

**Львович Игорь Яковлевич** – Воронежский институт высоких технологий; e-mail: office@vivt.ru; 394043, г. Воронеж, ул. Ленина, 73а; тел.: +74732020420; ректор; д.т.н.; профессор.

**Преображенский Андрей Петрович** – e-mail: komkovvivt@yandex.ru; д.т.н.; профессор.

**Чопоров Олег Николаевич** – e-mail: choporov\_oleg@mail.ru; 394026, г. Воронеж, Московский проспект, 14; тел.: +74732523420; д.т.н.; профессор.

**Lvovich Igor Yakovlevich** – Voronezh Institute of high technologies; e-mail: office@vivt.ru; 394043, Voronezh, Lenina str., 73a; phone: +74732020420; rector; dr. of eng. sc.; professor.

**Preobrazhenskiy Andrey Petrovich** – e-mail: komkovvivt@yandex.ru; dr. of eng. sc.; professor.

**Choporov Oleg Nikolaevich** – e-mail: choporov\_oleg@mail.ru; 394026, Voronezh, Moskovsky prospect, 14; phone: +74732523420; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 542.6.063

DOI 10.23683/2311-3103-2018-3-93-101

**Е.С. Алексюнин**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ УСТРОЙСТВ РАСПЫЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ**

*Статья содержит материалы исследований ультразвуковых способов распыления жидких сред в слое и в фонтане. В обоих этих случаях образование капель аэрозоля происходит в результате их отрыва от гребней стоячих капиллярных волн на поверхности жидкости. С точки зрения ультразвуковых устройств указанные способы имеют ряд существенных различий. При распылении в слое стоячие капиллярные волны образуются на поверхности слоя жидкости, покрывающей пластину, колеблющуюся перпендикулярно своей поверхности. А фонтанирование и распыление происходит напротив центра вогнутой пластины за счёт эффекта самофокусировки в кавитирующей жидкости. Для обоих способов представлены конструкции устройств генерирующих аэрозоль. Для каждого из описанных устройств проведён анализ самых удачных вариантов моделирования и их реализации в «железе». А именно рассмотрен излучатель на основе комбинация стержневого преобразователя–концентратора с резонирующей на третьей моде осесимметричных колебаний дисковой пластиной и описаны результаты его исследования. На основе полученных данных предложена конструкция изгибного осесимметричного преобразователя–концентратора с значительно большей активной зоной. Предложен и опробован способ оптимизации осесимметричного преобразователя–концентратора. Приведено описание выявленных недостатков полученной конструкции и описан способ применённый для их устранения. В частности рассмотрен принцип создания эквивалентных схем для проектирования подобных устройств. Описаны результаты сравнения идеальной модели ультразвукового излучателя, построенной в системе конечно элементного моделирования, и конечного изделия построенного на её основе. В статье предложена схема компоновки распылительного узла на основе осесимметричного преобразователя–концентратора и колебательного контура, составленного из ёмкости преобразователя, внешней катушки индуктивности включённой последовательно с источником переменного напряжения и преобразователем, в качестве источника тока. Описанные в статье результаты будут полезны при проектировании различных медицинских систем и широкого спектра технических конструкций.*

*Распыление; ультразвук; жидкая среда; слой жидкости; аэрозоль.*

E.S. Aleksyunin

## RESEARCH AND DEVELOPMENT OF ADVANCED LIQUID SPRAYING DEVICES FOR DIFFERENT APPLICATIONS

*The article contains materials on methods of ultrasonic spraying of liquid media in layer and fountain. In both cases aerosol droplet formed as a result of separation from breakpoints of standing capillary waves on the liquid surface. Both cases has several significant differences when we talking about ultrasound devices. When we talk about spraying in layer we need to know that standing waves are created on the liquid surface which covers plate which oscillating perpendicular to its surface. In other hand fountain is created in center of concave plate as a result of self-focussing in cavitating liquid. You will find device design description for both cases. The article describes results of analysis for best solutions for devices. Such as emitter based on a combination of a core converter-concentrator with a disk plate resonating on the third mode of axisymmetric oscillations. Also author provides the results of research for this emitter. Basing on the results the author offers design of a bend axisymmetric converter-concentrator with significant greater active zone. Also you will find description for axisymmetric converter-concentrator way optimization. Strengths and limitations of devices were analyzed and described. In particular, principle of creating the equivalent circuit diagram for the design of such devices was described. The article compares ultrasound devices with various designs but based on piezoelements and describes the results of comparing between FEM models and real devices. This article would be interested for engineers who creates medical devices and wide range of technical systems.*

