

# Исследование Влияния Толщины Слоя Распыляемой Жидкости на Частотные Характеристики Колебательной Системы

В. Н. Хмелев, А. В. Шалунов, Д. В. Генне, Р.В. Барсуков, В. А. Нестеров

Бийский Технологический институт (филиал) филиал Алтайского технического университета им. И.И. Ползунова Бийск, Россия.

Центр ультразвуковых технологий Бийск Россия.

**Аннотация** – Статья посвящена разработке научных основ автоматизации процесса ультразвукового распыления за счет разработки косвенного контроля толщины (массы) слоя распыляемой жидкости на рабочей поверхности ультразвуковой колебательной системы.

**Ключевые слова (Index Terms)** – оптимальный слой, ультразвуковое распыление, аэрозоль.

## I. ВВЕДЕНИЕ

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ РАСПЫЛЕНИЕ находит применение в различных областях науки и отраслях производства. При ультразвуковом способе распыления жидкость переходит в аэрозольное состояние за счет увеличения поверхностной энергии пленки жидкости, которое достигается путем наложения на нее механических колебаний высокой интенсивности ультразвуковой частоты.

Основными преимуществами ультразвукового распыления жидкостей [1-3], по сравнению с традиционными способами, являются:

- низкая энергоемкость;
- высокая производительность процесса;
- возможность реализации высокодисперсного распыления;
- возможность обеспечения монодисперсного распыления;
- возможность распылять высоковязкие жидкости без применения дополнительного распыляющего агента;

Благодаря указанным достоинствам ультразвуковое распыление жидкости находит применение в медицине, химической, радиоэлектронной и других отраслях промышленности [4].

## II СПОСОБЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО РАСПЫЛЕНИЯ

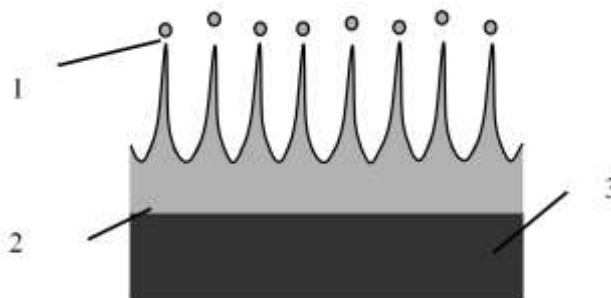
В аэрозольное состояние под действием ультразвуковых колебаний жидкость переходит на границе раздела газовой и жидкой сред. Акустическая энергия может быть подведена к зоне распыления, как

со стороны жидкости, так и со стороны газа. Известны несколько способов подвода акустической энергии к распыляемой жидкости.

1. Распыление жидкости с подведением акустической энергии к рабочей зоне через газ.
2. Распыление жидкости с подведением акустической энергии к рабочей зоне через жидкость также реализуется двумя способами:
  - а) распыление жидкости в фонтане (высокочастотное ультразвуковое распыление) [5, 6];
  - б) распыление жидкости в слое (низкочастотное УЗ распыление);

В работе рассматривается только акустическое распыление в слое с подводом энергии через жидкость.

Процесс образования аэрозоля схематично представлен на рисунке



1 – капли аэрозоля, 2 – слой жидкости и капиллярные волны, 3 – поверхность преобразователя.

Рис.1 механизм образования аэрозоля под действием УЗ колебаний.

При реализации ультразвукового распыления в слое стоячие капиллярные волны образуются на поверхности слоя жидкости, покрывающей колеблющуюся поверхность [7]. С увеличением амплитуды колебаний поверхности амплитуда волн увеличивается, достигая предельной величины, при которой происходит отделение от них капель жидкости. Экспериментально установлено, что для образования капиллярных волн толщина пленки жидкости должна находиться в определенных пределах, зависящих от частоты колебаний и свойств распыляемой жидкости. В общем случае толщина слоя жидкости, покрывающего колеблющуюся поверхность,

является конечной величиной и не может выходить за рамки интервала, при котором распыление прекращается [7].

$$0 < h < \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

Внутри интервала (1) существует экстремальная зависимость производительности распыления от толщины слоя [8, 9, 10]. Например, распыление воды акустическими колебаниями с частотой 20 кГц происходит только в том случае, если толщина слоя распыляемой жидкости составляет от 0,4 мм до 3,2 мм, причем максимум производительности соответствует толщине  $h \approx 0,8$  мм.

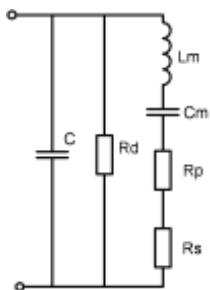
Из выше сказанного следует сделать вывод о том, что толщина слоя жидкости на колеблющейся поверхности является одним из ключевых факторов, влияющих на производительность процесса распыления.

Соответственно актуальной задачей является контроль толщины слоя жидкости в процессе распыления для управления процессом и поддержания оптимального значения.

