

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-321236>

Оригинальное исследование



Аэрозольный технологический процесс краевой обработки поля для уничтожения сорняков и вредителей

И.М. Киреев¹, М.В. Данилов², З.М. Коваль¹, Ф.А. Зимин¹

¹ Новокубанский филиал Российского научно-исследовательского института информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, Новокубанск, Краснодарский край, Российская Федерация;

² Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Предметом исследования является технологический процесс опрыскивания сорняков и вредителей в краевой области поля полидисперсными каплями из воздушно-дисперсной системы, создаваемой вентилятором с соплом и щелевыми распылителями жидкости.

Цель исследований — обоснование технологического процесса опрыскивания сорняков и вредителей при краевой обработке поля полидисперсным аэрозолем.

Методы и средства. Применялось устройство к навесному штанговому опрыскивателю растений для краевой обработки поля основным способом опрыскивания сорняков и вредителей с требуемыми размерами и числом капель из воздушно-дисперсной струи, создаваемой осевым вентилятором с гидравлическим приводом и соплом, оснащенным по его образующей щелевыми распылителями жидкости для подачи факеловаспыла в начальный участок струи. На основании разработанной методики получены результаты опрыскивания предметных карточек каплями подкрашенной жидкости, закрепленных в определенном положении, в соответствии с ГОСТ 34630, на планшетах и расположенных перпендикулярно направлению движения опрыскивателя на земле и возвышениях.

Новизна исследований. Впервые предложена аэрозольная технология краевой обработки поля для уничтожения сорняков и вредителей.

Результаты. При использовании на образующей сопла устройства восьми щелевых распылителей LU-015. AD-015 (код цвета – зеленый) число осажденных на поверхности капель на 1 см² на расстоянии от сопла до 15 м удовлетворяет агротехническим требованиям по применению гербицидов, а также инсектицидов и фунгицидов. По высоте расположения карточек на расстоянии 10 м от сопла число капель на 1 см² снижается и в особенности при увеличении высоты их расположения. Крупные капли полидисперсной системы оседают на почву раньше для уничтожения сорняков, а мелкие перемещаются к лесополосе для уничтожения вредителей в основании.

Заключение. Теоретическими расчетами и экспериментально обоснована аэрозольная технология комбинированной краевой обработки поли полезащитных насаждений экологически безопасным для окружающей среды холодным аэрозолем с применением щелевых распылителей жидкости. Выполнение рациональной технологии обеспечивается: скоростью движения технического средства 3 км/ч, шириной опрыскивания 10 м, давлением рабочей жидкости 4 Бар, производительностью 3 га/ч, расходом рабочего раствора 108,8 л/га.

Ключевые слова: штанговый опрыскиватель; сопло; вентилятор; струя; распылитель; воздушно-дисперсная система; сорняк; вредитель; полезащитная полоса.

Как цитировать:

Киреев И.М., Данилов М.В., Коваль З.М., Зимин Ф.А. Аэрозольная технология краевой обработки поля для уничтожения сорняков и вредителей // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90, № 3. С. 273–284. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-321236>

Рукопись получена: 16.02.2023

Рукопись одобрена: 15.04.2023

Опубликована онлайн: 15.07.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-321236>

Original Study Article

Aerosol technology for edge treatment of a field for the destruction of weeds and pests

Ivan M. Kireev¹, Mikhail V. Danilov², Zinaida M. Koval¹, Filipp A. Zimin¹¹ Novokubansk Branch of Russian Research Institute of Information and Feasibility Studies on Engineering Support of Agribusiness, Novokubansk, Russian Federation;² Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The subject of the study is the technological process of spraying weeds and pests in the edge area of the field with polydisperse drops from an air-dispersed system created by a fan with a nozzle and slotted liquid sprayers.

AIMS: Justification of the technological process of spraying weeds and pests during the edge treatment of a field with a polydisperse aerosol.

METHODS: There was a device for a mounted boom sprayer of plants used for edge treatment of a field by the main method of spraying weeds and pests with the required size and number of drops from an air-dispersed jet created by an axial fan with a hydraulic drive and a nozzle equipped with slotted sprayers of liquid located along its generatrix for supplying spray cones into the initial section of the jet. Based on the developed method, the results of tinted liquid spraying subject cards fixed in a certain position in compliance with the GOST 34630 on tablets and located perpendicular to the motion direction of the sprayer on soil and hills.

RESEARCH NOVELTY: The aerosol technology for edge treatment of a field for the destruction of weeds and pests was proposed for the first time.

RESULTS: Using eight LU-015. AD-015 (color code - green) slotted sprayers on the nozzle generatrix of the device, the number of drops deposited per 1 cm² on the surface at a distance from the nozzle up to 15 m satisfies the agrotechnical requirements for the use of herbicides, as well as insecticides and fungicides. Throughout the height of the cards at a distance of 10 m from the nozzle, the number of drops per 1 cm² decreases, and especially with an increase in the height of their location. Large drops of the polydisperse system settle on the soil earlier to kill weeds, while small ones move to the forest belt to kill pests at the base.

CONCLUSIONS: With theoretical calculations and experimentally, the aerosol technology of combined edge treatment of a field and field-protective plantings with the environmentally friendly cold aerosol using slotted liquid sprayers was justified. The performance of rational technology is ensured by: the technical unit motion velocity of 3 km/h, the spraying width of 10 m, the working fluid pressure of 4 bar, the productivity of 3 ha/h, the working solution flow rate of 108.8 l/ha.