*Pulverization; ultrasonic; liquid environment; liquid layer; aerosol.*

**Введение.** В настоящее время актуальным является разработка различных способов генерации мелкодисперсного аэрозоля для различных применений. Восребованность данной технологии может проявляться в медицинских целях, а также, в различных технологических процессах.

В ряде литературных источников описываются два способа распыления жидкости: в слое и в фонтане [1, 2].

В обоих этих случаях образование капель аэрозоля происходит в результате их отрыва от гребней стоячих капиллярных волн конечной амплитуды на поверхности жидкости. Диаметр капель аэрозоля равен

$$d \approx 0,3 \lambda_k,$$

где  $\lambda_k = \sqrt[3]{\frac{8\pi\sigma}{\rho f^2}}$  – длина капиллярной волны;  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения;  $\rho$  – плотность жидкости;  $f$  – частота звука.

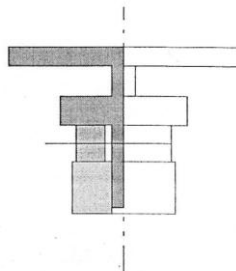
При распылении в слое стоячие капиллярные волны частоты  $0,5 f$  образуются на поверхности слоя жидкости, покрывающей пластину, колеблющуюся перпендикулярно своей поверхности с частотой  $f$ . С увеличением амплитуды колебаний пластинки амплитуда возбуждаемых волн монотонно нарастает, достигая через некоторое время предельной величины, после чего волновое движение, возбуждаемое колебаниями, становится периодическим и устойчивым. При этом, в отличие от линейного случая малых амплитуд, гребни стоячих волн теряют свою синусоидальную форму и становятся похожими на сравнительно узкие язычки, напоминающие капли. С дальнейшим увеличением амплитуды происходит отделение капель жидкости от гребней таких волн. Обычно при распылении в слое используются колебания с частотой десятков килогерц, и диаметр капель составляет десятки микрон.

Производительность достигает несколько литров и даже десятков литров в час. В качестве распылительных устройств используются пьезоэлектрические или магнитострикционные резонансные преобразователи стержневого типа с концен-

траторами, имеющими канал по оси для ввода жидкости. Вход жидкости в канал располагается в узловой плоскости, а распыление осуществляется с фланца у тонкой части концентратора. При росте рабочей частоты уменьшаются резонансные габариты преобразователя и концентратора, уменьшается размер активной зоны и резко падает производительность.

При распылении в фонтане обычно используются частоты порядка нескольких МГц, а в качестве распылителей обычно используются фокусирующие излучатели в виде вогнутых пьезокерамических пластин. При мощности порядка 150 Вт для воды удаётся достигать производительности порядка нескольких сотен миллилитров в час [1] при характерном размере частиц аэрозоля 2–4 мкм. Возможно использование цилиндрических концентраторов имеющих меньший коэффициент усиления, но значительно больший размер фокального пятна. Известно применение плоских пластин для подобных целей, при этом фонтанирование и распыление происходит напротив центра пластины за счёт эффекта самофокусировки в кавитирующей жидкости. Известен также способ распыления жидкости в зазоре [3]. По производительности этот способ показывал результаты схожие со способом распыления в слое, но не найдены способы его практического использования.

**Основная часть.** В результате ряда исследований интересный результат представила из себя комбинация стержневого преобразователя-концентратора с резонирующей на третьей моде осесимметричных колебаний дисковой пластиной (рис. 1) из дюралюминия. Рабочая частота при этом составляла 80 кГц. Однако эффективное распыление наблюдалось лишь в центре изгибного диска. При нагревании в процессе распыления произошел уход собственной частоты колебательной системы, и получить устойчивую картину распыления не удалось.



