

# Определение Концентраций Водных Растворов В Процессе Их Кавитационной Обработки

Владимир Н. Хмелев, *Senior Member*, IEEE, Роман В. Барсуков, Евгений В. Ильченко, Наталья С. Попова (магистрант), Дмитрий В. Генне  
Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Бийск, Россия  
Центр ультразвуковых технологий, Бийск, Россия

**Аннотация** – Статья посвящена созданию и исследованию способа косвенного контроля параметров жидких технологических сред в виде водных растворов глицерина, сахарозы и NaCl, подвергаемых ультразвуковому воздействию. Основу создаваемого способа составляют выявленные ранее зависимости электрических параметров пьезоэлектрических преобразователей ультразвуковых колебательных систем (УЗКС) от физических характеристик технологических сред, подвергаемых УЗ воздействию в кавитационном режиме.

**Ключевые слова** – Ультразвук, электронный генератор, нагрузка, контроль.

## I. ВВЕДЕНИЕ

РЯДОМ АВТОРОВ, В РАЗНОЕ ВРЕМЯ, проводились работы по изучению связи между параметрами технологических сред и параметрами ультразвуковых технологических аппаратов. Были предприняты удачные попытки использования УЗКС как элемента обратной связи для получения информации о свойствах сред и протекающих в них процессов. В частности, установлено, что контроль тока, протекающего через пьезокерамические элементы преобразователя УЗКС позволяет контролировать процесс сварки термопластичных материалов [1,2]. В аппаратах для внешней липосакции использован анализ модуляций тока, потребляемого УЗКС для контроля наличия акустического контакта между излучателем и телом пациента [3]. В работе [4] показана возможность контроля процесса кавитации, развивающейся в жидких средах, подверженных воздействию УЗ колебаний высокой интенсивности. В большинстве современных УЗ аппаратов ток, потребляемый УЗ излучателем, контролируется и используется для косвенной оценки величины амплитуды механических колебаний излучающей поверхности УЗКС.

К сожалению, контроля тока излучателя в ряде случаев недостаточно, поэтому авторы [4-7] проводят исследования по выявлению новых параметров УЗКС, которые могут быть использованы для косвенного контроля свойств обрабатываемых сред.

В работе представлены результаты новых исследований, направленных на создание способа контроля параметров жидких технологических сред в процессе ультразвуковой обработки при помощи пьезоэлектрических УЗКС.

## II. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

При проведении исследований в качестве технологических сред использовались следующие водные растворы:

- раствор NaCl, концентрация менялась дискретно в диапазоне 0 - 25% с шагом 2,5%;
- раствор сахарозы, концентрация менялась дискретно в диапазоне 0 - 40%, с шагом 5%;
- раствор глицерина, концентрация менялась дискретно в диапазоне 0 - 35%, с шагом 5%;

В качестве источника УЗ воздействия был использован аппарат "Волна" модели УЗТА-0,2/22-ОМ [8], электрическая схема которого была дополнена контрольными точками для проведения контрольных измерений.

В основу проводимых измерений была положена физическая модель (электрическая эквивалентная схема) УЗКС в технологической среде, предложенная в ранних работах [4] по определению RLC параметров, представленная на рисунке 1.

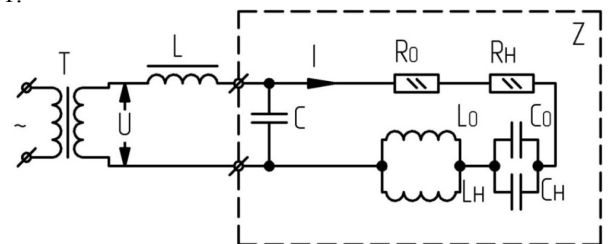


Рисунок 1 – Эквивалентная электрическая схема размещения УЗКС с преобразователем пьезоэлектрического типа

В эквивалентной электрической схеме: индуктивность  $L_0$  – является эквивалентом колеблющейся массы, обусловленной собственными свойствами (инерционными) УЗ колебательной системы, электрическая емкость  $C_0$  – является эквивалентом упругости материала, из которого изготовлена УЗКС, активное сопротивление  $R_0$  – эквивалентно сопротивлению механических потерь,  $R_H$  – сопротивлению излучения колебательной системы,  $L_H$  – эквивалентна колеблющейся массе обрабатываемой жидкой фазы, присоединенной к излучающей поверхности, емкость  $C_H$  – обусловлена наличием у обрабатываемой среды упругих свойств,  $C$  – электрическая (статическая) емкость пьезопреобразователя.

Элемент (на схеме не показан), является суммой элементов и .

Методика определения RLC элементов эквивалентной электрической схемы замещения УЗКС подробно описана в работе [4].

