

Научная статья

УДК 631.348

doi: 10.55196/2411-3492-2022-4-38-136-145

## Акустическое распыливание жидкости: особенности конструкции распылителей и установок для обработки сельскохозяйственных культур

Луан Мухажевич Хажметов<sup>✉1</sup>, Алина Лиуановна Хажметова<sup>2</sup>,  
Кантемир Владиславович Мишхожев<sup>3</sup>

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, проспект  
Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030

<sup>✉1</sup>hajmetov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5830-4355>

<sup>2</sup>alinahazhmetova@yandex.ru

<sup>3</sup>mvkkkk@mail.ru

**Аннотация.** Акустическое распыливание жидкости является одним из новых способов, который находит применение в сельскохозяйственном производстве для химической защиты сельскохозяйственных культур. При этом способе обеспечивается малый расход рабочей жидкости с высокой степенью дробления и в целом приводит к снижению энергозатрат при её дроблении. Наибольшее распространение в сельскохозяйственном производстве получили распылители с излучателем Гартмана, в которых используются генераторы с соплами и резонирующими полостями различных форм и в различных сочетаниях: кольцевые сопла и цилиндрические резонирующие полости; сопло свободное от стержня и т. п. Наиболее перспективным является подвод жидкости в зону акустических колебаний в виде пленки. Этот способ позволяет при малых давлениях подачи жидкости создать достаточно тонкую пленку, разрушающуюся при незначительных затратах мощности. С учетом данного способа разработаны образцы новой техники, в которых исполнительным органом является пневмоакустический распылитель жидкости, а также были разработаны: установка автоматического поддержания влажности, опрыскиватель для насаждений земляники и индивидуальный туманообразователь. Конструктивные особенности технических средств с пневмоакустическими распылителями не позволяют использовать их для химической защиты низкорослых плодовых насаждений. В связи с этим разработка новой конструктивно-технологической схемы пневмоакустического распылителя, позволяющего обрабатывать кроны низкорослых плодовых насаждений, является актуальной. В статье рассматривается конструктивно-технологическая схема и опытный образец пневмоакустического распылителя: устройство и принцип его работы. Для изучения качественных показателей работы пневмоакустического распылителя была оборудована лабораторно-стендовая установка. Изучалось влияние частоты вращения резонатора (0; 500 и 1000 об/мин), давления воздуха (0,08; 0,01; 0,20 и 0,25 МПа), расстояния между соплом и резонатором (6; 10 и 14 мм) на дисперсность распада капель дождя. Приводятся результаты исследований качественных показателей работы пневмоакустического распылителя: построены интегральные кривые распределения капель рабочей жидкости и определена техническая характеристика предлагаемого пневмоакустического распылителя. Материал статьи представляет научный и практический интерес для аграриев России, так как использование предлагаемого пневмоакустического распылителя при обработке сельскохозяйственных культур позволит сэкономить дорогостоящие препараты.

**Ключевые слова:** сельскохозяйственные культуры, обработка, акустическое распыливание, пневмоакустический распылитель, опрыскиватель, рабочая жидкость, дисперсность распада, диаметр капли

**Для цитирования.** Хажметов Л. М., Хажметова А. Л., Мишхожев К. В. Акустическое распыливание жидкости: особенности конструкции распылителей и установок для обработки сельскохозяйственных культур // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2022. № 4(38). С. 136–145. doi: 10.55196/2411-3492-2022-4-38-136-145

Original article

## Acoustic liquid spraying: design features of sprayers and plants for processing agricultural crops

Luan M. Khazhmetov<sup>✉1</sup>, Alina L. Khazhmetova<sup>2</sup>, Kantemir V. Mishozhev<sup>3</sup>

Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue, Nalchik, Russia, 360030

<sup>✉1</sup>hajmetov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5830-4355>