*Рис. 1. Модель стержневого преобразователя-концентратора в резонирующей на третьей моде колебаний дисковой пластиной*

Тем не менее, был выявлен основной недостаток обычно используемых стержневых преобразователей-концентраторов в комбинации с дисковыми фланцами – малая площадь эффективной зоны распыления и малый объём пьезокерамики при применении высоких частот (порядка 100 кГц).

Второй выявленный недостаток заключался в практически непредсказуемом разрушении преобразователей при попытке реализации распыляющих устройств, при нестабильной подаче жидкости, пропадании эффекта из-за перелива, недолива, нестабильности генератора и излучателя.

В целом эксперименты привели к ряду выводов, которые повлияли на дальнейшие исследования. Во-первых, работы по распылению в слое на низких частотах можно считать малоперспективными ввиду крупности генерируемого аэрозоля, и, соответственно, невозможности выполнения ряда технических задач в области распыления. Во-вторых, оптимизация различных комбинаций стержневых преобразователей-концентраторов малоперспективна по причине принципиально малых габаритов керамики и зон активного распыления на высоких частотах.

Поэтому дальнейшие эксперименты были сосредоточены на разработке высокочастотных (порядка 100 кГц и выше) преобразователей-концентраторов с крупногабаритными пьезоэлементами и активной зоной распыления с большой амплитудой колебательной скорости. Руководствуясь такими задачами был рассчитан и изготовлен макет изгибного осесимметричного преобразователя-концентратора (рис. 2) с габаритами  $\varnothing 20$  мм х 73 мм. Размеры пьезоэлемента при этом составляли  $\varnothing 20$  мм х 3 мм.

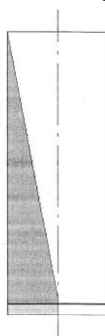


Рис. 2. Макет изгибного осесимметричного преобразователя-концентратора

Результаты расчёта резонансных частот достаточно точно совпали с экспериментом и дали возможность наблюдать анимационную картину распределения колебаний, что позволило выбрать места оптимального закрепления и эффективные моды колебаний. Для сравнения экспериментальных данных с данными полученными в результате построения математической модели устройства использовался комплекс программ [16–22] это позволило увеличить точность измерений. При частоте первой изгибной гармоники 71 кГц протяжённость зоны активного распыления (острая наружная кольцевая кромка) получилась более 60 мм. Излучатель продемонстрировал примерно такие же объёмы распыления аэрозоля, как и преобразователь, изображённый на рис. 1 при существенно большей величине активной зоны и габаритах пьезоэлемента. Расчётным путём была выявлена возможность эффективно использовать этот же излучатель на частоте 150 кГц, что и было подтверждено экспериментально. При испытаниях были обнаружены некоторые недостатки преобразователя – низкая надёжность, поскольку при силовых испытаниях отсоединялась пьезокерамика, а также, сложность подвода жидкости и выноса аэрозоля из внутренней полости концентратора. В итоге был изготовлен преобразователь (рис. 3) с цилиндрическим пьезоэлементом, который с натягом вклеивается в концентратор.

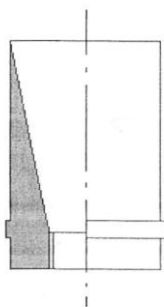


Рис. 3. Преобразователь с цилиндрическим пьезоэлементом вклеиваемым в концентратор

Расчёты методом конечных элементов [4–7] при том же наружном диаметре концентратора 20 мм. и длине 33 мм. показали возможность его использования на ряде резонансных частот вплоть до 180 кГц. На рис. 4 приведены расчётные частотные характеристики модуля полной проводимости (кривая 1) и составляющие радиальная и аксиальная смещений (кривые 2 и 3 соответственно).

Эти расчёты подтверждаются теоретическими исследованиями [8–12], которые проводились ранее.