### III МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Поскольку непосредственный инструментальный контроль толщины слоя в процессе распыления невозможен, возникает необходимость поиска такого метода контроля толщины слоя.

Слой жидкости на колеблющейся поверхности с акустической точки зрения является дополнительной (присоединенной) массой [11] и влияет на свойства всей колебательной системы в целом. Как показано в работе [12, 13] колебательная система в процессе воздействия может выступать в роли датчика. Существуют методы [14, 15] позволяющие оценивать это влияние. Согласно теории электромеханических аналогий пьезопреобразователь вблизи своей резонансной частоты можно представить в виде эквивалентной схемы на рис. 2 [16, 17, 18].



$L_m$  – эквивалентна колеблющейся массе системы,  $C_m$  – гибкость,  $R_p$  – сопротивление механических потерь,  $R_s$  – сопротивление излучения колебательной системы,  $C$  – электрическая (статическая) емкость преобразователя,  $R_d$  – диэлектрические потери в пьезоматериале.

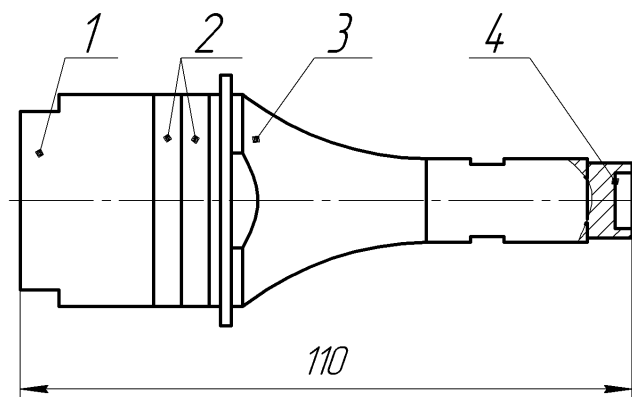
Рис. 2 электрическая эквивалентная схема пьезоэлектрического преобразователя.

Из эквивалентной схемы следует, что резонансная частота преобразователя определяется последовательным колебательным контуром  $L_m C_m$ . Как было сказано выше слой жидкости на поверхности преобразователя является присоединенной массой и, следовательно, влияет на элемент  $L_m$ . Из этого следует, что наличие слоя жидкости будет влиять на резонансную частоту УЗКС.

В состав эквивалентной схемы входит статическая емкость преобразователя, определяемая конструкцией и материалом пьезопреобразователя. Эта емкость также влияет на резонансную частоту УЗКС.

### IV СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

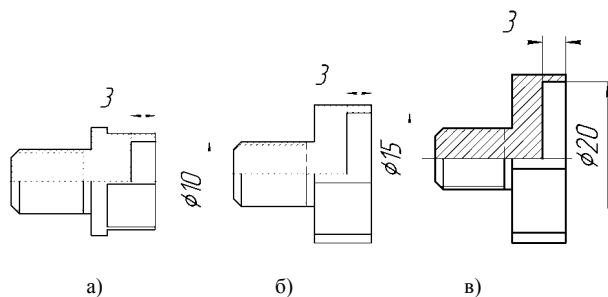
Для проведения исследований была использована полуволновая [19, 20] пьезоэлектрическая колебательная система, эскиз и основные резонансные размеры которой приведены на рис.3.



1 – отражающая накладка, 2 – пьезоэлемент, 3 – концентрирующее звено, 4 – рабочий инструмент.

Рис. 3 эскиз Ультразвуковой колебательной системы

Резонансная частота колебательной системы равна 22 кГц. Рабочий торец концентрирующего звена 3 колебательной системы снабжен сменными рабочими инструментами 4, присоединяемыми при помощи резьбового соединения. На излучающем торце рабочего инструмента выполнено цилиндрическое углубление, на дне которого формировался слой жидкости толщину и массу которого предстояло измерять. Эскизы использованных рабочих инструментов с основными размерами приведены на рис. 4. Размеры цилиндрического углубления инструментов представлены в таблице 1.



а – инструмент №1, б – инструмент №2, в – инструмент №3  
Рис.4 Чертежи рабочих инструментов

ТАБЛИЦА.1  
РАЗМЕРЫ РАБОЧИХ ИНСТРУМЕНТОВ.

| № инструмента | Диаметр внутренней полости мм | Максимальный объем внутренней полости см <sup>3</sup> |
|---------------|-------------------------------|---|
| 1             | 10                            | 0,3   |
| 2             | 15                            | 0,45  |
| 3             | 20                            | 0,6   |

В качестве модельных жидкостей при проведении экспериментов использовались спирт, вода и глицерин, основные физические свойства которых приведены в таблице 2. Выбор жидкостей обусловлен необходимостью исследования максимально широкого диапазона жидкостей по вязкости.