<sup>2</sup>alinahazhmetova@yandex.ru

<sup>3</sup>mvkkkk@mail.ru

**Abstract.** Acoustic liquid spraying is one of the new methods that finds application in agricultural production for the chemical protection of crops. This method provides a low consumption of the working fluid with a high degree of crushing and generally leads to a reduction of energy consumption when crushing the working fluid. The most widespread in agricultural production are atomizers with a Hartmann emitter, which use generators with nozzles and resonating cavities of various shapes and in various combinations: annular nozzles and cylindrical resonating cavities; nozzle free from stem, etc. The most promising is the supply of liquid to the zone of acoustic vibrations in the form of a film. This method makes it possible, at low liquid supply pressures, to create a sufficiently thin film that breaks down at low power consumption. Taking into account this method, samples of new equipment were developed, in which the executive body is a pneumoacoustic liquid sprayer, and the following were also developed: an automatic humidity maintenance unit, a sprayer for strawberry plantations and an individual fogger. The design features of technical means with pneumoacoustic sprayers do not allow them to be used for chemical protection of low-growing fruit plantations. In this regard, the development of a new constructive-technological scheme of a pneumoacoustic sprayer, which makes it possible to process the crowns of undersized fruit plantations, is relevant. The article discusses the design and technological scheme and a prototype of a pneumoacoustic sprayer: the device and the principle of its operation. To study the quality indicators of the pneumoacoustic sprayer, a laboratory-bench installation was equipped. The influence of the resonator rotation frequency (0; 500 and 1000 rpm), air pressure (0.08; 0.01; 0.20 and 0.25 MPa), distance between the nozzle and the resonator (6; 10 and 14 mm) was studied. on the dispersity of the decay of raindrops. The results of studies of the qualitative indicators of the operation of a pneumoacoustic atomizer are presented: integral curves for the distribution of drops of the working fluid are constructed and the technical characteristics of the proposed pneumoacoustic atomizer are determined. The material of the article is of scientific and practical interest to Russian farmers, since the use of the proposed pneumoacoustic sprayer in the processing of crops will save expensive drugs.

**Keywords:** agricultural crops, processing, acoustic spraying, pneumoacoustic sprayer, sprayer, working fluid, dispersion of decay, drop diameter

**For citation.** Khazhmetov L.M., Khazhmetova A.L., Mishozhev K.V. Acoustic spraying of liquid: design features of sprayers and plants for processing agricultural crops. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2022;4(38):136–145. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2022-4-38-136-145

**Введение.** Акустическое распыливание жидкости является одним из новых способов, который находит применение в сельскохозяйственном производстве для химической защиты сельскохозяйственных культур. Пнеумоакустические распылители жидкости (ПАРЖ), используемые при этом способе, обеспечивают малый расход рабочей жидкости (0,3-0,8 л/мин) с высокой степенью дроб-

ления (10-100 мкм) и в целом приводят к снижению энергозатрат при её дроблении.

Во Всероссийском селекционно-технологическом институте садоводства и питомниководства (г. Москва) разработаны и апробированы в производственных условиях установки и опрыскиватели с ПАРЖ.

Однако конструктивные особенности этих технических средств не позволяют использо-

вать их для химической защиты плодовых насаждений интенсивного типа. В связи с этим возникает необходимость разработки новой конструктивно-технологической схемы ПАРЖ, позволяющей обрабатывать кроны низкорослых плодовых насаждений.

**Цель исследования.** Научное обоснование конструктивно-технологической схемы ПАРЖ для обработки низкорослых плодовых насаждений.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Исследования базируются на разработках Всероссийского селекционно-технологического института садоводства и питомниководства (ВСТИСП), объектом исследования является ПАРЖ. Для изучения качественных показателей работы ПАРЖ была оборудована лабораторно-стендовая установка.

Изучалось влияние частоты вращения резонатора (0; 500 и 1000 об/мин), давления воздуха (0,08; 0,01; 0,20 и 0,25 МПа), расстояния между соплом и резонатором (6; 10 и 14 мм) на дисперсность распада капель дождя [1].

При этом были определены дисперсность распада капель жидкости и густота покрытия кроны плодового дерева каплями рабочей жидкости. Густоту покрытия определяли с помощью карточек размером 50x70 мм, развешенных на кроне плодового дерева по стандартной схеме<sup>1,2</sup>.

Отбор капель жидкости проводили с помощью поточной ловушки. Для подсчета количества и замера капель использовали микроскоп с наклонным тубусом с одновременным микрофотографированием капель жидкости. Обработка результатов экспериментов выполнена с использованием программных продуктов Microsoft Excel 2010, Mathcad Prime 3.0.

**Результаты исследования.** Значительный вклад в разработку технических решений акустического способа распыливания жидкости внесли Л. Д. Розенберг, Б. С. Пашковский, Ю. Я. Борисов, О. К. Эксподиосянц,

А. М. Гапоненко, Т. Я. Рудаков, В. М. Фридман, Ю. Ф. Дитякин, Д. Г. Пажи и др. [2–6].

Однако до настоящего времени нет четких представлений о механизме воздействия колебаний газовой среды на распад жидкой пленки или струи, вытекающей из акустического распылителя.

Одни исследователи объясняют распыливание возникновением на поверхности жидкости капиллярных волн, вершины которых при достижении определенной амплитуды отделяются от поверхности жидкости в виде капель. По мнению других авторов, распыливание обусловлено возникновением кавитации с периодическим образованием во время полуволны разряжения в пленке небольших полостей, заполненных парами жидкости. Разрушение этих полостей во время полуволны сжатия вызывает сильные ударные волны, разрушающие поверхность жидкости и приводящие к распыливанию [2–5].