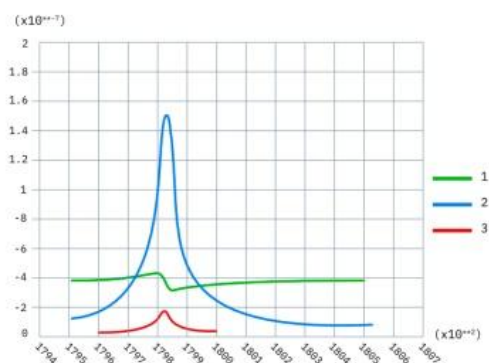


Рис. 4. Частотные характеристики концентратора

На рис. 5 приведено рассчитанное распределение максимальных смещений в разрезе излучателя. Видно как резко возрастает амплитуда колебаний в зоне распыления. В такой конструкции излучателя удобно подводить распыляемую жидкость, как к внешней, так и к внутренней поверхности конуса.

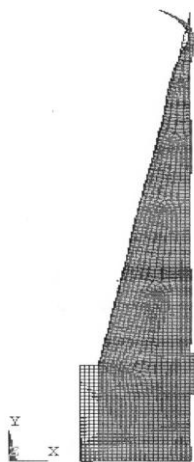


Рис. 5. Распределение смещений в зоне распыления

При проектировании устройств распыления возникла задача защиты преобразователя от разрушения, особенно при испытании в силовых режимах новых конструкций, когда их предельные возможности ещё неизвестны. В районе резонанса с электрической стороны излучатель можно представить в виде классической эквивалентной схемы (рис. 6).

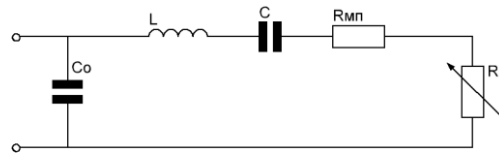


Рис. 6. Эквивалентная схема излучателя

В представленной эквивалентной схеме  $C_0$  – ёмкость заторможенного преобразователя,  $L$  и  $C$  – индуктивность и ёмкость динамической ветви (эквиваленты массы и гибкости),  $R_{мп}$  и  $R_s$  – сопротивления механических потерь и излучения (нагрузки). При отсутствии нагрузки (в данном случае воды)  $R_s = 0$  и на резонансной частоте, при питании от генератора напряжения, ток потребляемый преобразователем и рассеиваемая на нём мощность будут максимальными. При поступлении на излучатель воды  $R_s$  увеличивается, а ток и мощность падают. Подобное явление характерно для всех излучателей и особенно распылителей, когда из-за порогового эффекта распыления «сбрасывание» воды при росте напряжения происходит скачком. Очевидно, что для качественного распылителя в нём необходимо стабилизировать ток, а, следовательно, и колебательную скорость на необходимом уровне. При этом будет обеспечено постоянство тепловых потерь на преобразователе при сохранении высокого КПД распыления в широком интервале изменения нагрузок.

Генератор с требуемыми характеристиками можно построить, например, на основе источника напряжения управляемого схемой обратной связи по току динамической ветви преобразователя, либо по колебательной скорости его поверхности. Ток динамической ветви можно выделить с помощью мостовой схемы и управлять выходным напряжением генератора, используя широтно-импульсную модуляцию, либо схему управления напряжением питания выходного каскада генератора. Возможно организовать управление током динамической ветви за счёт изменения рабочей частоты генератора, используя резонансные свойства излучателя.

Однако описанные методы предполагают использование достаточно сложной схемотехники генератора и неизбежно приводят к получению инерционной настройки, не всегда способной отследить быстрые изменения нагрузки.

**Заключение.** Основываясь на данных полученных в результате исследования конструкций описанных выше. Предлагается использовать в качестве источника тока колебательный контур, составленный из ёмкости преобразователя  $C_t = C_0 + C$  и внешней катушки индуктивности величиной  $L = 1/\omega_0^2 C_t$  (здесь  $\omega_0$  – круговая частота резонанса,  $\omega_0^2 = 1/LC_t$ ), включённой последовательно с источником переменного напряжения и преобразователем. Очевидно, что при настройке генератора на резонансную частоту излучателя такой контур обеспечивает в его динамической ветви ток прямо пропорциональный напряжению генератора и независимый от сопротивления нагрузки. В такой схеме стабилизации тока самым инерционным звеном является излучатель.

