

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ РАСПЫЛЕНИЕ ДЛЯ САНИТАРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИМИ РАСТВОРАМИ

В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, В.А. Нестеров, П.П. Тертишников, Д.В. Генне

Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Бийск

Аннотация: Работа направлена на решение проблемы распыления дезинфицирующих жидкостей для санитарной обработке людей, помещений, транспортных средств и открытых пространств. Выявлены недостатки используемых в настоящее время способов распыления и показана перспективность решения проблемы применением ультразвукового распыления жидкостей. Представлены созданные специализированные ультразвуковые аппараты, способные обеспечить распыление с необходимой дисперсностью и производительностью дезинфицирующих жидкостей различной вязкости при наличии внесенных наночастиц серебра.

Ключевые слова: вирус, дезинфекция, ультразвук, ультразвуковое распыление, очистка.

ВВЕДЕНИЕ

Вирусы являются серьезной биологической угрозой существованию человечества. Высокая природная (и, возможно, рукотворная) способность к изменению своей структуры делает сложной, а иногда и невозможной своевременную разработку вакцин от вирусов. В этой связи превентивная санитарная обработка различными дезинфицирующими растворами остается на сегодняшний день эффективным средством борьбы с распространением вирусов. Обработка может проводиться как непосредственно человека, его одежды, помещений (в том числе общественных) так и открытых пространств (например, городских улиц).

На сегодняшний день эта задача решается путем распыления дезинфицирующих растворов, как показано на рис.1, при помощи специальных устройств, реализующих различные способы.



а) б)
а – гидравлический способ при помощи «поливальных машин»;
б – пневматический при помощи ручных распылителей.

Рис. 1. Обеззараживание открытых пространств

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для перевода жидкости в капельное состояние используются гидравлический или пневматический способы распыления. При относительной простоте технической реализации указанные способы распыления имеют ряд серьезных недостатков:

– гидравлический способ формирует частицы с огромным спектром размеров – от самых «мелких» (в несколько десятков микрометров) до «крупных», раз-

мером более 1 мм. Основная масса антисептика расходуется на формирование «крупных» капель, которые не способны равномерно покрыть обрабатываемую поверхность. Для обеспечения требуемого эффекта увеличивается расход антисептических средств, которые «заливают» людей и улицы (рис.1);

– пневматический способ распыления характеризуется малой производительностью процесса и созданием большого количества (облака) мелких капель (менее 5 мкм), которые не достигают обрабатываемых поверхностей, витая и высыхая в воздухе.

Кроме того, используемые способы создают условия, при которых кроме испарения при движении к обрабатываемой поверхности, капли могут дробиться при ударе на более мелкие, которые будут отскакивать от поверхности, как показано на следующем рисунке (рис.2)

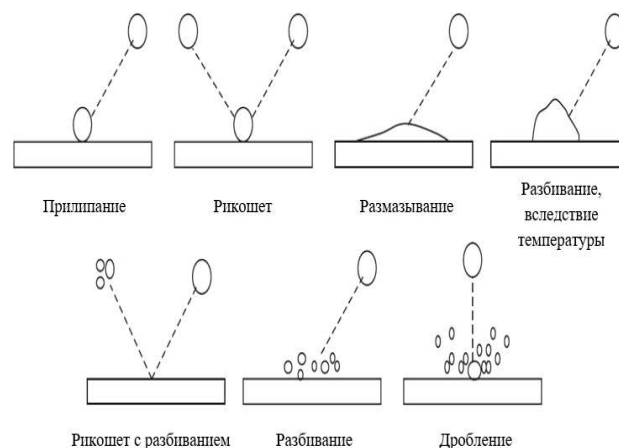


Рис. 2. Взаимодействие капель с поверхностью

Таким образом, реализуемые способы распыления не только малоэффективны, но и не безопасны, поскольку наносят вред одежде и слизистым

оболочкам - полости рта, глаз, носа, а по мнению Главного управления по здравоохранению РФ «Вдыхание большого количества паров алкоголя и других дезинфицирующих веществ может иметь немалые побочные эффекты и для населения».

Невозможность формирования необходимого количества частиц определенного размера с заданной производительностью не позволило до настоящего времени создать общепринятую методологию дезинфекции различных поверхностей, объектов и человека.

Поэтому актуальной является задача разработки и внедрения новых избирательных высокоэффективных способов распыления, способных обеспечить создание частиц аэрозолей оптимального размера и количества для безопасного нанесения покрытий на различные объекты и человека [1].

К таким способам относится ультразвуковое распыление жидкостей. Принцип такого распыления заключается в воздействии ультразвуковыми колебаниями на пленку жидкости, расположенную на колеблющейся поверхности ультразвукового излучателя. На поверхности пленки жидкости возникают капиллярные волны, которые при достижении критической амплитуды (высоты) распадаются на капли (рис.3).