ТАБЛИЦА. 2  
СВОЙСТВА МОДЕЛЬНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

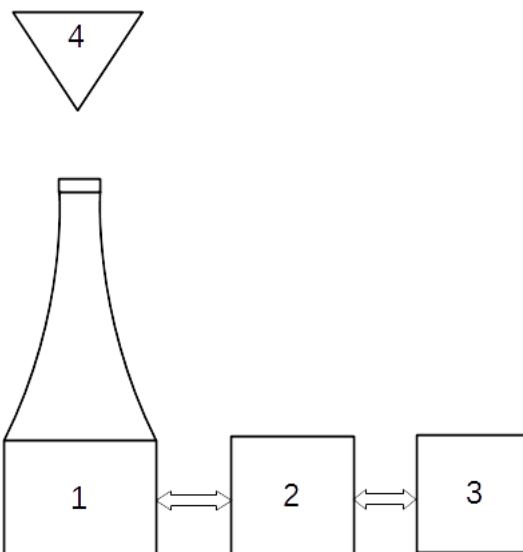
| № | Название | Плотность г/см <sup>3</sup> | Вязкость сПз при 20°С |
|---|----------|-----------------------------|-----------------------|
| 1 | Спирт    | 0,7893                      | 1,2                   |
| 2 | Вода     | 1                           | 1                     |
| 3 | Глицерин | 1,261                       | 1412                  |

Для получения частотных характеристик УЗКС в экспериментах использовался измерительный прибор, описанный в [21]. Работа измерителя заключается в подаче на исследуемую колебательную системы переменного напряжения в заданном диапазоне частот, и по потребляемому току и напряжению питания УЗКС рассчитываются и строятся частотные характеристики исследуемой колебательной системы. Используемое при проведении экспериментальных исследований оборудование позволяло получать следующие характеристики колебательных систем: амплитудно-частотная характеристика потребляемого тока, фазо-частотная характеристика, а также зависимости активного, реактивного и полного импеданса преобразователя колебательной системы от частоты.

Алгоритм проведения экспериментальных исследований включал в себя следующие этапы:

1. Измерение частотных характеристик УЗКС с пустым (сухим) рабочим окончанием;
2. Добавление (в углубление на рабочем инструменте) жидкостей в объеме (0,05 мл или 0,1 мл, в зависимости от рабочего инструмента);
3. Измерение частотных характеристик УЗКС;
4. Добавление порции модельных жидкостей в углубления рабочих инструментов;
5. Действия по пунктам 2...4 повторяются до заполнения цилиндрического углубления рабочего инструмента модельной жидкостью.

Для реализации представленной последовательности действий был собран экспериментальный стенд, структурная схема которого представлена на рис. 5



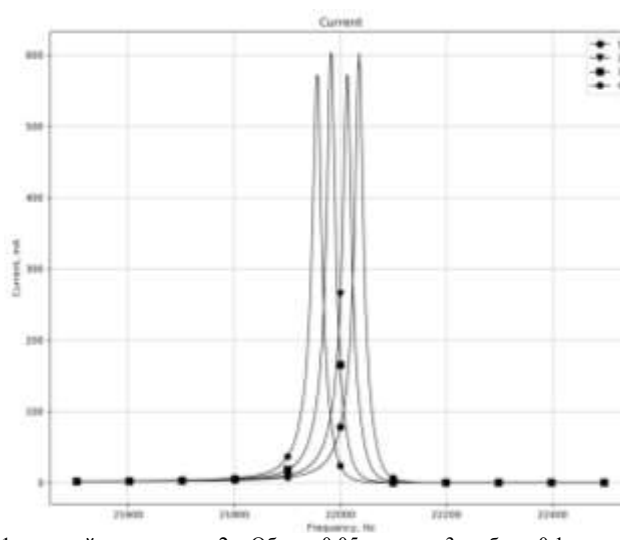
1 -- УЗКС, 2 – Измерительный модуль, 3 – ПК, 4 – Дозатор.  
Рис.5 структурная схема измерительного стенда

Стенд, показанный на рис.5 состоит из УЗКС, укомплектованной набором рабочих инструментов (табл. 1), измерительного прибора для снятия частотных характеристик, и дозатора.

## V РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

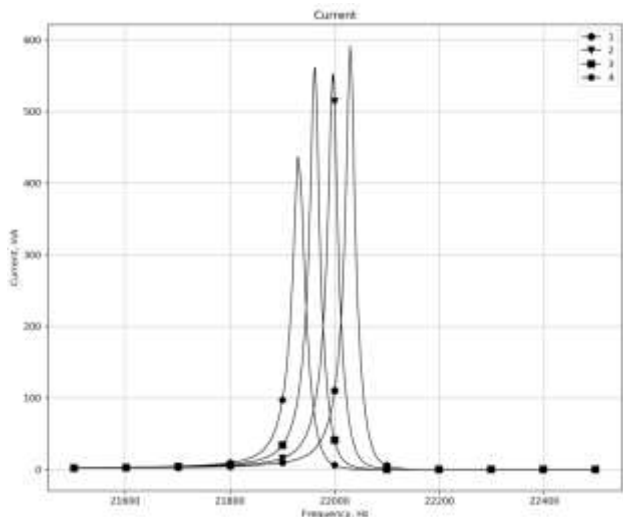
В результате проведенных экспериментов по описанному выше алгоритму были получены частотные характеристики УЗКС в зависимости от толщины слоя (объема) для модельных жидкостей.

