041. doi: 10.1051/bioconf/20237101041

7. Тхагапсова А.Р., Хажметова Б.Л., Хажметов Л.М. Совершенствование конструкции гербицидной штанги для обработки приствольных полос плодовых насаждений. В кн.: Приоритетные направления инновационного развития сельского хозяйства. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Том II. Нальчик, 2020. С. 88–92. EDN: TNJKFV
8. Юрин А.И., Викторovich В.В. Проблема механизированной обработки междурядий и рядов питомников и ягодников // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2022. № 53. С. 75–82.
9. Патент на изобретение № 2275022/ 27.04.2006. Бюл. №12. Трубилин Е.И., Борисова С.М., Цыбулевский В.В., Куцеев В.В. Опрыскиватель ультрамалообъемный. EDN: LCLWXU
10. Tsybulevskij V., Tarasenko B., Troyanovskaya I., et al. Optimization of the design parameters of the rotary device of the sprayer for the chemical treatment of the near-stem zone of fruit trees // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 390, No. 06002. doi: 10.1051/e3sconf/202339006002
11. Мезникова М.В. Методика оценки качественных показателей опрыскивания на основе анализа тонового изображения

REFERENCES

1. Khamurzaev SM, Borzaev RB, Gishkaeva LS. Effective methods of controlling weeds in plantings of fruit crops. *Mountain agriculture*. 2018;2:26–28. (in Russ). EDN: XPIEHB doi: 10.25691/GSH.2018.2.005
2. Tymchik NE, Zakirova MM, Kuzmina AV, et al. Control of weeds in fruit plants of the footland fruit zone. *Colloquium-Journal*. 2021;5–3(92):4–5. (in Russ). EDN: OZWBOD
3. Goryunov NN. Methods for adjusting the flow rate of working fluid for agricultural sprayers. *Innovative trends in the development of Russian science*. 2022:195–197. (in Russ). EDN: UKUTGI
4. Sokolenko ON, Korol ID. Analysis of the operation of pneumatic sprayers. In: *Innovatsionnye napravleniya integratsii nauki, obrazovaniya i proizvodstva. Sbornik materialov IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Kerch;2023:150–153. (in Russ). EDN: WQVQJK
5. Aushev MK. *Scientific substantiation of the parameters and modes of inter-row soil cultivation with a combined unit in the conditions of foothill gardening of the Republic of Ingushetia* [dissertation] Makhachkala; 2017. (in Russ).
6. Tsybulevsky V, Tarasenko B, Troyanovskaya I, et al. Selecting the Best Planter Option Based on Harrington Function. *BIO Web of Conference*. 2023;71:01041. doi: 10.1051/bioconf/20237101041
7. Thagapsova AR, Khazhmetova BL, Khazhmetov LM. Improving the design of a herbicide boom for treating tree trunk strips of fruit plants. In: *Prioritetnye napravleniya innovatsionnogo razvitiya selskogo khozyaystva. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Nalchik; 2020;2:88–92. (in Russ). EDN: TNJKFV
8. Jurin AI, Viktorovich VV. The problem of mechanized processing of interface and ranks of kennels and berries // *Mechanization*

- and electrification of agriculture. 2022. No. 53. pp. 75–82. (in Russ).
9. Patent RUS 2275022 / 27.04.2006. Bull. 12. Trubilin EI, Borisova SM, Tsybulevskij VV, Kutseev VV. *Supersmall-capacity sprayer*. (in Russ). EDN: LCLWXU
10. Tsybulevskij V, Tarasenko B, Troyanovskaya I, et al. Optimization of the design parameters of the rotary device of the sprayer for the chemical treatment of the near-stem zone of fruit trees. *E3S Web of Conferences*. 2023;390:06002. doi: 10.1051/e3sconf/202339006002
11. Meznikova MV. Methodology for assessing the qualitative performance for spraying based on the analysis of the tonal image of the object in the file color space. *Don agrarian science bulletin*. 2022;15(3):61–71. (in Russ). EDN: YEUMVG doi: 10.55618/20756704_2022_15_2_61-71
12. Tsybulevskiy VV, Tarasenko BF, Oskin SV. Graph-Analytical Method for Determining the Untreated and Treated with the Herbicide Area around the Stem with Overlapping When the Working Body is Made in the Form of a Probe. *IOP Conf. Ser.: Earth Envir. Sci*. 2021;666:032090. doi: 10.1088/1755-1315/666/3/032090
13. Trubilin EI, Borisova SI, Konovalov VI, et al. Experimental studies of parameters of pneumatic slot sprayer // *International journal of emerging trends in engineering research*. 2020;8(1):170–176. doi: 10.30534/ijeter/2020/23812020
14. Abdrazakov FK, Churkina KI. Assessment of agrotechnical and hydraulic characteristics of the spray during different slot sprayers operation. *Agrarian Scientific Journal*. 2022;4:70–75. (in Russ).
15. Tsybulevskij VV. *Parameters of the process of treating the tree trunk zone of fruit trees with herbicides* [dissertation]. Krasnodar; 2007. (in Russ). EDN: NOYZDF