Рис. 3. Схематическое изображение процесса ультразвукового распыления жидкостей

Благодаря указанному механизму ультразвуковое распыление при высокой производительностью процесса обеспечивает формирование практически монодисперсного спектра капель при самых низких, в сравнении с другими, энергзатратах.

При этом, обеспечивается распыление дисперсных сред, с обеспечением равномерного распределения в каплях наночастиц (например, серебра), склонных к самопроизвольной агломерации (рис.4).

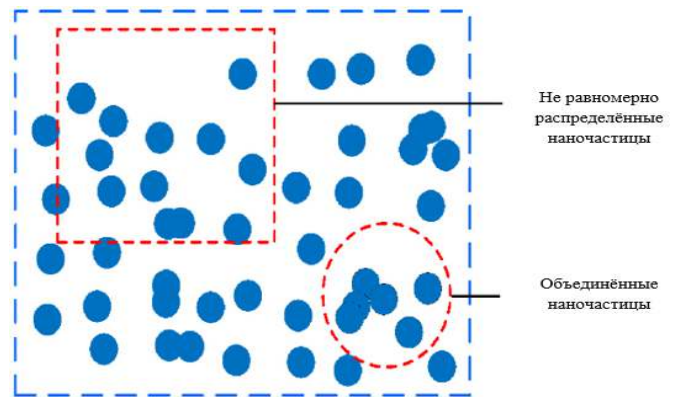


Рис. 4. Схематическое изображения разрушения агломератов наночастиц при ультразвуковом распылении

Технология ультразвукового распыления обеспечивает управление размером формируемых капель за счет изменения частоты ультразвуковых колебаний, в соответствии с зависимостью, представленной на рис.5.

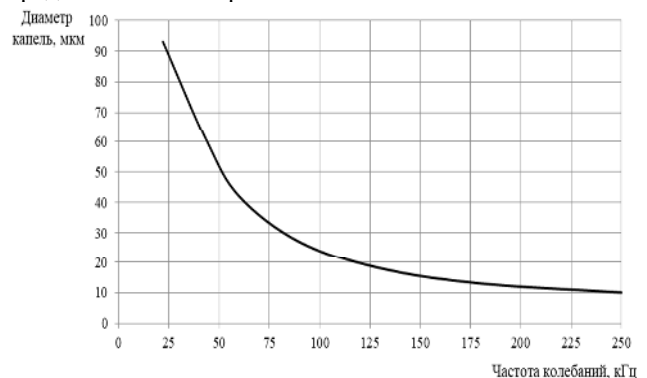


Рис. 5. Зависимость диаметра формируемых капель, от частоты ультразвуковых колебаний

При этом, отклонение диаметров капель от среднего значения минимальное из всех известных способов распыления. На рис.6 показано сравнение дисперсного состава двух способов распыления.

Таким образом, именно способность формировать «узкий» спектр диаметров капель позволяет не допустить образование опасного облака мелких капель (как у пневматического способа распыления) и исключить чрезмерное нанесение антисептика на поверхности за счет «крупных» капель (как у гидравлического способа распыления). Кроме того, формирование капель определенного диаметра за счет изменения частоты ультразвуковых колебаний, позволяет создавать устройства, адаптированные к конкретному объекту дезинфекции, т.е. создавать ультразвуковые распылители, формирующие капли в необходимом количестве, с размерами, оптимальными для каждого практического применения.