Независимо от причин возникновения звуковых колебаний газового потока, его акустическая энергия и интенсивность воздействия в значительной мере определяется конструкцией распылителя.

Все акустические распылители отличаются между собой типом генератора акустических колебаний и делятся на пять основных групп: форсунки без стержней; со струйным излучателем Гартмана; со статическим или динамическим генератором; с вихревым генератором [5, 6].

Акустические распылители представляют собой конструктивное соединение источника акустических колебаний (генератора – излучателя) и устройства для подвода жидкости.

Наибольшее распространение в сельскохозяйственном производстве получили распылители с излучателем Гартмана, в которых используются генераторы с соплами и резонирующими полостями различных форм и в различных сочетаниях: кольцевые сопла и цилиндрические резонирующие полости; сопло свободное от стержня и т. п.

Наиболее перспективным является подвод жидкости в зону акустических колебаний в виде пленки. Этот способ позволяет при малых давлениях подачи жидкости создать достаточно тонкую пленку, разрушающуюся при незначительных затратах мощности. С учетом данного способа разработаны об-

<sup>1</sup> ГОСТ 70.6.1-81 Опрыскиватели и опыливатели. Программа и методы испытаний. Краснодар: КубНИИТиМ, 1981. 27 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 106.1-2000 Опрыскиватели и машины для приготовления рабочей жидкости. Методы оценки функциональных показателей. М.: МСХиП РФ, 2000. 52 с.

разцы новой техники, в которых исполнительным органом является ПАРЖ, а также были разработаны: установка автоматического поддержания влажности (УАПВ), опрыскиватель для насаждений земляники (ОНЗ-1/2000) и индивидуальный туманообразователь (ИТО-1) (Ю. А. Утков, А. А. Цымбал, В. В. Бычков, Г. И. Кадыкало, Р. П. Яцков и др.) [7–10].

Установка автоматического поддержания влажности (УАПВ) предназначена для образования в заданном объеме помещения устойчивого облака тумана из распыленной жидкости при укоренении и выращивании посадочного материала плодовых и ягодных культур.

Опрыскиватель для насаждений земляники (ОНЗ-1/2000) обеспечивает равномерное распределение рабочей жидкости на элементы растений, сокращая ее расход и повышая биологическую эффективность обработки (рис. 1) [7, 8].

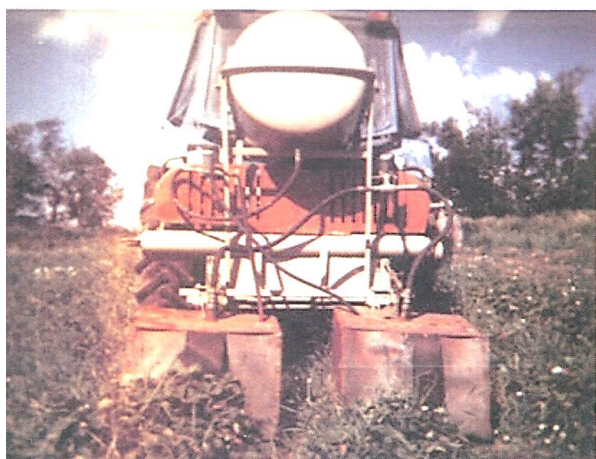


Рисунок 1. Опрыскиватель для насаждений земляники

Figure 1. Sprayer for strawberry plantations

В опрыскивателе дробление жидкости на мельчайшие частицы осуществляют ПАРЖ, расположенные в защитном фартуке, обеспечивая ультрамалообъемное опрыскивание с высокой равномерностью и проникаемостью рабочей жидкости в крону куста земляники. Применение ПАРЖ позволяет не только эффективно и экономично проводить борьбу с болезнями и вредителями земляники, но и упрощает конструкцию самого опрыскивателя, что и определяет перспективность нового технического средства.

Индивидуальный туманообразователь (ИТО-1) предназначен для обработки растворами ядохимикатов плодово-ягодных плантаций с бессистемной посадкой растений, создания устойчивого тумана в теплицах, побелки штамбов и покраски растений (рис. 2) [8].