Keywords: boom sprayer; nozzle; fan; jet; sprayer; air-dispersed system; weed; pest; field-protective forest belt.

To cite this article:

Kireev IM, Danilov MV, Koval ZM, Zimin FA. Aerosol technology for edge treatment of a field for the destruction of weeds and pests. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2023;90(3): 273–284. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-321236>

Received: 16.02.2023

Accepted: 15.04.2023

Published online: 15.07.2023

ВВЕДЕНИЕ

В системе интегрированной защиты растений возделываемых сельскохозяйственных культур от сорняков, вредителей и болезней [1–4] важную роль играют краевые обработки полей, обрамленных защитными лесополосами. Зонами развития сорных растений являются основания и технологические проходы посадок, семена которых увеличенной скоростью ветра разносятся по прилегающим полям, увеличивая количество сорняков практически на всем поле. Зимующие в лесополосах вредители периодически мигрируют на сельскохозяйственные культуры, нанося значительную порчу и качеству зерна [5], снижают урожайность сельскохозяйственных культур. Наиболее опасными краевыми вредителями полей являются:

- злаковая листовёртка (в местах активного размножения вредителя недоборы зерна могут достигать 15 центнеров на гектар);
- клоп вредная черепашка (насекомое относится к особо опасным вредителям. Вред, наносимый ею в регионах вредности, начинает проявляться уже в весе отрастания и кущения озимых, когда имаго перелетают на растения после зимовки. Вредная черепашка закрепляется у основания стебля, потому что там проходят активные ростовые процессы, структура листа рыхлая и сочная. Потом он продвигается выше, по мере того как зачаток поднимается вверх);
- хлебный жук кузья (повреждает пшеницу, ячмень, рожь и дикорастущие злаки. Вред выражается в повреждении личинками 2-го года корневой системы, а жуками – в выедании зёрен в колосе и в их вымолачивании. При интенсивном размножении колония вредителей способна уничтожить целое поле зерновых культур);
- жук красун (в годы массового размножения от хлебных жуков теряется 20–30% урожая, нередко 50% и более);
- пшеничный трипс (повреждает злаковые и другие культуры. У злаковых растений высасывает сок из колоса. Повреждённые верхние части колоса выглядят белёсыми и потрёпанными, впоследствии засыхают);
- хлебная жужелица (при интенсивном размножении колония вредителей способна уничтожить целое поле зерновых культур) и др.

В настоящее время для решения существующей проблемы защиты растений от сорняков и вредителей отсутствуют высокопроизводительные технические средства [6, 7].

Краевая обработка поля основным струйным способом опрыскивания при применении химического метода является актуальной до сих пор. Однако, водные растворы пестицидов в аэрозольном состоянии из-за

несовершенных технологий применения химического метода авиацией, генераторами аэрозоля и вентиляторами распространяются в атмосфере, не выполняя агротехнических требований по уничтожению растительности и вредителей [8, 9]. Известно также, что термические и неуправляемые аэрозоли в форме воздушно-дисперсной системы опасны для окружающей среды [9–14]. Технические средства ограничены в универсальном применении высокопроизводительных и ресурсосберегающих современных технологий защиты растений. Не выполняется главный критерий социальной значимости при применении химического метода, заключающийся в одновременном выполнении агрономических и экологических требований. В системе широко применяемых в сельском хозяйстве щелевых распылителей жидкости [15] скорости витания капель с диаметрами от $5 \cdot 10^{-4}$ до $8 \cdot 10^{-5}$ м имеют значения от 1,94 до 0,19 м/с. Так, например, в воздушном потоке струи такие полидисперсные капли распространяются следующим образом [9]. Мелкие капли приобретают скорость, равную пульсационной скорости воздуха. Для капель средней крупности скорости капель и воздуха через определенное время становятся близкими между собой. Ускорение крупных капель с большим удельным весом, получаемое за счет разности скоростей капель и воздуха, может стать сравнимым с ускорением силы тяжести, т. е. на турбулентную структуру течения будет оказывать влияние не только присутствие «невесомых» капель, но и вес капель. Если струя направлена горизонтально, то сила тяжести оказывает воздействие на поперечные составляющие пульсационной скорости и не влияет на ее продольные составляющие. В случае наклонной струи вес капель будет оказывать влияние на обе составляющие пульсационной скорости [8].

Важным показателем при краевой обработке поля является расстояние технического средства до полезной лесополосы. При этом на дальность действия воздушно-капельной струи влияют: структура сопла, плотность струи и скорость передвижения средства вдоль лесополосы.

Таким образом, аэрозольная технология требует обоснования соответствующей конструкции сопла, с расположением числа щелевых распылителей на его образующей для исключения коагуляции создаваемых капель на выходе воздушного потока из сопла. Применение полидисперсного аэрозоля обуславливает также выбор типа щелевых распылителей, режима распыления рабочей жидкости.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обоснование аэрозольной технологии краевой обработки поля для уничтожения сорняков и вредителей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для реализации поставленной цели предложено использовать навесной к трактору Беларус-1025.2 штанговый опрыскиватель с шириной захвата штанги 12 м, оборудованный осевым вентилятором с соплом, имеющим круглое сопло выходное сечение с установкой на нем широко применяемых щелевых распылителей для подачи факелов распыла с полидисперсной дисперсностью капель под углом к воздушной струе [16]. Гидромотор осевого вентилятора приводился в действие от гидросистемы трактора. Техническое средство [16–18]

с комплектом щелевых распылителей при комбинированной их установке по образующей сопла для подачи факелов распыливаемой жидкости под небольшим углом оси сопла в составе сельскохозяйственного агрегата Беларус 1025.2+ОН-12 приведено на рис. 1.