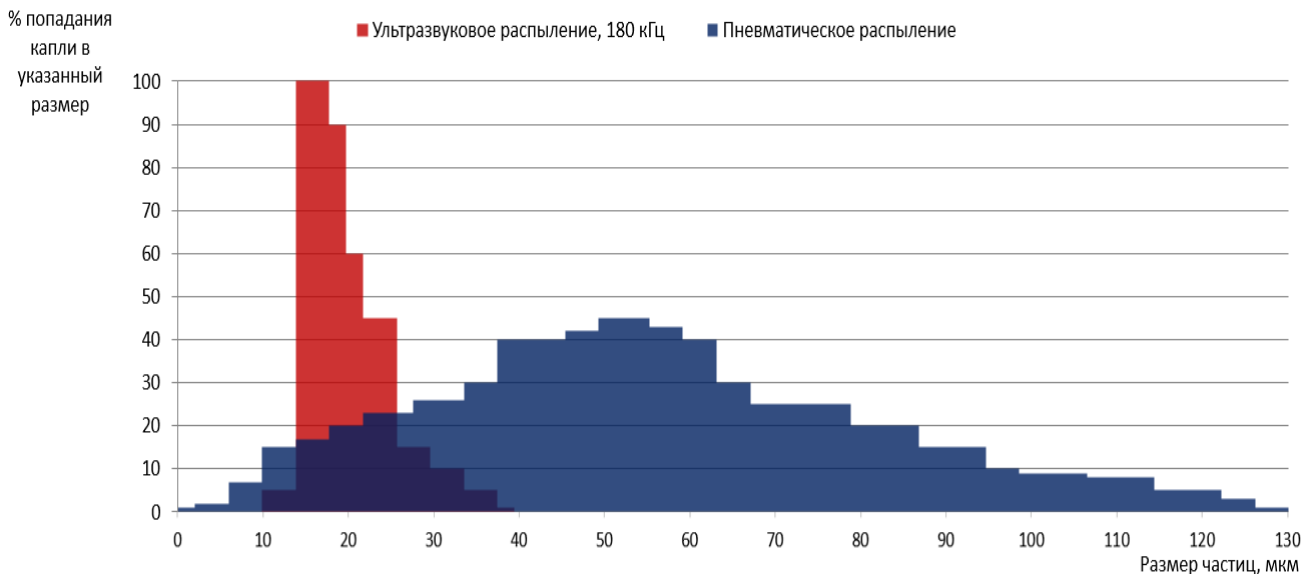


Рис. 6. Сравнение дисперсного состава капель, полученных ультразвуковым и пневматическим распылением

Анализ имеющихся данных по обеспечению дезинфекции различных объектов позволяет условно разделить все направления обработки от вирусов на следующие категории (в зависимости от характерных масштабов, расстояния от распылителя до объекта нанесения антисептика и соответственно необходимого размера формируемых капель жидкости):

- при дезинфекции людей, прибывающих в производственные цеха, офисы, больницы, общественные места (транспорт наземный, подземный и воздушный), рестораны, наиболее эффективным будет распыление дезинфицирующих жидкостей с формированием частиц диаметром 10...35 мкм;

- при дезинфекции помещений, транспортных средств и т.п. – 25...70 мкм;

- при дезинфекции открытых пространств (дорог, зданий, павильонов, мест отдыха и т.п.) – 150...300 мкм;

Соответственно и требования к производительности распыления будут существенно отличаться, т.е. количество создаваемых частиц определенного размера должно быть необходимым и достаточным для равномерного покрытия поверхности в один слой, толщиной, не превышающей размера дезинфицирующих частиц.

Возможности УЗ распыления и достаточно широкий круг задач, связанных с дезинфекцией

различных объектов и в различных условиях, требует создания и применения специализированного оборудования.

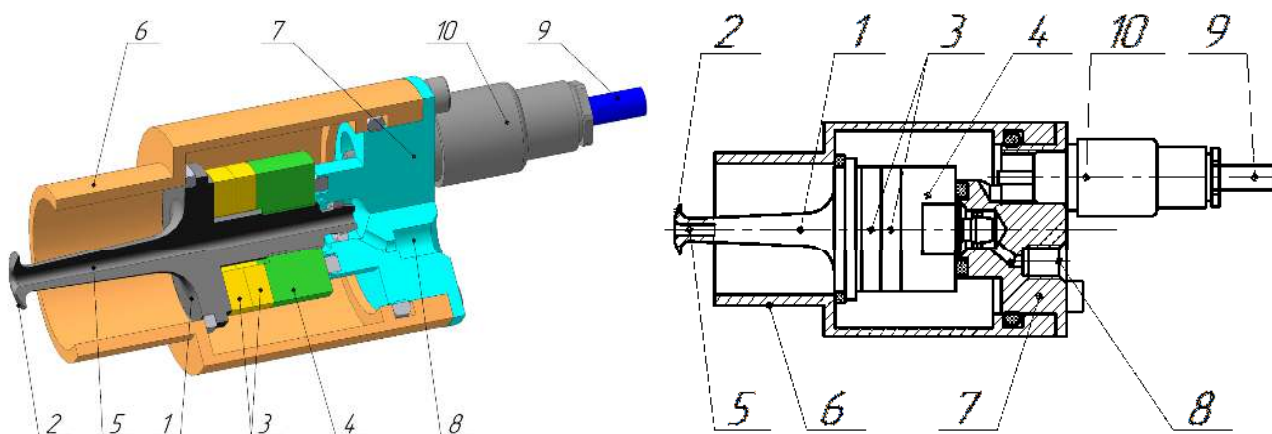
Современные исследования и разработки [2] свидетельствуют о возможности решения задач при помощи созданных распылителей.

Ультразвуковой распылитель состоит из ультразвуковой колебательной системы (ультразвуковой форсунки) и электронного генератора для ее питания. Конструкция колебательной системы представлена на рис. 7.

Форма и размер распылительной поверхности определяет геометрические характеристики факела распыления и может различаться в зависимости от конкретного назначения распылителя.

Место расположения и количество отверстий для вывода жидкостей на распыляющую поверхность определяется из условия обеспечения ее равномерного покрытия слоем распыляемой жидкости [3]. Жидкость, вытекающая из отверстия под действием ультразвуковых колебаний, распределяется по поверхности распыления и занимает площадь, которая зависит от поверхностного натяжения жидкости, угла распылителя и амплитуды ультразвуковых колебаний.