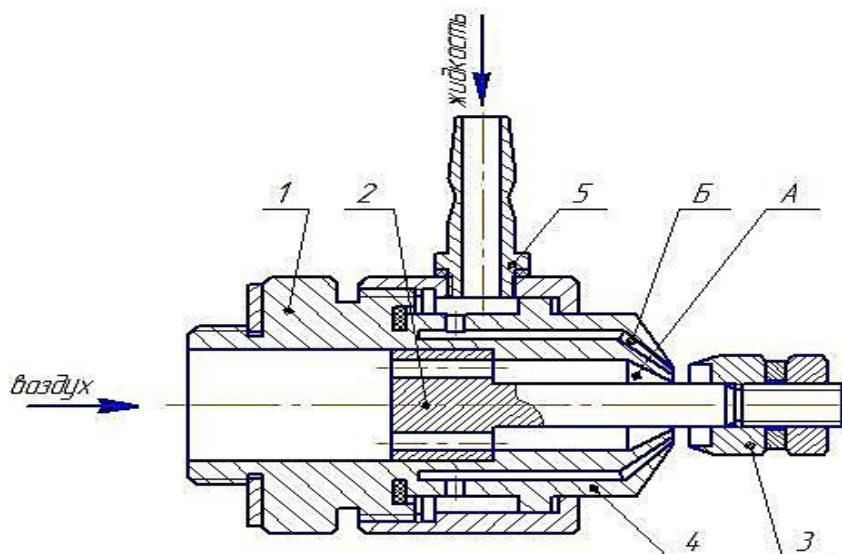
Рисунок 2. Индивидуальный туманообразователь в работе

Figure 2. Individual fogger in operation

В УАПВ, ИТО-1 и ОНЗ-1/2000 дробление жидкости на мельчайшие частицы обеспечивает ПАРЖ, конструктивная схема которого приведена на рисунке 3.

Принцип работы ПАРЖ заключается в следующем: воздух через штуцер 1 и распределитель 2 под давлением поступает через коническое сопло в полость резонатора 3, где создается уплотненное воздушное ядро, которое периодически разрушается и вновь образуется, создавая акустические колебания. Рабочая жидкость, поступающая самотеком через штуцер 5, образует на выходе из конического сопла 4 тонкую пленку, которая под воздействием акустических колебаний распыляется в виде высокодисперсного аэрозоля. Облако аэрозоля, обтекая резонатор 3, направляется на объект обработки [9, 10].

Основным недостатком ПАРЖ конструкции ВСТИСП является высокая дисперсность распада рабочей жидкости и зависимость от воздушного потока окружающей среды, что делает невозможным его применение для обработки низкорослых плодовых насаждений. Для эффективной обработки низкорослых плодовых насаждений ПАРЖ должен обеспечивать средний диаметр капель рабочей жидкости в диапазоне 130–150 мкм.



**Рисунок 3.** Конструктивная схема ПАРЖ:

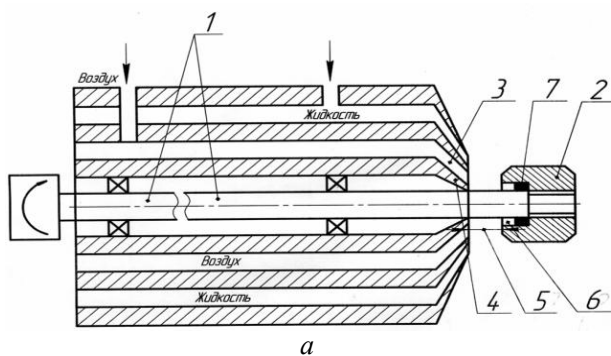
1 – штуцер для подачи воздуха; 2 – распределитель воздуха; 3 – резонатор; 4 – полость; 5 – штуцер для подачи жидкости

**Figure 3.** Structural diagram of a pneumoacoustic fluid sprayer:

1 – fitting for air supply; 2 – air distributor; 3 – resonator; 4 – cavity; 5 – fitting for fluid supply

Для решения данной проблемы предложена новая конструктивно-технологическая схема ПАРЖ с вращающимся резонатором, позволяющим увеличить проникающую способность аэрозоля вглубь объемной кроны, обеспечивая адресное попадание капель на

элементы плодового дерева, сводя потери частиц жидкости к минимуму с более равномерным распределением капель на кроне плодового дерева, повышая тем самым эффективность обработки (рис. 4) [11–15].