Общая схема распылительного узла приведена на рис. 7. Излучатель закреплён по центру трубчатого корпуса ажурными шайбами, позволяющими пропускать снаружи и внутри излучателя поток воздуха, создаваемый центробежным вентилятором. Воздушный поток быстро выносит аэрозоль из зоны интенсивного ультразвука, не допуская коагуляции капель и охлаждает преобразователь, позволяя увеличивать рассеиваемую на нём мощность [13–15].

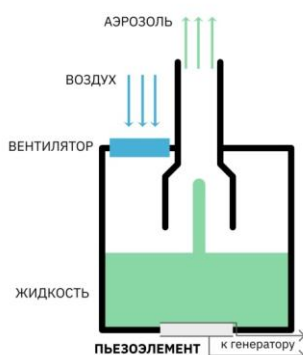


Рис. 7. Общая схема распылительного узла

Внешняя часть излучателя с активной зоной распыления выступает за пределы корпуса, с тем, чтобы потоки аэрозоля не попадали на его поверхность. Генератор располагается в отдельном корпусе и связан с узлом распыления гибким проводом. При такой схеме распыления достигнуто низкое удельное энергопотребление порядка от 0,5 до 1 (Вт\*мин/мл), при том, что основной размер частиц составлял не более 10 мкм. (рис. 8).

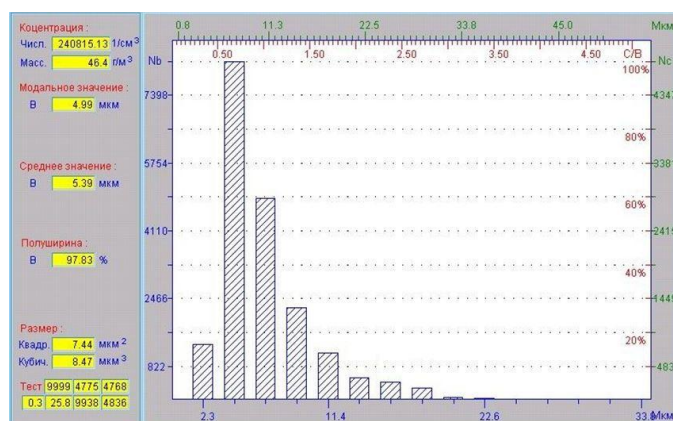


Рис. 8. Распределение дисперсности при распылении

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / глав. ред. И.П. Голямина. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
2. Физика и техника мощного ультразвука. Т. III. Физические основы ультразвуковой технологии / под ред. Л.Д. Розенберга. – М.: Наука, 1970. – 688 с.
3. Карлаш В.Л., Крамаров Ю.А. и др. Способ распыления и разбрызгивания жидкости. Авт. Свид. № 820899, В 05 В 17/04, 17/06, 08.06.79, опубл. 18.04.81.
4. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. – М.: Мир, 1977. – 349 с.
5. Сильвестер П., Феррари Р. Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров – электриков. – М.: Мир, 1986. – 229 с.
6. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера. Практическое руководство. – М.: УРСС, 2003. – 269 с.
7. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / под общ. ред. Красковского Д.Г. – М.: Компьютер Пресс, 2002. – 224 с.