На рис.8 показаны возможные расположения дополнительных каналов.



- а) б)
 1 – излучающая накладка- концентратор;
 2 – Распылительная поверхность;
 3 – пьезокерамические элементы; 4 – отражающая накладка;
 5 – внутренний канал для подачи распыляемой жидкости;
 6 – корпус; 7 – фланец корпуса;
 8 – резьбовое отверстие для подачи жидкости;
 9 – кабель питания ультразвукового распылителя;
 10 – разъем кабеля питания

Рис. 7. а) трехмерная модель конструктивной схемы пьезоэлектрической колебательной системы ультразвукового распылителя, б) структурная схема

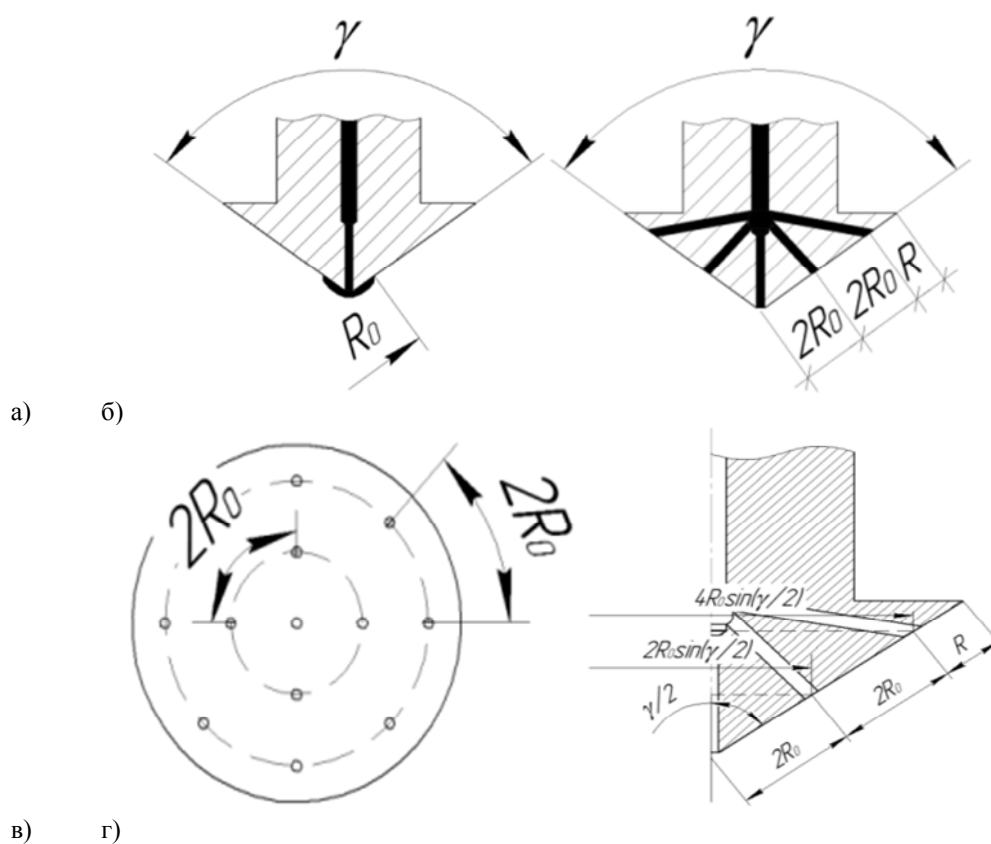


Рис. 8. Распылительная поверхность с дополнительными каналами для подачи жидкости (γ – корневой угол факела)

Поскольку капли жидкости, формируемые ультразвуковым распылителем, имеют малую скорость отрыва от пленки жидкости, то для формирования факела распыления с направлением, отличным от вертикально-направленного вниз необходимо возможно использовать дополнительные воздушные потоки, как показано на рис.9.

Далее, на основе изложенных принципов ультразвукового формирования аэрозоля представлены несколько различных типов распылителей, отличающихся рабочей частотой (размером формируемых капель) и производительностью, которые могут быть положены

в основу создания специализированных устройств дезинфекции различных объектов.

Реализуемый в настоящее время диапазон рабочих частот распылителей составляет от 18 до 130 кГц [4-9]. Увеличение частоты в указанном диапазоне позволяет уменьшать средний размер формируемых частиц от 65 до 18 мкм. Однако, при увеличении частоты распыления от 22 до 130 кГц производительность уменьшается в 100 раз.

При ультразвуковом распылении воздушные потоки предназначены только для транспортировки уже сформированных капель.