**Рисунок 4.** Конструктивно-технологическая схема (a) и опытный образец (b) ПАРЖ конструкции Кабардино-Балкарского ГАУ:

1 – вращающийся стержневой излучатель с автономным приводом; 2 – резонатор; 3 – выходное отверстие; 4 – торец сопла; 5 – объем между резонатором и соплом; 6 – резонирующая полость; 7 – упругий элемент

**Figure 4.** Structural and technological scheme (a) and a prototype (b)

of a pneumoacoustic fluid sprayer by the Kabardino-Balkarian State Agrarian University:

1 – a rotating rod emitter with an autonomous drive; 2 – resonator; 3 – outlet; 4 – nozzle end; 5 – volume between the resonator and the nozzle; 6 – resonating cavity; 7 – elastic element

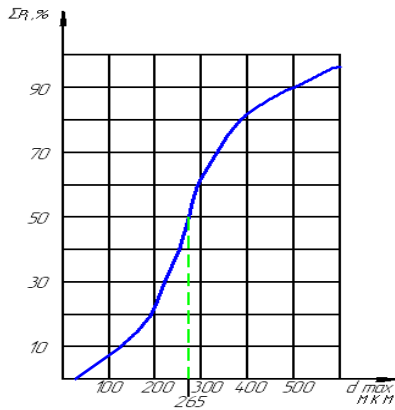
ПАРЖ работает следующим образом. Сжатый воздух по воздушному концентрическому каналу вытекает из выходного отверстия 3 газоструйного излучателя, создавая разрежение

в объеме 5 между резонатором и торцом 4 сопла. Под действием этого разрежения поступающая жидкость заполняет резонирующую полость 6, в которой подаваемый под постоян-

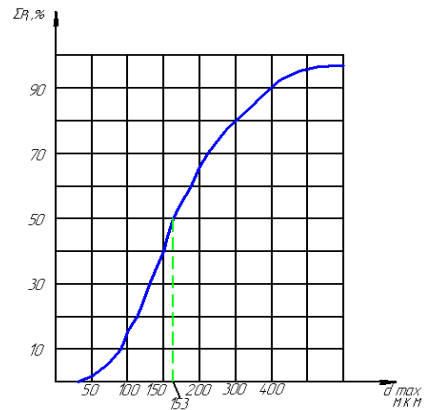
ным давлением воздух создает переменные звуковые колебания, дробит и распыливает жидкость на мелкие капли, образуя высокодисперсный аэрозоль. Упругий элемент 7 увеличивает акустический эффект. Распыленное облако мелких капель жидкости в воздушном

потоке, обтекая вращающийся резонатор, попадает на обрабатываемый объект.

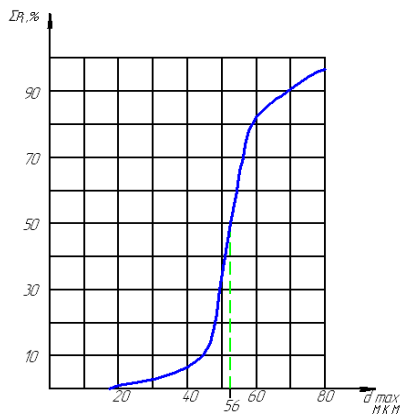
После обработки результатов микроскопирования построены интегральные кривые распределения капель рабочей жидкости (рис. 5) [13–15].



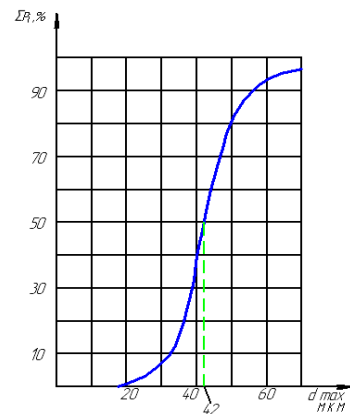
Давление воздуха  $P_v=0,08$  МПа



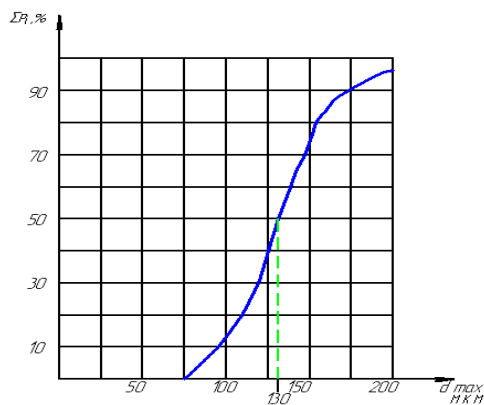
Давление воздуха  $P_v=0,1$  МПа



Давление воздуха  $P_v=0,2$  МПа



Давление воздуха  $P_v=0,25$  МПа



Давление воздуха  $P_v=0,1$  МПа, частота вращения резонатора  $n=613$  об/мин, расстояние между соплом и резонатором  $L=9$  мм

**Рисунок 5.** Интегральные кривые распределения капель рабочей жидкости  
**Figure 5.** Integral curves for the distribution of drops of the working fluid



Геометрические размеры ПАРЖ оказывают существенное влияние на характер распыливания жидкости (дисперсность распада капель, факел распыла), а частота звуковых волн определяется размерами резонатора: глубиной паза, диаметром резонатора, расстоянием между соплом и резонатором [13–15].