Длина образующей сопла равна $2\pi r = 1,57$ м, на которой с промежутком 0,19625 м размещалось 8 корпусов со щелевыми распылителями. Общий вид сопла с комплектом щелевых распылителей жидкости на его образующей, показан на рис. 2.

Ось сопла установлена с наклоном 20 градусов к поверхности имитационной площадки для увеличения дальности воздушно-дисперсной струи [18].



Рис. 1. Общий вид технического средства с устройством, оснащенным щелевыми соплами для краевой обработки поля.
Fig. 1. Main view of the technical unit with the device equipped with slotted sprayers for field edge treatment.



Рис. 2. Общий вид сопла с комплектом щелевых распылителей жидкости на образующей сопла: а) вид сопла сбоку; б) вид А.
Fig. 2. Main view of the nozzle with a set of slotted sprayers on the nozzle's generatrix: а) the side view; б) the view А.

Оценка по обеспечению работоспособности технического средства, примененного в штанговом опрыскивателе для борьбы с сорняками и вредителями в ползащитных лесных насаждениях и при краевых обработках полей с осевым вентилятором и обоснованной конструкцией конического сопла технической системой штангового опрыскивателя осуществлялась следующим образом.

В емкость опрыскивателя заливалась вода, температура которой была равна 23 °C [19]. В течении некоторого времени проводился процесс инжестирования капель факелов распыла жидкости щелевых распылителей

воздушным потоком струи и их транспортирование в форме воздушно-дисперсной системы, который показан на рис. 3.

С учетом закономерности распространения воздушно-дисперсной струи [20] предметные карточки закреплялись скрепками на планшетах [19] в перпендикулярном направлении на расстоянии 5 м от линии движения технического средства, учитывая комбинированное применение краевого опрыскивания и опрыскивания поля штанговыми распылителями (рис. 4). Расстояние передвижения технического средства в соответствии с требованиями принималось 60 м [19].



Рис. 3. Процесс инжестирования капель факелов распыла жидкости щелевых распылителей воздушным потоком струи и их транспортирование в форме воздушно-дисперсной системы.

Fig. 3. The process of drop injection of liquid spray cones of slotted sprayers and their transportation in the form of a air-dispersed system.



Рис. 4. Расположение планшетов на площадке с предметными карточками на площадке для получения информационных данных по дисперсности капель, создаваемых режимом технического средства.

Fig. 4. Location of tablets with subject cards at the square for defining the information data on dispersity of drops created with the technical unit operation mode.

Опрыскивание карточек осуществлять рабочим раствором, температура которого должна быть равна 23 °С [19].

Подготовленный к проведению штанговый опрыскиватель в составе с энергосредством, на заданной скорости проезжал отведенный опытный участок. Процесс нанесения капель на карточки воздушно-капельным потоком показан на рис. 5.

В процессе опрыскивания карточек применялась подкрашенная вода красителем для принтера в соотношении 1 к 9. После проведения опытов, пронумерованные предметные карточки 5×7 см [19] с отпечатками капель снимались с планшетов и закреплялись пронумерованные чистые. Карточки с отпечатками капель сканировались компьютерной программой ROv-03 и далее определялись классовые размеры капель.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ОБСУЖДЕНИЕ

Отклонения воздушно-капельной струи Y/d_0 от прямолинейного направления X/d_0 при движении

технического средства вдоль полезащитной лесополосы со скоростями от 3 до 9 км/ч приведены в таблице 1 (y, x – координаты).

Приведенные в таблице 1 данные по отклонению воздушно-капельной струи от перпендикулярного направления были получены для ее начальной скорости на срезе сопла 23,39 м/с при движении технического средства. Расход воздуха из сопла, диаметром $d_0=0,5$ м составлял 4,612 м³/с. Производительность одного сопла распылителя при давлении жидкости 4 Бар равна 0,68 л/мин. Плотность воздушно-капельной струи при работе 8-ми распылителей жидкости на образующей сопла составила 1,22 кг/м³, при расходе жидкости 90,7 г/с. Анализ приведенных в таблице 1 данных показывает, что минимальное отклонение воздушно-капельной струи от прямолинейного направления наблюдается при скорости движения технического средства 3 км/ч.

Технологические показатели технического средства по производительности и расходу рабочей жидкости, л/га, с давлением 4 Бар при применении комплектов распылителей типа -015, -02, -03 и -04 и скоростях движения



Рис. 5. Процесс нанесения капель на карточки из воздушно-капельного потока.

Fig. 5. The process of drops delivery to the cards form the droplet.