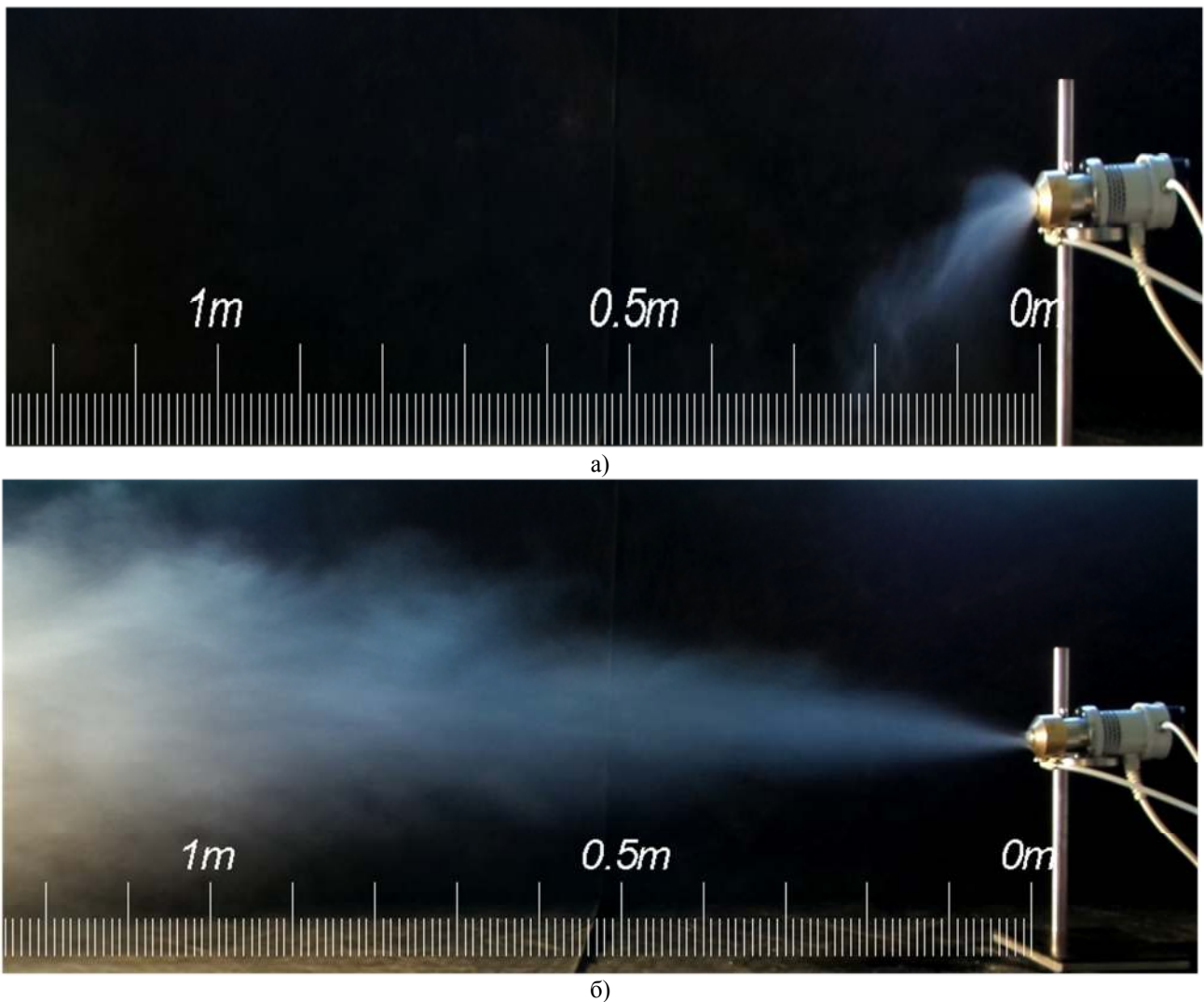


Рис. 9. Распыление жидкости без воздушных потоков (а) и с применением воздушных потоков для формирования факела (б)

Все распылители следует условно разделять на несколько групп.

1. Высокопроизводительные крупнодисперсные распылители с рабочей частотой 22 кГц (рис.10).

Его характеристики будут представлены в табл.1.



Рис. 10. Фото распылителя на частоту 22 кГц

Табл.1. Основные технические характеристики

Мощность, ВА, не более	150
Частота ультразвуковых колебаний, кГц	22±1,65
Амплитуда колебаний рабочего инструмента, мкм	20-30
Время непрерывной работы, ч	4
Габаритные размеры: электронный генератор, мм	300x280x110
колебательная система, мм	Ø100x150
Вязкость распыляемой жидкости, сПз	1-30
Средний размер распыляемых частиц, мкм	65
Производительность (по воде), мл/с, не более	3

Реализация аналогичного распылителя с системой формирования воздушных потоков представлена на следующем рисунке (рис. 11).

При увеличении давления от 0,01 до 0,3МПа можно получить факел протяженностью от 15см до 1...2 м.



Рис. 11. Фото распылителя с системой формирования воздушных потоков

2. Высокопроизводительные распылители средней дисперсности с рабочей частотой 35...60 кГц (рис. 12, 13). Их основные характеристики будут представлены в табл. 2, 3 соответственно.