Установлено, что средний медианный диаметр капли изменяется в зависимости от давления воздуха и расстояния между резонатором и соплом распылителя. При расходе жидкости равном 0,8 л/мин и расстоянии между соплом и резонатором равным 9 мм медианные диаметры капель изменяются с увеличением давления воздуха. При изменении давления воздуха от 0,1 до 0,25 МПа средние медианные диаметры капли жидкости изменяются от 263 до 42 мкм.

Исследования показали, что угол распыливания жидкости можно регулировать в пределах  $25-160^{\circ}$ , изменяя расстояние между соплом и резонатором. При этом следует учитывать, что близко расположенный резонатор большего диаметра по сравнению с диаметром сопла изменяет направление струи, заставляя ее обтекать сопло. Поэтому отношение диаметра сопла к диаметру резонатора следует принимать равным 1.

Качественные показатели работы ПАРЖ (табл. 1).

**Таблица 1.** Качественные показатели работы пневмоакустического распылителя  
**Table 1.** Qualitative indicators of the pneumoacoustic sprayer

Показатели качества	Значение показателей
Медианно-массовый показатель, мкм	130
Среднеарифметический диаметр, мкм	115
Ширина захвата распылителя, м	1,6
Количество капель размером 100-150 мкм, %	70
Степень покрытия поверхности, %	87,0
Плотность покрытия, шт/см <sup>2</sup>	30-120
Неравномерность покрытия, %	13,0

Наиболее важным показателем, характеризующим качество обработки внутреннего

объема кроны, является густота покрытия капель листовой поверхности. Этот показатель при закручивании факела распыла составляет 42 шт/см<sup>2</sup>, а без закручивания – 15 шт/см<sup>2</sup>. При обработке плодового дерева с двух сторон предлагаемым пневмоакустическим распылителем одновременно этот показатель удваивается (рис. 6) [16-18].



**Рисунок 6.** Пневмоакустический распылитель в работе

**Figure 6.** Pneumoacoustic sprayer in operation

Техническая характеристика ПАРЖ приведена в таблице 2.

**Таблица 2.** Техническая характеристика пневмоакустического распылителя  
**Table 2.** Technical characteristics of the pneumoacoustic sprayer

Наименование параметра	Значение
Расход рабочей жидкости, л/мин	0,3-0,8
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч	4,8
Давление в воздухопроводной сети, МПа	0,1-0,15
Рабочее давление в нагнетательной системе, МПа	0,03-0,08
Число оборотов резонатора, об/мин	500-1000
Привод резонатора	электрический
Масса, кг	0,5

**Выводы.** На основании анализа полученных данных можно заключить, что все качественные показатели работы предлагаемого ПАРЖ соответствуют агротехническим требованиям.

Применение разработанного ПАРЖ в технологическом процессе защиты низкорослых плодовых насаждений позволяет снизить расход рабочей жидкости в 10 раз;

повысить производительность опрыскивателя в 2 раза; получить чистый дисконтированный доход, равный 16415 руб./га.