На рис. 6-8 представлены результаты эксперимента для инструмента №1.



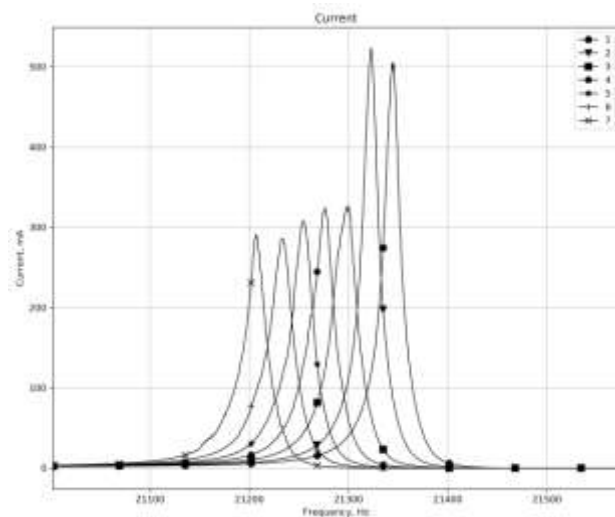
1 – пустой инструмент, 2 – Объем 0,05мл воды, 3 – объем 0,1мл воды, 4 – объем 0,15мл воды.

Рис.6 Зависимость тока, потребляемого УЗКС от частоты



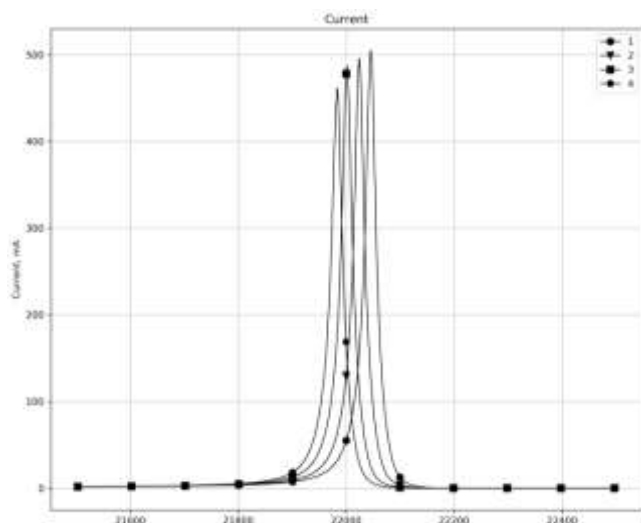
1 – пустой инструмент, 2 – Объем 0,05мл глицерина, 3 – объем 0,1мл глицерина, 4 – объем 0,15мл глицерина.

Рис. 7 Зависимость тока, потребляемого УЗКС от частоты



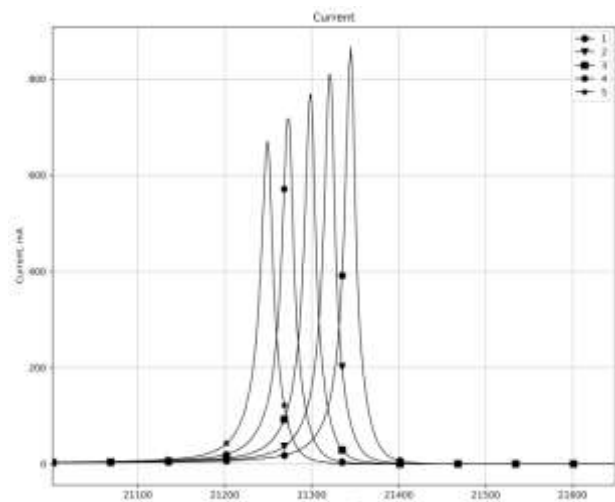
1 – пустой инструмент, 2 – Объем 0,05мл вода, 3 – объем 0,1мл вода, 4 – объем 0,15мл вода, 5 – объем 0,2мл вода, 6 – объем 0,25мл вода, 7 – объем 0,3мл вода,

Рис.9 Зависимость тока, потребляемого УЗКС от частоты



1 – пустой инструмент, 2 – Объем 0,05мл спирт, 3 – объем 0,1мл спирт, 4 – объем 0,15мл спирт.