Рис. 12. Фото распылителя на частоту 35 кГц

Табл. 2. Основные технические характеристики:

Мощность, ВА, не более	100
Частота ультразвуковых колебаний, кГц	35±2,63
Амплитуда колебаний рабочего инструмента, мкм	20-30
Время непрерывной работы, ч	4
Габаритные размеры: электронный генератор, мм	300x300x130
колебательная система, мм	Ø70x70
Вязкость распыляемой жидкости, сПз	1-4
Средний размер распыляемых частиц, мкм	52
Производительность (по воде), мл/с, не более	2,5



Рис. 13. Фото распылителя на частоту 35 кГц для формирования плоского факела распыления

Табл. 3. Основные технические характеристики:

Мощность, ВА, не более	150
Частота ультразвуковых колебаний, кГц	35±2,63
Амплитуда колебаний рабочего инструмента, мкм	35
Время непрерывной работы, ч	8
Габаритные размеры: электронный генератор, мм	300x300x130
колебательная система, мм	Ø100x250
Вязкость распыляемой жидкости, сПз	до 5
Средний размер распыляемых частиц, мкм	55
Производительность (по воде), мл/с, не более	5

3. Высокопроизводительные тонкодисперсные распылители с рабочей частотой более 60 кГц (рис.14). Технические характеристики представлены в табл. 4.



Рис. 14. Фото УЗ распылителя на частоту 130 кГц.

Табл. 4. Основные технические характеристики:

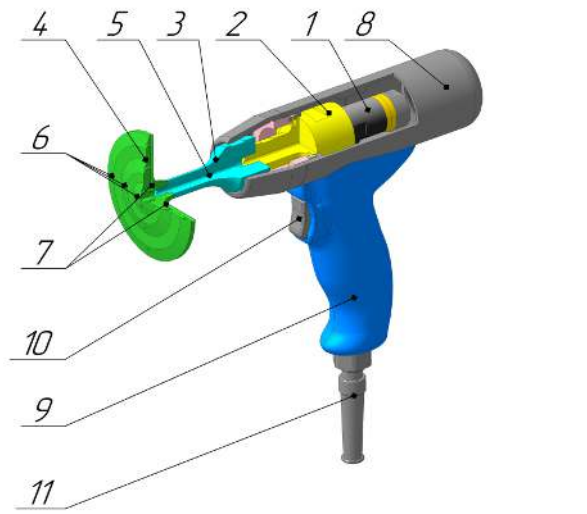
Мощность, ВА, не более	100
Частота ультразвуковых колебаний, кГц	130±9,75
Габаритные размеры: электронный генератор, мм	300x300x80
колебательная система, мм	100x65x45
Вязкость распыляемой жидкости, сПз	0,5-2
Средний диаметр капель, мкм, не более	18
Производительность (по воде), мл/мин, не более	2

Для практической реализации процесса дезинфекции, на основе разработанных ультразвуковых распылителей, могут быть использованы различные по конструкции устройства, как для ручного распыления, так и для использования в мобильных передвижных устройствах.

Далее представлены две конструкции ручных распылителей с различной производительностью для формирования частиц различных размеров. На рис. 15 представлено устройство для формирования аэрозоля со средним размером частиц менее 50 мкм и производительностью не более 2 мл в секунду для обработки одежды людей, транспортных средств и небольших помещений.

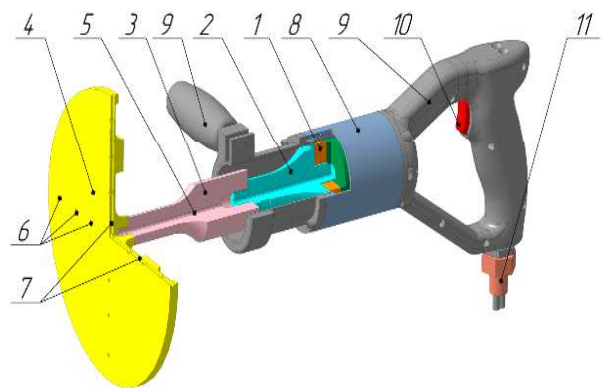
На рис.16 представлено устройство для формирования аэрозоля со средним размером частиц менее 70 мкм и производительностью более 60 мл в секунду, предназначенное для обработки общественного транспорта, метро и помещений.

В представленных устройствах распыляемая жидкость находится в емкости-рюкзаке, который расположен за спиной оператора. На емкости с жидкостью установлена система подачи жидкости (насос и клапан). Также на емкости-рюкзаке установлен электронный генератор для питания ультразвукового распылителя. Электронный генератор питается от высокотоковых литий-ионных аккумуляторов.