8. *Розенберг Л.Д.* Фокусирующие излучатели ультразвука // В кн. «Источники мощного ультразвука». Ч. III. – М.: Наука, 1967.
9. *Теумин И.И.* Ультразвуковые колебательные системы. – М., Машгиз, 1959. – 331 с.
10. *Харкевич А.А.* Теория электроакустических преобразователей. Волновые процессы. Т. 1. – М.: Наука, 1973. – 398 с.
11. *Экнадиосянц О.К.* Получение аэрозолей // В кн.: Физика и техника мощного ультразвука, «Физические основы ультразвуковой технологии». Ч. V. – М.: Наука, 1970. – 687 с.
12. *Каневский И.Н.* Фокусирование звуковых и ультразвуковых волн. – М.: Наука, 1977. – 336 с.
13. *Митько В.Н., Крамаров Ю.А., Панич А.А.* Математическое моделирование физических процессов в пьезоэлектрическом приборостроении. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2009. – 240 с.
14. Патент РФ №2228578 RU: МПК H04R17/00, Электроакустический преобразователь / Ю.А.Крамаров, Е.А.Мокров, А.А.Панич. Заявл. 21.10.2002; опубл. 10.05.2004.
15. Патент РФ №2264868 RU: МПК B05B17/06 Способ распыления жидкости и устройство для его осуществления / Крамаров Ю.А., Панич А.А. Заявл. 25.03.2004; опубл. 20.10.2004.
16. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2011613572 «Система управления измерениями и расчёта параметров Hioki ZKeff (коэффициент электромеханической связи) Hioki ZKeff v. 1.0» 06.05.2011.
17. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2011613567.
18. «Система управления измерениями и расчёта параметров Hioki B (реактивная составляющая проводимости пьезоэлемента) Hioki B v. 1.0» 06.05.2011.
19. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2011613570 «Система управления измерениями и расчёта параметров Hioki Y (полная проводимость пьезоэлемента) Hioki Y v. 1.0» 06.05.2011.
20. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2011613569 «Система анализа данных и управления измерениями Hioki Manager» «Hioki Manager v. 1.0» 06.05.2011.
21. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2011613568 «Система управления измерениями и расчёта параметров Hioki G (активная составляющая проводимости пьезоэлемента) Hioki G v. 1.0» 06.05.2011.
22. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2011613571 «Система управления измерениями и расчёта параметров Hioki ZC (полное сопротивление и ёмкость пьезоэлемента) Hioki ZC v. 1.0» 06.05.2011.

## REFERENCES

1. Ul'trazvuk. Malen'kaya entsiklopediya [Ultrasound. Small encyclopedia] chapters. ed I.P. Golyamina. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya, 1979, 400 p.
2. Fizika i tekhnika moshchnogo ul'trazvuka. T. III. Fizicheskie osnovy ul'trazvukovoy tekhnologii [Physics and technology of high-power ultrasound. Vol. III. Physical basis of ultrasound technology], ed. by L.D. Rozenberga. Moscow: Nauka, 1970, 688 p.
3. *Karlash V.L., Kramarov Yu.A. i dr.* Sposob raspyleniya i razbryzgivaniya zhidkosti. Avt. svid. № 820899, V 05 V 17/04, 17/06, 08.06.79 [A method of spraying and splashing. Auto. Testimonies. Number 820 899, in 05 in 17/04, 17/06, 06/08/79], publ. 18.04.81.
4. *Streng G., Fiks Dzh.* Teoriya metoda konechnykh elementov [Finite elements method theory]. Moscow: Mir, 1977, 349 p.
5. *Sil'vester P., Ferrari R.* Metod konechnykh elementov dlya radioinzhenerov i inzhenerov – elektrikov [Finite element method for radio engineers]. Moscow: Mir, 1986, 229 p.
6. *Kaplun A.B., Morozov E.M., Olfer'eva M.A.* ANSYS v rukakh inzhenera. Prakticheskoe rukovodstvo [ANSYS engineers handbook. Practical tutorials]. Moscow: URSS, 2003, 269 p.
7. *Basov K.A.* ANSYS v primerakh i zadachakh [ANSYS tasks and examples], gen. ed. Kraskovskogo D.G. Moscow: Komp'yuter Press, 2002, 224 p.
8. *Rozenberg L.D.* Fokusiruyushchie izluchateli ul'trazvuka [Ultrasonic focusing radiators], V kn. «Istochniki moshchnogo ul'trazvuka» [In the book: “Sources of high-intensity ultrasound”]. Part III. Moscow: Nauka, 1967.
9. *Teumin I.I.* Ul'trazvukovye kolebatel'nye sistemy [Ultrasonic oscillation systems]. Moscow, Mashgiz, 1959, 331 p.