### Список литературы

1. Хажметов Л. М., Шекихачев Ю. А., Губжоков Х. Л. Анализ факторов, влияющих на параметры пневмоакустического распылителя // В сб.: Научные открытия в эпоху глобализации. Международная научно-практическая конференция. Казань: АЭТЕРНА. 2015. С. 51–53.
2. Фридман В. М. Ультразвуковая химическая аппаратура. Москва: Машиностроение. 1967. 212 с.
3. Бородин В. А., Дитякин Ю. Ф., Клячко Л. А., Ягодкин В. И. Распыливание жидкостей. Москва: Машиностроение, 1967. 263 с.
4. Дунский В. Ф., Никитин Н. В. Механическое распыливание жидкости // В кн.: Аэрозоли в защите растений. Москва, 1982. С. 122–144.
5. Пажи Д. Г., Галустов В. С. Распылители жидкостей. Москва: Химия. 1979. 213 с.
6. Пажи Д. Г., Галустов В. С. Основы техники распыливания жидкостей. Москва: Химия. 1984. 256 с.
7. Машины для механизации работ в садоводстве: каталог техники / Под ред. И. М. Куликова. Москва: ВСТИСП. 2005. С. 55–56.
8. Бычков В. В., Кадыкало Г. И., Успенский И. А. Ресурсосберегающие технологии и технические средства для механизации садоводства // Садоводство и виноградарство. 2009. №6. С. 38–42.
9. Цымбал А. А., Шекихачев Ю. А., Хажметов Л. М., Губжоков Х. Л. Совершенствование опрыскивателей для горного садоводства // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2006. №1. С. 3–5.
10. Цымбал А. А., Шекихачев Ю. А., Хажметов Л. М., Губжоков Х. Л. Оптимизация параметров пневмоакустического распылителя жидкости // Тракторы и сельскохозяйственные машины. Москва, 2007. №11. С. 29–32.
11. Пат. 2263549 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> B05B17/94. Пневмоакустический распылитель жидкости / Л. М. Хажметов, Р. П. Яцков, А. А. Цымбал, Ж. А. Яцкова, Ю. А. Шекихачев [и др.]; заявитель и патентообладатель Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия. № 2003135811/12; заявл. 09.12.03; опубл. 10.11.05, Бюл. № 31.
12. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А., Хажметов Л. М. [и др.]. Инновационные технологические и технические решения повышения плодородия почв в условиях склоновых эродированных черноземных почв Юга России. Нальчик, 2021. 264 с.
13. Smilik V.A., Apazhev A.K., Hazhmetov L.M. Acoustic nebulizer the processing of undersized fruit plantations: parameters and operating modes // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. electronic edition. Vladivostok, 2018. Art. 042078.
14. Шекихачев Ю. А., Хажметов Л. М., Губжоков Х. Л. Новые распылители для ультрамалообъемного опрыскивания плодовых культур // В сб. «Совершенствование технологий и технических средств в АПК»: LXIX научно-практическая конференция. Ставрополь: Агрус, 2005. С. 260–262.
15. Хажметов Л. М., Шекихачев Ю. А., Хажметова А. Л., Мишхожев К. В. и др. Пневмоакустический распылитель для внесения гербицида в приствольные полосы плодовых насаждений // АгроЭко-Инфо. 2022. №2. Ст. 8.
16. Пат. 77133 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> A01M7/00. Туннельный ультрамалообъемный опрыскиватель / Б. Х. Жеруков, Л. М. Хажметов, Ю. А. Шекихачев, А. А. Цымбал [и др.]; заявитель и патентообладатель Кабардино-Балкарская государ. сельскохозяйственная академия. №2008116745/17; заявл. 28.04.08; опубл. 20.09.08, Бюл. № 29.
17. Хажметов Л. М., Шекихачев Ю. А., Губжоков Х. Л. Ультрамалообъемный опрыскиватель с пневмоакустическими распылителями // В сб. «Научные открытия в эпоху глобализации»: Международная научно-практическая конференция. Казань: АЭТЕРНА. 2015. С. 53–55.
18. Шекихачев Ю. А., Бербеков В. Н., Хажметов Л. М., Губжоков Х. Л. Опрыскиватель для ухода за кронами плодовых деревьев // В сб. «Совершенствование технологий и технических средств в АПК»: LXIX научно-практическая конференция. Ставрополь: Агрус, 2005. С. 258–260.