- 1 – пьезоэлектрический преобразователь; 2 – бустерное звено;
- 3 – концентратор;
- 4 – изгибно-колеблющийся распылительный инструмент;
- 5 – внутренний канал для распыляемой жидкости;
- 6, 7 – внутренние каналы распылительного инструмента;
- 8 – корпус распылителя; 9 – рукоятка;
- 10 – курок для запуска распылителя;
- 11 – вывод кабеля питания совмещенной с трубкой подачи распыляемой жидкости

Рис. 15. Устройство для формирования аэрозоля со средним размером частиц менее 50 мкм и производительностью не более 2 мл в секунду



- 1 – пьезоэлектрический преобразователь;
- 2 – излучающая накладка пьезопреобразователя;
- 3 – концентратор;
- 4 – изгибно-колеблющийся распылительный инструмент дискового типа; 5 – внутренний канал для распыляемой жидкости;
- 6, 7 – внутренние каналы распылительного инструмента;
- 8 – корпус распылителя; 9 – рукоятка;
- 10 – курок для запуска распылителя;
- 11 – вывод кабеля питания совмещенной с трубкой подачи распыляемой жидкости

Рис. 16. Устройство для формирования аэрозоля со средним размером частиц менее 70 мкм и производительностью не более 60 мл в секунду

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные результаты многолетних разработок и исследований позволяют предложить высокоэффективное решение проблемы распыления дезинфицирующих жидкостей для санитарной обработки людей, помещений, транспортных средств и открытых пространств за счет применения ультразвукового распыления жидкостей.

Созданные специализированные ультразвуковые аппараты способны обеспечить распыление с необходимой дисперсностью и производительностью дезинфицирующих жидкостей различной вязкости при наличии внесенных наночастиц серебра.

Использование преимуществ ультразвукового распыления, создание и применение на практике, основанных на этом принципе устройств, обеспечит надежную защиту людей, транспорта и помещений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 19-19-00121.

Хмелев Владимир Николаевич – д.т.н., заместитель директора по научной работе, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3854)432581, e-mail: vnh@bti.secna.ru.

Шалунов Андрей Викторович – д.т.н., профессор, заведующий каф. МСИА, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. (3854)432571, e-mail: shalunov@bti.secna.ru.

Нестеров Виктор Александрович - доцент кафедры МСИА БТИ АлтГТУ, к.т.н., Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова», тел (3854) 432570 e-mail: nva@bti.secna.ru.

Тертишников Павел Павлович - студент группы ПС-81, кафедра МСИА Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО "Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», тел.: +79237558922, e-mail: tertishnikov.pp@bti.secna.ru

Генне Дмитрий Владимирович – инженер-электроник кафедры «Методы и средства измерений и автоматизации», Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ, тел. (3854) 432579, e-mail: gdv@bti.secna.ru

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хмелев, В.Н. Ультразвук. Распыление жидкостей: монография / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, А.В. Шалунова; Бийск: Региональное отделение Алтайского края Общероссийской общественной организации писателей «Общероссийское литературное сообщество», 2017. – 272 с.
2. Сайт ООО «Центр ультразвуковых технологий» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://u-sonic.com>, свободный.
3. Ультразвуковой распылитель [Текст]: патент RU на ИЗ 2 481 160: МПК В05В 17/06(2006.01) / Хмелёв В.Н., Шалунов А.В., Генне Д.В., Шалунова А.В., Гольх Р.Н., патентообладатель: Общество с ограниченной ответственностью "Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ" (RU), заявка: 2011146974/05 от 18.11. 2011. Опубликовано: 10.05.2013
4. Ультразвуковая колебательная система для распыления жидкостей: пат. 2446894 Рос. Федерация: МПК (2006.01) В05В17/06 Хмелев В.Н., Хмелев С.С., Хмелев М.В., Шалунов А.В., Генне Д.В., Цыганок С.Н., Барсуков Р.В. (Россия) патентообладатель: ООО «Центр ультразвуковых технологий» (Россия) заявка: 2010137457/05 от 08.09.2010. Опубликовано: 10.04.2012.
5. Хмелев, В. Н. Ультразвуковой распылитель вязких жидкостей [Текст] / В. Н. Хмелев, А. В. Шалунов. // Современные проблемы радиоэлектроники: сборник научных трудов: сборник научных трудов / Под ред. А.И. Громыко, А.В. Сарафанова. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. – С. 426-429.
6. Экнадиосянц, О. К. О распылении жидкости низкочастотными ультразвуковыми колебаниями [Текст] / О. К. Экнадиосянц // Акустический журнал. – 1966. – Т. 12, – № 1. – С. 127-132.
7. Экнадиосянц, О. К. О физическом механизме распыления жидкости акустическими колебаниями [Текст] / О. К. Экнадиосянц, Ю. Я. Бо-гуславский // Акустический журнал. – 1969. – Т. 15, № 1. – С. 17-32.
8. Хмелев, В.Н. Выявление оптимальных режимов и условий ультразвукового воздействия для распыления вязких жидкостей [Электронный ресурс] / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, Р.Н. Гольх, А.В. Шалунова // Техническая акустика. – 2011. – № 10. – Режим доступа: <http://www.ejta.org/ru/khmelev9>.
9. Хмелев, В.Н. Разработка и исследование высокочастотного ультразвукового распылителя жидкости / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, А.В. Шалунова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – № 4. – С. 212–215.