Таблица 1. Отклонения воздушно-капельной струи Y / d_0 от прямолинейного направления X / d_0 при движении технического средства вдоль полезащитной лесополосы со скоростями от 3 до 9 км/ч

Table 1. Deviation of a droplet Y / d_0 from longitudinal direction X / d_0 during the technical unit motion along field-protective forest belt with the velocity range from 3 to 9 km/h

X / d_0	X / d_0 при скорости движения технического средства			
	3 км/ч	6 км/ч	8 км/ч	9 км/ч
6	0,131	0,263	0,350	0,395
12	0,178	0,358	0,476	0,537
18	0,211	0,424	0,564	0,637
24	0,238	0,479	0,637	0,719
30	0,258	0,518	0,689	0,778
36	0,276	0,554	0,737	0,832
42	0,285	0,573	0,761	0,859

средства 3, 6, 7, 8, 9, и 10 км/ч вдоль лесополосы на расстоянии 10 м приведены в таблице 2.

Из данных таблицы 2 следует, что с увеличением скорости движения технического средства от 3 до 10 км/ч его производительность увеличивается в 3,33 раза от 4,5 до 15 га/ч, а расход рабочей жидкости, при применении различных комплектов распылителей снижается в 3,33 раза.

Технологические показатели технического средства по производительности и расходу рабочей жидкости с давлением 4 Бар при применении комплектов распылителей типа -015, -02, -03 и -04 и скоростях движения средства 3, 6, 7, 8, 9, и 10 км/ч вдоль лесополосы на расстоянии 15 м приведены в таблице 3.

Приведенные в таблице 3 показатели имеют аналогичную тенденцию увеличения производительности технического средства, при увеличении скорости движения технического средства и снижения при этом расхода жидкости, как и в таблице 2.

В таблице 4 приведены характеристики плоскоструйных распылителей жидкости по производительности и размерам капель в зависимости от давления жидкости.

Из анализа данных таблицы 4 следует, что при распыливании жидкости с давлением 4 Бар при применении комплекта распылителей типа 015 полидисперсные капли с ММД 136–177 явились лучшими для применения краевых обработок поля. В особенности размеры капель

Таблица 2. Технологические показатели технического средства по производительности и расходу рабочей жидкости при движении вдоль лесополосы на расстоянии 10 м

Table 2. Productivity and working liquid flow rate indicators of the technical unit during motion along the forest belt at the distance of 10 m

Скорость технического средства, км/ч					
3	6	7	8	9	10
Производительность технического средства, га/ч					
3	6	7	8	9	10
Расход рабочей жидкости, л/га, при применении распылителей типа 015					
108,8	54,0	46,6	40,8	36,3	32,6
Расход рабочей жидкости, л/га, при применении распылителей типа 02					
145,6	72,8	62,4	54,6	48,5	43,7
Расход рабочей жидкости, л/га, при применении распылителей типа 03					
217,6	108,8	93,3	81,6	72,5	65,3
Расход рабочей жидкости, л/га, при применении распылителей типа 04					
291,2	145,6	124,8	109,2	97,1	87,4

Таблица 3. Технологические показатели технического средства по производительности и расходу рабочей жидкости при движении от лесополосы на расстоянии 15 м

Table 3. Productivity and working liquid flow rate indicators of the technical unit during motion along the forest belt at the distance of 15 m

Скорость технического средства, км/ч					
3	6	7	8	9	10
Производительность технического средства, га/ч					
4,5	9	10,5	12	13,5	15
Расход рабочей жидкости, л/га, при применении распылителей типа 015					
72,5	36,8	31,1	27,2	24,2	21,8
Расход рабочей жидкости, л/га при применении распылителей типа 02					
97,1	48,5	41,6	36,4	32,4	29,1
Расход рабочей жидкости, л/га, при применении распылителей типа 03					
145,1	72,5	62,2	54,4	48,4	42,6
Расход рабочей жидкости, л/га, при применении распылителей типа 04					
194,1	97,1	83,2	72,8	64,7	58,2

Таблица 4. Характеристики плоско-струйных распылителей жидкости по производительности и размерам капель в зависимости от давления жидкости**Table 4.** Productivity and drop size indicators of planar jet sprayers depending on liquid pressure

Давление жидкости, Бар	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Распылитель жидкости тип 015					
Расход жидкости, л/мин	0,48	0,54	0,59	0,64	0,68
Размеры капель, мкм	177-218	136-177	136-177	136-177	136-177
Распылитель жидкости тип 02					
Расход жидкости, л/мин	0,65	0,72	0,79	0,85	0,91
Размеры капель, мкм	177-218	177-218	177-218	177-218	177-218
Распылитель жидкости тип 03					
Расход жидкости, л/мин	0,96	1,08	1,18	1,27	1,36
Размеры капель, мкм	218-349	177-218	177-218	177-218	177-218
Распылитель жидкости тип 04					
Расход жидкости, л/мин	1,29	1,44	1,58	1,70	1,82
Размеры капель, мкм	218-349	218-349	177-218	177-218	177-218

менее 136 мкм распространяются дальше крупных, что важно для уничтожения вредителей, в основании ползающих лесополос.

Данные по осадению классовых размеров капель из воздушно-капельной системы на карточках по высоте их расположения в направлении ее распространения с применением восьми щелевых распылителей LU-015. AD-015, (код цвета – зеленый), приведены в таблице 5.

Данные таблицы 5 позволяют заключить, что мелкие капли транспортируются над поверхностью почвы и по размерам соответствуют для уничтожения летающих вредителей полей.