Рис. 8 Зависимость тока, потребляемого УЗКС от частоты

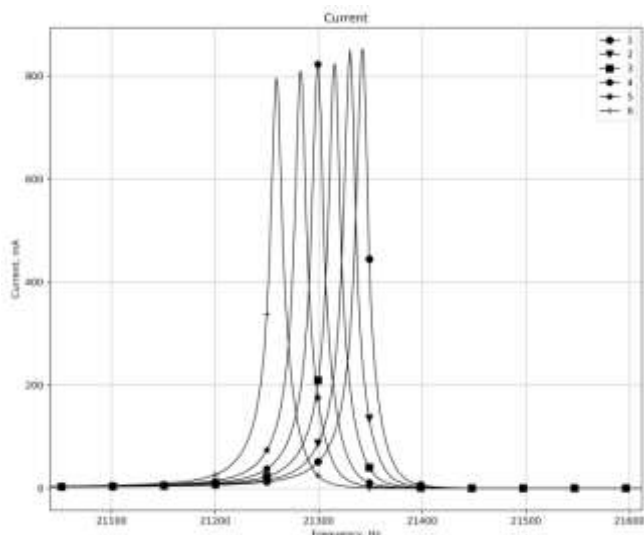


1 – пустой инструмент, 2 – Объем 0,05мл глицерин, 3 – объем 0,1мл глицерин, 4 – объем 0,15мл глицерин, 5 – объем 0,2мл глицерин.

Рис.10 Зависимость тока, потребляемого УЗКС от частоты

На рис. 6 – рис. 8 представлены изменения частотных характеристик УЗКС с инструментом №1 от объема модельных жидкостей. Из анализа зависимостей, представленных на рис. 4 - 7 можно сделать заключение о существенном влиянии изменения объема модельной жидкости на положение резонанса УЗКС. Прослеживается зависимость между изменением частоты на единицу объема и плотностью модельной жидкости, что подтверждаем теоретическое заключение о влиянии присоединенной массы на положение резонанса колебательной системы.

На рис. 9-11 представлены результаты экспериментов для инструмента №2 на разных модельных жидкостях.



1 – пустой инструмент, 2 – Объем 0,05мл спирт, 3 – объем 0,1мл спирт, 4 – объем 0,15мл спирт, 5 – объем 0,2мл спирт, 6 – объем 0,25мл спирт.

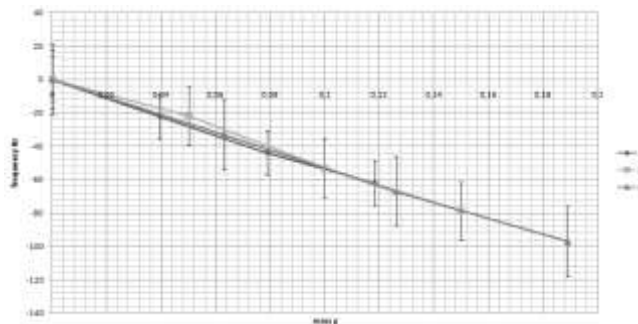
Рис.11 Зависимость тока, потребляемого УЗКС от частоты

Зависимости, представленные на рис. 9 – 11 подтверждают справедливость заключения о влиянии присоединенной массы на резонансную частоту УЗКС вне зависимости от размеров рабочего инструмента. Следовательно, изменение резонансной частоты может быть использовано для оценки массы жидкости на рабочей поверхности распылительного инструмента.

### VI ЗАВИСИМОСТЬ РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ УЗКС ОТ ОБЪЕМА РАСПЫЛЯЕМОГО МАТЕРИАЛА.

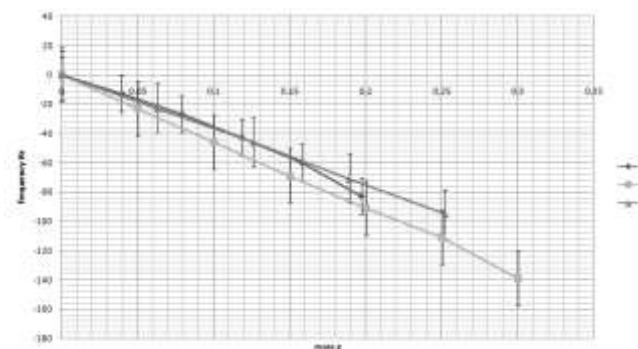
Как было показано на эквивалентной схеме замещения рис. 2 у преобразователя присутствует статическая емкость, образованная обкладками пьезоэлементов и безоматериалом. В виду низкой температурной стабильности диэлектрических свойств пьезоматериала имеется значительная зависимость статической емкости от температуры пьезопреобразователя, что в свою очередь влияет на положения резонанса УЗКС в целом.

Для исключения влияния температуры УЗКС было принято решение использовать изменение резонансной частоты относительно частоты сухой (без жидкости) УЗКС полученное непосредственно перед проведением экспериментов. На рис. 13-15 представлены зависимости изменения резонансной частоты от массы модельной жидкости.