10. *Kharkevich A.A.* Teoriya elektroakusticheskikh preobrazovateley. Volnovye protsessy [The theory of electroacoustic transducers. Wave processes]. Vol. 1. Moscow: Nauka, 1973, 398 p.
11. *Eknadiosyants O.K.* Poluchenie aerorozley [Preparation of aerosols], *V kn.: Fizika i tekhnika moshchnogo ul'trazvuka, «Fizicheskie osnovy ul'trazvukovoy tekhnologii»* [In the book: "Physics and technology of high-power ultrasound. Physical basis of ultrasound technology"]. Part V. Moscow: Nauka, 1970, 687 p.
12. *Kanevskiy I.N.* Fokussirovanie zvukovykh i ul'trazvukovykh voln [Focusing sonic and ultrasonic waves]. Moscow: Nauka, 1977, 336 p.
13. *Mit'ko V.N., Kramarov Yu.A., Panich A.A.* Matematicheskoe modelirovanie fizicheskikh protsessov v p'ezoelektricheskom priborostroenii [Mathematic modeling of physical processes in piezoelectric instrumentation]. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2009, 240 p.
14. *Kramarov Yu.A., Mokrov E.A., Panich A.A.* Elektroakusticheskiy preobrazovatel' [Electroacoustic transducer]. Patent RF No. 2228578 RU: MPK H04R17/00, appl. 21.10.2002; publ. 10.05.2004.
15. *Kramarov Yu.A., Panich A.A.* Sposob raspyleniya zhidkosti i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya [A method of spraying liquids and device for its implementation]. Patent RF No. 2264868 RU: MPK V05V17/06. appl. 25.03.2004; publ. 20.10.2004.
16. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM №2011613572 «Sistema upravleniya izmereniyami i rascheta parametrov Hioki ZKeff (koeffitsient elektromekhanicheskoy svyazi) Hioki ZKeff v. 1.0» 06.05.2011 [Russian state registration certificate of computer programs №2011613572 «Measuring and calculating parameters system Hioki ZKeff (coefficient of electromechanical coupling) Hioki ZKeff v. 1.0» 06.05.2011].
17. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM №2011613567 [Russian state registration certificate of computer programs №2011613567].
18. «Sistema upravleniya izmereniyami i rascheta parametrov Hioki V (reaktivnaya sostavlyayushchaya provodimosti p'ezoelementa) Hioki V v. 1.0» 06.05.2011 [Measuring and calculating parameters system Hioki B (reactive component of piezoelectric conductivity) Hioki B v. 1.0» 06.05.2011].
19. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM №2011613570 «Sistema upravleniya izmereniyami i rascheta parametrov Hioki Y (polnaya provodimost' p'ezoelementa) Hioki Y v. 1.0» 06.05.2011 [Russian state registration certificate of computer programs No. 2011613570 «Measuring and calculating parameters system Hioki Y (total conductivity of the piezoelectric cell) Hioki Y v. 1.0» 06.05.2011].
20. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM №2011613569 «Sistema analiza dannykh i upravleniya izmereniyami Hioki Manager» «Hioki Manager v. 1.0» 06.05.2011 [Russian state registration certificate of computer programs №2011613569 «Measuring and calculating parameters system Hioki Manager» «Hioki Manager v. 1.0» 06.05.2011].
21. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM №2011613568 «Sistema upravleniya izmereniyami i rascheta parametrov Hioki G (aktivnaya sostavlyayushchaya provodimosti p'ezoelementa) Hioki G v. 1.0» 06.05.2011 [Russian state registration certificate of computer programs №2011613568 «Measuring and calculating parameters system Hioki G (active component of piezoelectric conductivity) Hioki G v. 1.0» 06.05.2011].
22. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM №2011613571 «Sistema upravleniya izmereniyami i rascheta parametrov Hioki ZC (polnoe soprotivlenie i emkost' p'ezoelementa) Hioki ZC v. 1.0» 06.05.2011 [Russian state registration certificate of computer programs №2011613571 «Measuring and calculating parameters system Hioki ZC (impedance and capacity of the piezoelectric cell) Hioki ZC v. 1.0» 06.05.2011].

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. А.А. Строщев.

**Алексунин Евгений Сергеевич** – Научное конструкторско-технологическое бюро пьезоэлектрического приборостроения Южного федерального университета; e-mail: alexsunin@gmail.com; 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 10, оф. 406; тел.: +79289098093; инженер по информационной безопасности.

**Aleksunin Evgeniy Sergeevich** – Science design and technology bureau "Piezopribor" Southern federal university; e-mail: alexsunin@gmail.com; Russia, Rostov-na-Donu, 344090, Mil'chakov st. 10, 406; phone: +79289098093; information security engineer.