Классовые размеры капель на карточках, осаждаемые на горизонтальной поверхности из воздушно-капельной системы в направлении ее распространения с применением восьми щелевых распылителей LU-015. AD-015, (код цвета – зеленый) приведены в таблице 6.

Данные таблицы 6 позволяют сделать вывод, что численные значения показателей дисперсности на поверхности почвы с дальностью распространения воздушно-капельной струи уменьшаются. Крупные капли полидисперсной системы оседают на почву раньше для уничтожения сорняков, а мелкие капли

Таблица 5. Классовые размеры капель, осаждаемые из воздушно-капельной системы на карточках по высоте их расположения**Table 5.** Class sizes of drops deposited from a droplet on the cards depending on the cards' location height

№	Средний диаметр капли, мкм			Средне-взвешенный диаметр, мкм	Количество капель по диапазонам, шт.			Процентное соотношение капель			Доля покрытия, %	Среднее число капель на 1 см²
	<150	от 150 до 300	>300		<150	от 150 до 300	>300	<150	от 150 до 300	>300		
1*	76,3	210,2	985,9	451,6	1682	781	1534	42,1	19,5	38,4	19,7	114,2
2*	74,9	212,6	1331,0	629,8	1710	827	1844	39,0	18,9	42,1	29,8	125,2
3*	74,5	213,8	1954,8	973,1	1603	718	2022	36,9	16,5	46,6	45,6	124,1
4*	81,4	206,7	452,8	185,6	67	31	24	54,9	25,4	19,7	0,5	3,5
5*	80,8	222,8	438,0	229,1	35	20	25	43,8	25,0	31,3	0,5	2,3
6*	75,8	209,9	469,7	135,0	98	32	11	69,5	22,7	7,8	0,8	4,0
7*	72,3	198,8	412,6	128,0	78	28	9	67,8	26,7	8,7	0,7	3,3
8*	68,5	187,6	391,7	132,0	63	21	7	69,2	21,6	7,2	0,5	2,6
9*	67,4	168,5	376,5	118,0	54	12	4	77,1	12,9	4,3	0,4	2,0

* Высота установки карточек № 1-3 – 62 см; № 4-6 – 115 см; № 7-9 – 175 см.

Таблица 6. Классовые размеры капель на карточках, осажденные на горизонтальной поверхности из воздушно-капельной системы в направлении ее распространения

Table 6. Class sizes of drops deposited from a droplet on longitudinal surface of the cards at the spreading direction

№	Средний диаметр капли, мкм			Средне взвешенный диаметр, мкм	Количество капель по диапазонам, шт.			Процентное соотношение капель			Доля покрытия, %	Среднее число капель на 1 см ²
	<150	от 150 до 300	>300		<150	от 150 до 300	>300	<150	от 150 до 300	>300		
1	134,0	298,0	662,8	335,7	954,0	461,0	576,0	47,9	23,2	28,9	6,5	56,9
2	131,9	289,1	642,9	329,0	920,0	435,0	568,0	47,8	22,6	29,5	6,3	54,9
3	134,6	295,0	656,2	328,9	934,0	452,0	530,0	48,7	23,6	27,7	6,3	54,7
4	129,2	283,1	629,7	325,5	904,0	421,0	524,0	48,9	22,8	28,3	6,0	52,8
5	127,8	280,1	623,1	299,3	893,0	427,0	510,0	48,8	23,3	27,9	6,0	52,3
6	123,8	271,2	603,2	286,6	872,0	408,0	498,0	49,0	22,9	28,0	5,8	50,8
7	126,5	277,1	616,4	309,0	883,5	367,0	486,0	50,9	21,1	28,0	5,7	49,6
8	122,4	268,2	596,5	289,7	855,0	389,0	448,0	50,5	23,0	26,5	5,5	48,3
9	121,0	265,2	589,9	292,6	853,0	390,0	434,0	50,9	23,3	25,9	5,5	47,9
10	125,1	274,2	609,8	299,3	874,0	418,0	421,0	51,0	24,4	24,6	5,6	48,9
11	122,4	268,2	596,5	289,7	855,0	377,0	408,0	52,1	23,0	24,9	5,4	46,9
12	119,7	262,2	583,3	286,3	836,0	365,0	382,0	52,8	23,1	24,1	5,2	45,2
13	115,6	253,3	563,4	285,3	834,0	352,0	375,0	53,4	22,5	24,0	5,1	44,6
14	117,0	256,3	570,0	270,8	820,0	318,0	381,0	54,0	20,9	25,1	5,0	43,4
15	112,9	247,3	550,1	278,6	781,0	310,0	359,0	53,9	21,4	24,8	4,7	41,4
16	114,2	250,3	556,8	282,0	795,0	325,0	344,0	54,3	22,2	23,5	4,8	41,8
17	111,5	244,4	543,5	275,3	779,0	308,0	327,0	55,1	21,8	23,1	4,6	40,4
18	108,8	238,4	530,3	268,5	763,0	301,0	301,0	55,9	22,1	22,1	4,5	39,0
19	110,2	241,4	536,9	269,1	802,0	294,0	298,0	57,5	21,1	21,4	4,5	39,8
20	107,4	235,4	523,6	265,2	741,0	304,0	276,0	56,1	23,0	20,9	4,3	37,7
21	108,8	238,4	530,3	268,5	760,0	286,0	281,0	57,3	21,6	21,2	4,3	37,9
22	103,4	226,5	503,8	244,6	722,0	275,0	264,0	57,3	21,8	20,9	4,1	36,0
23	102,0	223,5	497,1	251,8	802,0	264,0	256,0	60,7	20,0	19,4	4,3	37,8
24	104,7	229,5	510,4	258,5	745,0	255,0	218,0	61,2	20,9	17,9	4,0	34,8
25	99,3	217,5	483,9	245,0	638,0	212,0	228,0	59,2	19,7	21,2	3,5	30,8
26	96,6	211,6	470,6	238,3	674,0	238,0	211,0	60,0	21,2	18,8	3,7	32,1
27	100,6	220,5	490,5	235,6	703,0	227,0	198,0	62,3	20,1	17,6	3,7	32,2
28	95,2	208,6	464,0	235,0	665,0	215,0	186,0	62,4	20,2	17,4	3,5	30,5
29	92,5	202,6	450,7	228,3	646,0	208,0	175,0	62,8	20,2	17,0	3,4	29,4
30	91,1	199,7	444,1	224,9	705,0	197,0	168,0	65,9	18,4	15,7	3,5	30,6
31	93,8	205,6	457,4	231,6	673,0	201,0	153,0	65,5	19,6	14,9	3,4	29,3
32	88,4	193,7	430,8	218,2	614,0	195,0	148,0	64,2	20,4	15,5	3,1	27,3
33	87,0	190,7	424,2	214,8	608,0	187,0	156,0	63,9	19,7	16,4	3,1	27,2
34	89,8	196,7	437,5	214,7	627,0	173,0	138,0	66,8	18,4	14,7	3,1	26,8
35	85,7	187,7	417,6	211,5	585,0	192,0	149,0	63,2	20,7	16,1	3,0	26,5