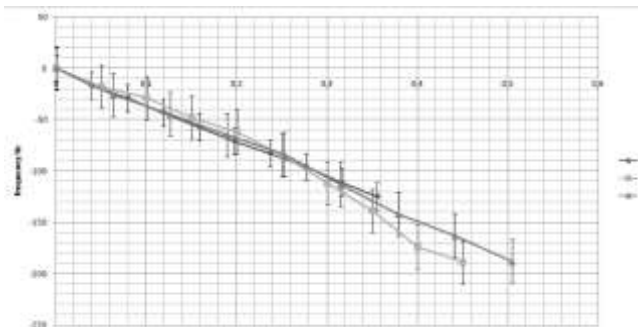
1 – спирт, 2 – вода, 3 – глицерин.

Рис. 13 Изменение резонансной частоты УЗКС с инструментом №1 от массы модельной жидкости при работе на основной резонансной частоте



1 – спирт, 2 – вода, 3 – глицерин.

Рис. 14 Изменение резонансной частоты УЗКС с инструментом №2 от массы модельной жидкости при работе на основной резонансной частоте



1 – спирт, 2 – вода, 3 – глицерин.

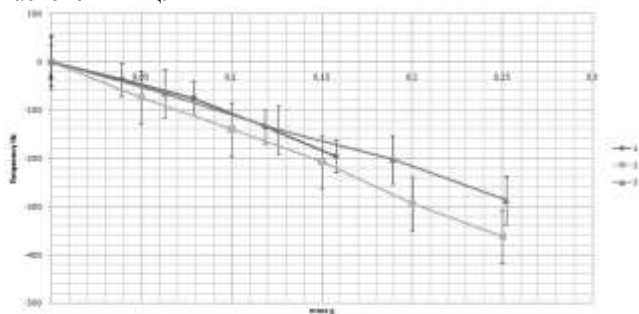
Рис.15 Изменение резонансной частоты УЗКС с инструментом №3 от массы модельной жидкости при работе на основной резонансной частоте

Проведенные эксперименты подтвердили наличие зависимости изменения резонансной частоты от массы распыляемого материала.

Из зависимостей на рис. 12 – рис. 14 следует, что изменение частоты мало зависит от свойств самой жидкости. Также полученные зависимости свидетельствуют о близкой к линейной зависимости изменения резонансной частоты от массы жидкости

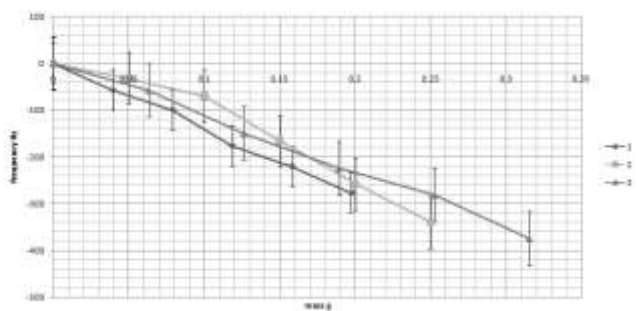
Исходя из анализа электрической эквивалентной схемы рис.2 можно сделать заключение, что при работе УЗКС на второй моде (удвоенной частоте) влияние присоединенной массы должно увеличиться. Для проверки этих предположений были проведены

исследования на удвоенной частоте УЗКС. На рис 16-17 представлены зависимости при работе УЗКС на частоте 44кГц.



1 – спирт, 2 – вода, 3 – глицерин.

Рис.16 Изменение резонансной частоты УЗКС с инструментом №1 от массы модельной жидкости при работе на удвоенной резонансной частоте



1 – спирт, 2 – вода, 3 – глицерин.

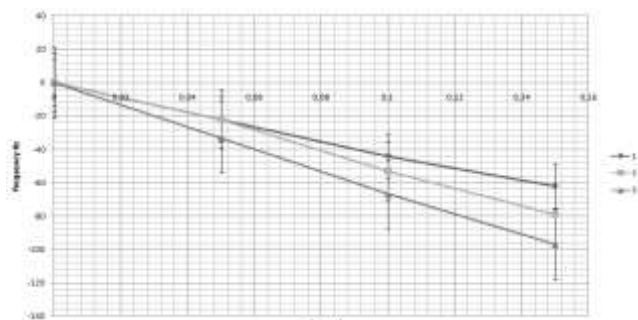
Рис.17 Изменение резонансной частоты УЗКС с инструментом №2 от массы модельной жидкости при работе на удвоенной резонансной частоте

Как можно видеть из сравнения изменений в частотных диапазонах 22 и 44 кГц, во втором случае зависимость изменения частоты от массы жидкости усилилась. Это может позволить повысить точность измерения, переводя УЗКС в режим работы на удвоенной частоте. К сожалению, запуск на удвоенной частоте не всегда возможен, при этом падает эффективность УЗКС. В представленном эксперименте не удалось получить устойчивой работы УЗКС на удвоенной частоте с самым тяжелым инструментом (диаметром 20мм) это может быть связано с недостаточной мощностью генератора измерительного модуля.