References

1. Khazhmetov L.M., Shekikhachev Yu.A., Gubzhokov Kh.L. Analysis of factors influencing the parameters of a pneumoacoustic atomizer]. *V sb.: Nauchnyye otkrytiya v epokhu globalizatsii. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [In: Scientific discoveries in the era of globalization. International scientific and practical conference]. Kazan: AETERNA. 2015. P. 51–53. (In Russ.)
2. Fridman V.M. *Ul'trazvukovaya khimicheskaya apparatura* [Ultrasonic chemical equipment]. Moscow: Mashinostroyeniye. 1967. 212 p. (In Russ.)
3. Borodin V.A., Dityakin Yu.F., Klyachko L.A., Yagodkin V.I. *Raspylivaniye zhidkostey* [Spraying of liquids]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1967. 263 p. (In Russ.)
4. Dunsky V.F., Nikitin N.V. *Mekhanicheskoye raspylivaniye zhidkosti* [Mechanical spraying of liquids]. *V kn.: Aerozoli v zashchite rasteniy*. Moscow, 1982. Pp. 122–144.
5. Pages D.G., Galustov V.S. *Raspyliteli zhidkosti* [Liquid sprayers]. Moscow: Khimiya. 1979. 213 p. (In Russ.)
6. Pages D.G., Galustov V.S. *Osnovy tekhniki raspylivaniya zhidkostey* [Fundamentals of the technique of spraying liquids]. Moscow: Khimiya. 1984. 256 p. (In Russ.)
7. *Mashiny dlya mekhanizatsii rabot v sadovodstve* [Machines for mechanization of gardening work]: *catalog tekhniki Red. I.M. Kulikova*. Moscow: VSTISP. 2005. Pp. 55–56. (In Russ.)
8. Bychkov V.V., Kadykalo G.I., Uspenskiy I.A. Resource-saving technologies and technical means for the mechanization of horticulture. *Sadovodstvo i vinogradarstvo*. 2009;(6):38–42. (In Russ.)
9. Tsymbal A.A., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M., Gubzhokov H.L. Improvement of sprayers for mountain gardening. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2006;(1):3–5. (In Russ.)
10. Tsymbal A.A., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M., Gubzhokov H.L. Optimization of parameters of pneumoacoustic liquid sprayer. *Tractors and agricultural machinery*. Moscow, 2007;(11):29–32. (In Russ.)
11. Pat. 2263549 Russian Federation, IPC7 B05B17/94. Pneumoacoustic liquid sprayer / L.M. Khazhmetov, R.P. Yatskov, A.A. Tsymbal, Zh.A. Yatskova, Yu.A. Shekikhachev [et al.]; applicant and patent holder Kabardino-Balkarian state. agricultural academy. No. 2003135811/12; application 09.12.03; publ. 10.11.05, Bul. No. 31. (In Russ.)
12. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M. [et al.]. *Innovatsionnyye tekhnologicheskiye i tekhnicheskkiye resheniya povysheniya plodorodiya pochv v usloviyakh sklonovykh erodirovannykh chernozemnykh pochv Yuga Rossii* [Innovative technological and technical solutions to increase soil fertility in the conditions of slope eroded chernozem soils of the South of Russia]. Nal'chik, 2021. 264 p. (In Russ.)
13. Smilik V.A., Apazhev A.K., Hazhmetov L.M. Acoustic nebulizer the processing of undersized fruit plantations: parameters and operating modes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Electronic edition. Vladivostok, 2018. Art. 042078.
14. Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M., Gubzhokov H.L. New sprayers for ultra-low volume spraying of fruit crops. *V sb.: Sovershenstvovaniye tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv v APK. LXIX nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [In the collection: Improvement of technologies and technical means in the agro-industrial complex. LXIX scientific and practical conference]. Stavropol: Agrus, 2005. Pp. 260–262. (In Russ.)
15. Khazhmetov L.M., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetova A.L., Mishkhodev K.V. [et al.]. Pneumoacoustic sprayer for introducing herbicide into the trunk strips of fruit plantations. *Electronic scientific and production journal. AgroEcoInfo*. 2022;(2). Art. 8. (In Russ.)
16. Pat.77133 Russian Federation, MPK7 A01M7/00. Tunnel ultra-low-volume sprayer / B.H. Zherukov, L.M. Khazhmetov, Yu.A. Shekikhachev, A.A. Tsymbal [et al.]; applicant and patent holder Kabardino-Balkarian state. agricultural academy. No. 2008116745/17; application No. 28.04.08; publ. 20.09.08, Bul. No. 29. 2 p. (In Russ.)
17. Khazhmetov L.M., Shekikhachev Yu.A., Gubzhokov H.L. Ultra-low volume sprayer with pneumoacoustic sprayers. *V sb.: Nauchnyye otkrytiya v epokhu globalizatsii. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [In the collection: Scientific discoveries in the era of globalization. International Scientific and Practical Conference]. Kazan: AETERNA. 2015. Pp. 53–55. (In Russ.)
18. Shekikhachev Yu.A., Berbekov V.N., Khazhmetov L.M., Gubzhokov H.L. Sprayer for caring for the crowns of fruit trees. *V sb.: Sovershenstvovaniye tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv v APK. LXIX nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [In the collection: Improvement of technologies and technical means in the agro-industrial complex. LXIX scientific and practical conference]. Stavropol: Agrus, 2005. Pp. 258–260. (In Russ.)

**Сведения об авторах**

**Хажметов Луан Мухажевич** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 6145-0808, Author ID: 728417, Scopus ID: 57205436522

**Хажметова Алина Лиуановна** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры механизации сельского хозяйства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 8402-3461

**Мишхожев Кантемир Владиславович** – аспирант кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова»

**Information about the authors**

**Luan M. Khazhmetov** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 6145-0808, Author ID: 728417, Scopus ID: 57205436522

**Alina L. Khazhmetova** – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Agricultural Mechanization, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 8402-3461

**Kantemir V. Mishkhozhev** – Master's student of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov

---

**Авторский вклад.** Все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данных исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

**Author's contribution.** All the authors were directly involved in the planning, execution and analysis of the research data. All the authors of this article have read and approved the submitted final version.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare that there is no conflict of interest.

---

*Статья поступила в редакцию 21.10.2022;  
одобрена после рецензирования 18.11.2022;  
принята к публикации 25.11.2022.*

*The article was submitted 21.10.2022;  
approved after reviewing 18.11.2022;  
accepted for publication 25.11.2022.*