Таблица 6. Окончание**Table 6.** Ending

№	Средний диаметр капли, мкм			Средне взвешенный диаметр, мкм	Количество капель по диапазонам, шт.			Процентное соотношение капель			Доля покрытия, %	Среднее число капель на 1 см ²
	<150	от 150 до 300	>300		<150	от 150 до 300	>300	<150	от 150 до 300	>300		
36	84,3	184,8	411,0	201,7	589,0	169,0	137,0	65,8	18,9	15,3	2,9	25,6
37	81,6	178,8	397,7	201,4	570,0	154,0	134,0	66,4	17,9	15,6	2,8	24,5
38	78,9	172,8	384,4	182,6	551,0	138,0	127,0	67,5	16,9	15,6	2,7	23,3
39	77,5	169,9	377,8	191,3	549,0	141,0	118,0	67,9	17,5	14,6	2,6	23,1
40	80,2	175,8	391,1	198,0	559,0	125,0	126,0	69,0	15,4	15,6	2,6	23,1
41	74,8	163,9	364,6	165,6	610,0	119,0	115,0	72,3	14,1	13,6	2,8	24,1
42	72,1	157,9	351,3	177,9	506,0	121,0	109,0	68,8	16,4	14,8	2,4	21,0
43	69,4	155,7	338,0	168,8	482,0	114,0	107,0	68,6	16,2	15,2	2,3	20,1
44	63,9	153,2	311,5	116,9	446,0	105,0	94,0	69,1	16,3	14,6	2,1	18,4
45	57,1	152,1	310,1	133,6	399,0	99,0	85,0	68,4	17,0	14,6	1,9	16,7
46	51,7	151,0	302,3	133,5	361,0	94,0	69,0	68,9	17,9	13,2	1,7	15,0
47	49,0	150,9	301,4	135,7	190,0	62,0	34,0	66,4	21,7	11,9	0,9	8,2

Таблица 7. Основные показатели технологии комбинированной краевой обработки поля и полезащитных лесных насаждений с применением восьми щелевых распылителей LU-015. AD-015, (код цвета – зеленый)**Table 7.** Main indicators of the technology of combined edge treatment of a field and field-protective forest plantings using eight LU-015. AD-015 (color code – green) slotted sprayers

Наименование технологических показателей краевой обработки поля	Значение
Скорость движения технического средства, км/ч	3
Расстояние от лесополосы (ширина опрыскивания), м	10
Производительность, га/ч	3
Расход рабочего раствора при давлении 4 Бар, л/га	108,8
Вместимость емкости для рабочей жидкости, л	600

перемещаются к лесополосе для уничтожения вредителей в основании.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволили установить основные показатели технологии комбинированной краевой обработки поля и полезащитных лесных насаждений, приведенные в таблице 7.