## VII ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В ходе проведения исследований были получены зависимости изменения частоты УЗКС от массы жидкости (рис. 13 – рис. 17), вместе с тем практическую значимость для систем распыления представляет именно толщина слоя жидкости на поверхности распылительного инструмента.

На рис. 18 представлены графики зависимости изменения резонансной частоты УЗКС с инструментом 1 от объема жидкости на поверхности инструмента.



1 – спирт, 2 – вода, 3 – глицерин.

Рис.18 Изменение резонансной частоты УЗКС с инструментом №1 от объема модельной жидкости при работе на основной резонансной частоте

Из графиков рис.18 следует что зависимость изменения частоты от объема для разных жидкостей сильно отличается. Вместе с тем эти зависимости остаются близкими к линейным. Все это косвенно подтверждает отсутствие зависимости от свойств жидкости.

В таком случае можно ввести коэффициент пропорциональности между зависимостями изменения частоты от массы и объема, основанный на плотности распыляемой жидкости. Этот способ мало пригоден для практического применения, так как при этом придется вносить данные о жидкости.

Однако, если на начальном этапе процесса, на распылительную поверхность подать известный, тестовый объем жидкости, то этот процесс может быть автоматизирован. В этом случае объем жидкости на поверхности распылительного инструмента можно вычислить по формуле 2.

$$V_m = \frac{\Delta F \cdot V_{tst}}{\Delta F_{tst}}, \quad (2)$$

где  $V_m$  объем распыляемой жидкости,  $\Delta F$  изменение резонансной частоты,  $V_{tst}$  тестовый объем жидкости,  $\Delta F_{tst}$  изменение резонансной частоты при от тестового объема жидкости.

Принцип реализации процесса измерения в этом случае заключается в предварительном проведении измерения на образце распыляемой жидкости заранее известного объема. Получая объем жидкости, находящийся на поверхности рабочего инструмента и зная диаметр рабочего инструмента (площадь поверхности) можно найти среднюю толщину слоя распыляемой жидкости, с использованием выражения 3

$$h = V_m / S \quad (3)$$

где  $h$  средняя толщина слоя распыляемой жидкости,  $V_m$  объем жидкости полученный в результате измерения,  $S$  площадь распылительного инструмента.

## VII ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в результате экспериментальных исследований зависимости подтвердили возможность косвенного контроля толщины (массы) распыляемого материала на колеблющейся поверхности УЗКС.

Основным контролируемым параметром является изменение резонансной частоты УЗКС при формировании на ее рабочей поверхности распыляемого материала. Контроль резонансной частоты УЗКС на удвоенной частоте позволяет повысить точность получаемых результатов. Применение несложных математических вычислений (пригодных для реализации на микроконтроллерах) позволит рассчитывать среднюю толщину слоя распыляемой жидкости и обеспечивать установку необходимой толщины слоя.

Вместе с тем представляют интерес дальнейшие исследования при работе УЗКС на повышенной мощности. Это должно повысить стабильность работы рабочих инструментов с увеличенной площадью распылительной поверхности на повышенных частотах и получить более детальные зависимости частотных характеристик с применением различных модельных жидкостей (масла, смолы, и т.п.).

### БЛАГОДАРНОСТИ

This study is carried out under the financial support of the Grant of the President of Russian Federation No. MD-424.2018.8 and RFBR and Administration of Altai Region (Project No. 18-48-220009 r\_a “Development of scientific foundations of technology of ultrasonic coagulation of high-dispersed particles in gaseous mediums for increasing efficiency of gas-cleaning equipment”)

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Kiran. A. Ramisetty, Aniruddha. B. Pandit, Parag. R. Gogate Investigations into ultrasound induced atomization Ultrasonics Sonochemistry 20 (2013) 254–264
- [2] Berger, H.L. Ultrasonic Liquid Atomization / H.L. Berger // Partridge Hill Publishers – Hyde Park: NY, 1998.
- [3] Eknadiosyants, O. K. Obtaining aerosols // Physical bases of ultrasonic technology / ed. L. D. Rosenberg. - M.: Science, 1970. - p. 337–395. in Russian
- [4] Wieder, B. Spray coating for mems, nems and micro systems [Text] / B. Wieder, C. Brubaker, T. Glinser, P. Kettner, N. Nodes // Pacific Rim Workshop on Transducers and Micro/Nano Technologies, 2002. – P. 135–138.
- [5] A.Lozano, H.Amadeva, F.Barreras, et al. High-Frequency Ultrasonic Atomization With Pulsed Excitation // Journal of Fluids Engineering, Vol. 125, November 2003. pp. 941-945;
- [6] T.D. Donnelly, J. Hogan, et al. Using ultrasonic atomization to produce an aerosol of micron scale particles. // Review of scientific instruments, vol.76, 2005. pp. 113301-1 – 113301-10;
- [7] Novitsky, B. G. The use of acoustic oscillations in chemical-technological processes (Processes and apparatuses of chemical and petrochemical technology) - M.: Chemistry, 1983. - 192 p. in Russian
- [8] Shalunov A.V. Khmelev V.N. Smerdina E.S. The Cavitation Spraying of the Viscous Liquids / International Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2006: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2006. – P.269-273.
- [9] T. Donnelly, J. Hogan, et al. An experimental study of micron-scale droplet aerosols produced via ultrasonic atomization // Physics of Fluids 16(8). – pp. 2843-2851.
- [10] D.Sindayihebyra, M.Dobre, L.Bolle Experimental study of thin liquid film ultrasonic atomization; Benjamin Howard. High speed