ULTRASONIC SPRAYING FOR SANITIZING SOLUTIONS

V.N. Khmelev, A.V. Shalunov, V.A. Nesterov, P.P. Tertishnikov, D.V. Genne

Biysk Technological Institute, Biysk

Abstract – The work is aimed at solving the problems of spraying disinfectant liquids for the sanitization of people, premises, vehicles and open spaces. Currently, there are ways to solve the problems associated with ultrasonic atomization of liquids. The presented specialized ultrasound devices provide the ability to spray and use disinfectant fluids depending on the presence of silver nanoparticles.

Index terms: virus, disinfection, ultrasound, ultrasonic spraying, cleaning.

REFERENCES

1. Khmelev, V. N. Ultrasound. Atomization of liquids: monograph / V. N. Khmelev, A.V. Shalunov, A.V. Shalunova; Biysk: Regional branch of the Altai territory of the all-Russian public organization of writers "all-Russian literary community", 2017. - 272 p.
2. Site of LLC "center of ultrasonic technologies" [Electronic resource]. - Access mode: <https://u-sonic.com>, free.
3. Ultrasonic sprayer [Text]: ru patent FOR 2 481 160: IPC B05B 17/06(2006.01) / Khmelev V. N., Shalu-Nov A.V., Genne D. V., Shalunova A.V., Golykh R.N., patent holder: limited liability Company "center of ultrasonic technologies AltSTU" (RU), application: 2011146974/05 of 18.11.2011. Published: 10.05.2013
4. Ultrasonic vibrating system for liquid spraying: Pat. 2446894 ROS. Federation: IPC (2006.01) B05B17 / 06 Khmelev V. N., Khmelev S. S., Khmelev M. V., Shalunov A.V., Genne D. V., Tsyganok S. N., Barsukov R. V. (Russia) patent holder: Center for ultrasonic technologies LLC (Russia) application: 2010137457/05 of 08.09.2010. Published: 10.04.2012.
5. Khmelev, V. N. Ultrasonic sprayer of viscous liquids [Text] / V. N. Khmelev, A.V. Shalunov. // Modern problems of Radioelectronics: collection of scientific papers: collection of scientific papers / Edited by A. I. Gromyko, A.V. Sarafanov. - Krasnoyarsk: CPI KSTU, 2005. - P. 426-429.
6. Eknadiosyants, O. K. on the atomization of liquid by low-frequency ultrasonic vibrations [Text] / O. K. Eknadiosyants // Acoustic journal, 1966, Vol. 12, no. 1, pp. 127-132.
7. Eknadiosyants, O. K. on the physical mechanism of liquid dispersion by acoustic vibrations [Text] / O. K. Eknadiosyants, Yu. Ya. Boguslavsky // Acoustic journal-1969. - Vol. 15, No. 1. - Pp. 17-32.
8. Khmelev, V. N. Identification of optimal modes and conditions of ultrasonic action for spraying viscous liquids [Electronic resource] / V. N. Khmelev, A.V. Shalunov, R.N. Golykh, A.V. Shalunova // Technical acoustics. - 2011. - no. 10. - access Mode: <http://www.ejta.org/ru/khmelev9>.
9. Khmelev, V. N. Development and research of a high-frequency ultrasonic liquid sprayer / V. N. Khmelev, A.V. Shalunov, A.V. Shalunova // Scientific and technical Bulletin of the Volga region, 2011, no. 4, Pp. 212-215.

Vladimir Nikolayevich Khmelev - Doctor of Technical Sciences, Deputy Director for Research, Biysk Technological Institute (Branch) ASTU named after I.I. Polzunova, tel. (3854) 432581 e-mail: vnh@bti.secna.ru.

Shalunov Andrey Viktorovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department. MSIA, Biysk Technological Institute (branch) of ASTU named after I.I. Polzunova, tel. (3854) 432571, e-mail: shalunov@bti.secna.ru.

Nesterov Victor Alexandrovich - associate Professor of the Department MSIA BTI AltSTU, Ph. D., Biysk Institute of technology (branch) fgbou VO "Altai state technical University. I. I. Polzunova", tel (3854) 432570 e-mail: nva@bti.secna.ru.

Tertishnikov Pavel Pavlovich-student of PS-81 group, Department of MSIA of Biysk technological Institute (branch) of Altai state technical University. I. I. Polzunova", tel.: +79237558922, e-mail: tertishnikov.pp@bti.secna.ru

Genne Dmitry Vladimirovich - Electronic Engineer of the Department "Methods and Means of Measurement and Automation", Biysk Technological Institute (branch) of FSBEI HE AltGTU, tel. (3854) 432579, e-mail: gdv@bti.secna.ru