ВЫВОД

Теоретическими расчетами и экспериментально обоснована рациональная технология комбинированной краевой обработки поля и полезащитных лесных насаждений экологически безопасным для окружающей среды холодным аэрозолем с применением щелевых распылителей жидкости.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. И.М. Киреев — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи, экспертная оценка, утверждение финальной версии; З.М. Коваль — написание текста рукописи, редактирование текста рукописи; Ф.А. Зимин — создание изображений; М.В. Данилов — поиск публикаций и проведение лабораторных опытов по теме статьи. 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 публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Научное исследование проведено в соответствии с научно-тематическим планом Минсельхоза России № 082-00086-22-01 за счет средств федерального бюджета.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. I.M. Kireev — search for publications on the topic of the article, writing the text of the manuscript, expert opinion, approval of the final version; Z.M. Koval — writing and editing the text of the manuscript; P.A. Zimin — creating images; M.V. Danilov — search

for publications and laboratory experiments on the topic of the article. The authors confirm that their authorship complies with the international ICMJE criteria (all authors made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. The scientific study was carried out in accordance with the scientific and thematic plan of the Ministry of Agriculture of Russia No. 082-00086-22-01 at the expense of the federal budget.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганиев М.М., Недорезков В.Д. Химические средства защиты растений. Учебное пособие. М.: Колос, 2006.
2. Дмитриеико В.Л. Экологическая эффективность полезащитных лесных полос // Лесное хозяйство. 1981. № 8. С. 38–40.
3. Тузов В.К., Калининченко Э.М., Рябинков В.А. Методы борьбы с болезнями и вредителями леса. М.: ВНИИЛМ, 2003.
4. Щербланов В.Ю., Крюкова Е.А. Система мероприятий по борьбе с вредителями и болезнями в защитных лесонасаждениях и лесных питомниках. М.: Колос, 1977.
5. Орлов В.Н. Вредители зерновых колосовых культур. М.: Печатный Город, 2006.
6. Киреев И.М., Коваль З.М., Зимин Ф.А. и др. Инновационный способ для краевой обработки поля и средство его реализации // Агрофорум. 2021. № 8. С. 66–70.
7. Докучаев В.В. Лекции о почвоведении. Избранные труды. М.: Юрайт, 2020.
8. Гейсбюлер Х. Химический метод – настоящее и будущее // Защита растений. 1982. № 4. С. 8.
9. Никитин Н.В., Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г. Научно-практические аспекты технологии применения современных гербицидов в растениеводстве. М.: Печатный Город, 2010.
10. Дунский В.Ф., Никитин Н.В., Соколов М.С. Пестицидные аэрозоли. М.: Наука, 1982.
11. ООО «Дюпон Наука и Технологии» при содействии фирмы Lechler. Теория и практика опрыскивания. Методическое пособие. Методическое пособие подготовлено (июль-август 2010). М.: ООО «Дюпон Наука и Технологии» при содействии компании Lechler, 2010.
12. Никитин Н.В., Абукиров В.А. Технология внесения гербицидов // Защита растений. 2000. № 3. С. 47–50.
13. Никитин Н.В., Спиридонов Ю.Я., Абукиров В.А. и др. Штанговые опрыскиватели с вращающимися распылителями // Защита и карантин растений. 2005. № 5. С. 46–48.
14. Никитин Н.В., Абукиров В.А. Технология внесения гербицидов // Научно обоснованные технологии химического метода борьбы с сорняками в растениеводстве в различных регионах Российской Федерации / Под ред. Спиридонова Ю.Я., Шестакова В.Г. Голицыно: РАСХН – ВНИИФ, 2001. С. 29–52.
15. Ревякин Е.Л., Краховецкий Н.Н. Машины для химической защиты растений в инновационных технологиях: науч. анализ. обзор. М.: Росинформагротех, 2010.
16. Патент РФ № 210868 / 12.05.2022. Бюл. № 14. Киреев И.М., Коваль З.М. Устройство к штанговому опрыскивателю растений для борьбы с сорняками и вредителями в полезащитных лесных насаждениях и при краевой обработке поля. [дата обращения: 16.02.2023] Режим доступа: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=210868&TypeFile=html
17. Kireev I., Koval' Z., Danilov M. Application of Slot Liquid Nozzles in a Technical Means for Edge Treatment of Field // AIP Conference Proceedings. 2022. Vol. 2503. P. 030032. doi: 10.1063/5.0099393
18. Киреев И.М., Данилов М.В. Коваль З.М., и др. Аэрозольная технология краевой обработки поля для уничтожения сорняков и вредителей // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2022. № 3 (31). С. 52–65.
19. ГОСТ 34630-2019. Техника сельскохозяйственная. Машины для защиты растений. Опрыскиватели. Методы испытаний. Введ. 2021–15–03. М.: Стандартинформ, 2020. [дата обращения: 16.02.2023] Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200174759>
20. Абрамович Г.Н., Гиршович Т.А., Крашенинников С.Ю., и др. Теория турбулентных струй. М: Наука, 1984.

REFERENCES

1. Ganiev MM, Nedorezkov VD. *Chemical means of plant protection. Tutorial*. Moscow: Kolos; 2006. (In Russ).
2. Dmitreiko VL. Ecological efficiency of shelter belts. *Lesnoe khozyaystvo*. 1981;8:38–40. (In Russ).
3. Tuzov VK, Kalinichenko EM, Ryabinkov VA. *Forest disease and pest control methods*. Moscow: VNIILM; 2003. (In Russ).
4. Shcheblanov VYu, Kryukova EA. *The system of measures for the control of pests and diseases in protective forest plantations and forest nurseries*. Moscow: Kolos; 1977. (In Russ).
5. Orlov VN. Pests of cereal crops. Moscow: Pechatnyy Gorod; 2006. (In Russ).
6. Kireev IM, Koval ZM, Zimin FA, et al. An innovative method for edge processing of the field and a means of its implementation. *Agroforum*. 2021;8:66–70. (In Russ).