photography of ultrasonic atomization. – Brown university, 2010. – 39. p.

- [11] Makarov, L.O. Acoustic measurements in the processes of ultrasonic technology - M.: Mashinostroenie, 1983. - 56 p. in Russian
- [12] Teumin, I. I. Ultrasonic Oscillatory Systems - M.: Mashgiz, 1959. - 331 p. in Russian
- [13] Gershal D.A., Phredman V.M. Ultrasonic the technological equipment. - M.: Energy, 1976. - 318 p in Russian
- [14] Shalunov A.V. Khmelev V.N. Barsukov R.V. Slivin A.N. Tchyganok S.N. The System of Checking and Operating Power of Ultrasonic Technological Apparatus // Siberian Russian Student Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2001: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2001. – P.54-55.
- [15] Shalunov A.V. Khmelev V.N. Barsukov R.V. Tsyganok S.N. Steer V.N. Lebedev A.N. Adjusting and Calibration Electronic Ultrasonic Generators // Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2003: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2003. - P.202-204.
- [16] A.V.Donskoy, O.K.Keller, G.S.Kratysh Ultrasonic electrotechnological utility.. L.: Energoatomizdat. Leningrad., 1982. 208 p. in Russian
- [17] Zernov N.V., Karpov V. G. Theory of radio engineering circuits/ - Leningrad: Energy, 1972 – 816 p. in Russian
- [18] A.E. Kolesnikov Ultrasonic measurements. 2th. ed. reclaiming and add. -M.: Standards Publishing House, 1982. -248p. in Russia
- [19] D.Sindayihebyra, L.Bolle, A.Cornet, L.Joannes. Theoretical and experimental study of transducers aimed at low-frequency ultrasonic atomization of liquids // J. Acoust. Soc. Am. 103, 1442 (1998);
- [20] Raj Baldev, Rajendran V., Palanichi P. Ultrasound applications Moscow: Technosphere, 2006. - 576 p. in Russian
- [21] Khmelev V. N., Barsukov R. V., Genne D. V., Ilchenko E. V. Measuring Instrument of Impedance Characteristics of the Ultrasonic Vibrating Systems // 19th International conference on micro/nanotechnologies and electron devices EDM 2018: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2018. - P.347-349.



**Vladimir N. Khmelev** (SM'04) is deputy director for scientific and research activity at Biysk technological institute, professor and lecturer, Full Doctor of Science (ultrasound), honored inventor of Russia, laureate of Russian Government premium for achievements in science and engineering, IEEE member since 2000, IEEE Senior Member since 2004. His scientific interests are in field of application of ultrasound for an intensification of various technological processes.



**Andrey V. Shalunov** has got engineer's degree at 2003 and Philosophy degree (Doctor of Engineering Sciences) at 2013. He is leading specialist in designing of interface systems of ultrasonic technological equipment and other devices, docent and lecturer in Biysk Technological Institute, laureate of Russian Government premium for achievements in science and engineering. His research interests are in designing of ultrasonic technological equipment and in applying of ultrasonic vibrations of high intensity for intensifying of technological processes and for changing of materials and substances properties, constructing of technological assemblies for ultrasonic technologies realization



**Roman V Barsukov** has got engineer's degree at 1998 and Philosophy degree (Candidate of Engineering Sciences) at 2005. He is leading specialist in designing of modern electronic ultrasonic generation devices, laureate of Russian Government premium for achievements in science and engineering, docent and lecturer in Biysk Technological Institute. His research interests are in field of ultrasonic equipment and technologies and in applying of high intensive

ultrasonic vibrations for intensifying of technological processes and for changing of materials and substances properties.



**Dmitry V. Genne** has got engineer's degree on information science and measuring engineering at 2006. He is engineer and lecturer in Biysk Technological Institute. He is leading specialist in controlling of treating parameters of variously applied ultrasonic equipment. His research interests are in development of high -power electronic generators for ultrasonic technological devices.



**Viktor A. Nesterov** has got a higher education on information measuring engineering and technologies from Altay State Technical University. He is engineer in Biysk Technological Institute. His research interests is finite-element modeling and designing ultrasonic oscillation system.