ОБ АВТОРАХ

* Трояновская Ирина Павловна,

Почетный машиностроитель РФ, профессор, д-р техн. наук, профессор кафедры «Тракторы, сельскохозяйственные машины и земледелие»;

адрес: Российская Федерация; 457103, Троицк,

ул. Гагарина, д.13;

ORCID: 0000-0003-2763-0515;

eLibrary SPIN: 8733-7935;

e-mail: tripav63@mail.ru

Цыбулевский Валерий Викторович,

канд. техн. наук,

доцент кафедры механизации, тракторов, автомобилей и технической механики;

ORCID: 0000-0003-4246-6899;

eLibrary SPIN: 6256-1807;

e-mail: valera-1913@mail.ru

Тарасенко Борис Фёдорович,

д-р техн. наук,

доцент кафедры ремонта машин и материаловедения;

ORCID: 0000-0001-9957-5979;

eLibrary SPIN: 7415-7870;

e-mail: b.tarasenko@inbox.ru

Войнаш Сергей Александрович,

инженер, младший научный сотрудник лаборатории интеллектуальной мобильности Института дизайна

и пространственных искусств;

ORCID: 0000-0001-5239-9883;

eLibrary SPIN: 9532-4604;

e-mail: sergey_voi@mail.ru

Партко Светлана Анатольевна,

канд. техн. наук,

доцент кафедры основы конструирования машин;

ORCID: 0000-0002-8568-0716;

eLibrary SPIN: 4528-2130;

e-mail: parlana@rambler.ru

Загидуллин Рамиль Равильевич,

канд. техн. наук,

доцент лаборатории интеллектуальной мобильности;

ORCID: 0000-0001-5185-2690;

eLibrary SPIN: 7207-8758;

e-mail: r.r.zagidullin@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

* Irina P. Troyanovskaya,

Honorary Mechanical Engineer of the Russian Federation,

Professor, Dr. Sci. (Engineering),

Professor of the Tractors, Agricultural Machinery

and Arable Farming Department;

address: 13 Gagarin street, 4571030 Troitsk, Russian Federation;

ORCID: 0000-0003-2763-0515;

eLibrary SPIN: 8733-7935;

e-mail: tripav63@mail.ru

Valery V. Tsybulevsky,

Cand. Sci. (Engineering),

Associate Professor of the Mechanization, Tractors, Automobiles

and Technical Mechanics Department;

ORCID: 0000-0003-4246-6899;

eLibrary SPIN: 6256-1807;

e-mail: valera-1913@mail.ru

Boris F. Tarasenko,

Dr. Sci. (Engineering),

Associate Professor of the Machines Repair

and Materials Science Department;

ORCID: 0000-0001-9957-5979;

eLibrary SPIN: 7415-7870;

e-mail: b.tarasenko@inbox.ru

Sergey A. Voinash,

Engineer, Junior Researcher at the Intelligent Mobility Laboratory

of the Institute of Design and Spatial Arts;

ORCID: 0000-0001-5239-9883;

eLibrary SPIN: 9532-4604;

e-mail: sergey_voi@mail.ru

Svetlana A. Partko,

Cand. Sci. (Engineering),

Associate Professor of the Basics of Machine Design Department;

ORCID: 0000-0002-8568-0716;

eLibrary SPIN: 4528-2130;

e-mail: parlana@rambler.ru

Ramil R. Zagidullin,

Cand. Sci. (Engineering),

Associate Professor of the Intellectual Mobility Laboratory;

ORCID: 0000-0001-5185-2690;

eLibrary SPIN: 7207-8758;

e-mail: r.r.zagidullin@mail.ru