7. Dokuchaev VV. *Lectures on soil science. Selected writings*. Moscow: Yurayt; 2020. (In Russ).
8. Geisbuhler H. Chemical method – present and future. *Zashchita rasteniy*. 1982;4:8. (In Russ).
9. Nikitin NV, Spiridonov YuYa, Shestakov VG. *Scientific and practical aspects of the technology of application of modern herbicides in crop production*. Moscow: Pechatnyy Gorod; 2010. (In Russ).
10. Dunskey VF, Nikitin NV, Sokolov MS. *Pesticide sprays*. Moscow: Nauka; 1982. (In Russ).
11. 000 “Dyupon Nauka i Tekhnologii” with the assistance of Lechler. *Theory and practice of spraying. Toolkit*. Moscow: 000 «Dyupon Nauka i Tekhnologii», Lechler; 2010. (In Russ).
12. Nikitin NV, Abubikero V. A. Herbicide Application Technology. *Zashchita rasteniy*. 2000;3:47–50. (In Russ).
13. Nikitin NV, Spiridonov YuYa, Abubikero V. A., et al. Boom sprayers with rotating nozzles. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2005;5:46–48. (In Russ).
14. Nikitin NV, Abubikero V. A. Technology of herbicide application. In: *Science-based technologies of the chemical method of weed control in crop production in various regions of the Russian Federation*. Eds. Spiridonova YuYa, Shestakova VG. Golitsino: RASKhN – VNIIF; 2001:29–52. (In Russ).
15. Revyakin EL, Krakhovetsky NN. *Machines for chemical plant protection in innovative technologies: scientific. analyte review*. Moscow: Rosinformagrotekh; 2010. (In Russ).
16. Patent RUS № 210868 / 12.05.2022. Byul. № 14. Kireev I.M., Koval Z.M. Ustroystvo k shtangovomu opryskivatelyu rasteniy dlya borby s sornyakami i vreditelyami v polezashchit-nykh lesnykh nasazhdeniyakh i pri kraevoy obrabotke polya. (In Russ). Accessed: 16.02.2023. Available from: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=210868&TypeFile=html
17. Kireev I, Koval' Z, Danilov M. Application of Slot Liquid Nozzles in a Technical Means for Edge Treatment of Field. *AIP Conference Proceedings*. 2022;2503:030032. doi: 10.1063/5.0099393
18. Kireev IM, Danilov MV, Koval ZM, et al. Aerosol technology for edge processing of the field for the destruction of weeds and pests. *Izvestiya selskokhozyaystvennoy nauki Tavridy*. 2022;3(31):52–65. (In Russ).
19. GOST 34630-2019. Tekhnika selskokhozyaystvennaya. Mashiny dlya zashchity rasteniy. Oprys-kivately. Metody ispytaniy. Vved. 2021–15–03. Moscow: Standartinform; 2020. (In Russ). Accessed: 16.02.2023. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200174759>
20. Abramovich GN, Girshovich TA, Krashennnikov SYu, et al. *Theory of turbulent jets*. Moscow: Nauka; 1984. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

* Коваль Зинаида Михайловна,

канд. техн. наук,
главный научный сотрудник лаборатории разработки
испытательного оборудования;
адрес: Российская Федерация, Краснодарский край,
352243, Новокубанск, Красная ул., д. 15;
ORCID: 0000-0002-5214-2110;
eLibrary SPIN: 1378-2953;
e-mail: zinakoval@mail.ru

Киреев Иван Михайлович,

д-р техн. наук,
ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией
разработки испытательного оборудования;
ORCID: 0000-0003-0723-4515;
eLibrary SPIN: 4348-1536;
e-mail: zinakoval@mail.ru

Данилов Михаил Владимирович,

канд. техн. наук,
заведующий кафедрой процессов и машин в агробизнесе;
ORCID: 0000-0002- 8369-3329;
eLibrary SPIN: 5193-0379;
e-mail: danilomaster80@mail.ru

Зимин Филипп Александрович,

инженер лаборатории разработки испытательного
оборудования,
ORCID: 0000-0001-6655-3976;
eLibrary SPIN: 4290-8248;
e-mail: zinakoval@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку

AUTHORS' INFO

* Zinaida M. Koval,

Cand. Sci. (Tech.),
Chief Scientist of the Laboratory
for Test Equipment;
address: 15 Krasnaya street, 352243 Novokubansk,
Krasnodar Region, Russian Federation;
ORCID: 0000-0002-5214-2110;
eLibrary SPIN: 1378-2953;
e-mail: zinakoval@mail.ru

Ivan M. Kireev,

Dr. Sci. (Tech.),
Leading Researcher, Head of the Laboratory
for Test Equipment;
ORCID: 0000-0003-0723-4515;
eLibrary SPIN: 4348-1536;
e-mail: zinakoval@mail.ru

Michael V. Danilov,

Cand. Sci. (Tech.),
Head of the Processes and Machines in Agribusiness Department;
ORCID: 0000-0002- 8369-3329;
eLibrary SPIN: 5193-0379;
e-mail: danilomaster80@mail.ru

Philipp A. Zimin,

Engineer of the Laboratory for Test Equipment;
ORCID: 0000-0001-6655-3976;
eLibrary SPIN: 4290-8248;
e-mail: zinakoval@mail.ru

* Corresponding author