Результаты экспериментальных исследований были получены при кавитационной обработке водных растворов различных концентраций. Для раствора каждой концентрации измерения проводились на различных уровнях напряжения питания УЗКС. Ниже представлены зависимости сопротивления элемента от напряжения питания УЗКС  $U$  при различных концентрациях растворов. Зависимости значений элементов  $C_n$  и  $L_n$  в данной статье не рассматриваются, поскольку полученные в ходе экспериментов данные не имеют характерных особенностей и анализу не поддаются.

На рисунке 2 представлены кривые, иллюстрирующие зависимость сопротивления элемента от напряжения питания УЗКС в процессе изменения концентрации раствора глицерина.

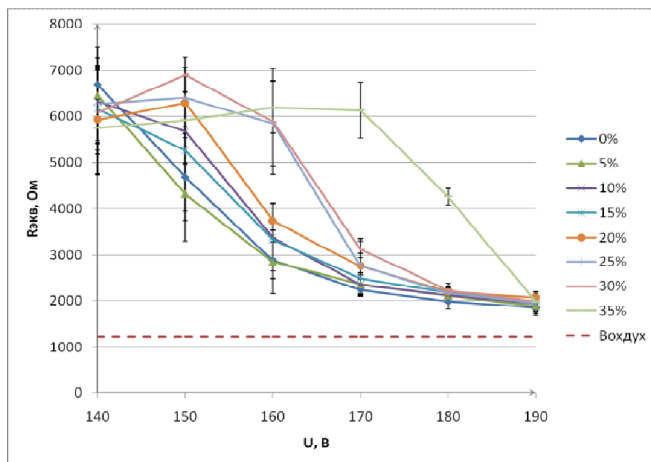


Рисунок 2 – Зависимость активного элемента механической ветви УЗКС от напряжения питания УЗКС для различных концентраций раствора глицерина

Из представленных на рисунке 2 зависимостей следует, что возникающая в растворах кавитация приводит к изменению активного сопротивления при изменении напряжения питания УЗКС, далее, мере увеличения напряжения, значения элемента (для всех концентраций раствора) стремится к одному значению. Этот факт обусловлен развитием в жидкой среде кавитации и достижением, при определенной интенсивности УЗ воздействия, режима развитой кавитации (насыщения жидкой среды парогазовыми пузырьками), которому свойственно сопротивление нагрузки, близкое к сопротивлению газовой среды.

Еще одной особенностью представленных зависимостей является величина уровня напряжения питания УЗКС, при котором начинается спад. Различный уровень напряжения, при котором сопротивление начинает изменяться обусловлен зависимостью кавитационной прочности раствора от его концентрации. По мере увеличения концентрации глицерина, растет кавитационная прочность раствора.

На рисунке 3 представлены зависимости сопротивления от концентрации раствора глицерина, полученные для различных напряжений питания УЗКС.

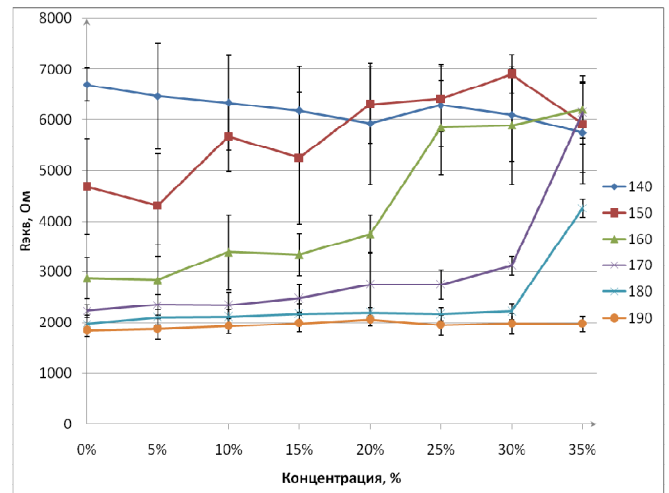


Рисунок 3 – Зависимость активного элемента механической ветви УЗКС от концентрации раствора глицерина

Кривые иллюстрируют различный характер зависимостей для разных уровней напряжения питания УЗКС. Так при напряжении питания УЗКС, равном 190 вольт, величина практически не зависит от концентрации раствора. На меньших уровнях питания УЗКС наблюдается влияние величины концентрации на параметр . Влияние напряжение питания на зависимость величины от концентрации раствора вероятнее всего обусловлено следующим. На больших уровнях напряжения питания УЗКС раствор сильно насыщен кавитационными пузырьками, т.е. его волновое сопротивление близко к сопротивлению воздушной среды, и поэтому, величина не зависит от концентрации исходного раствора. На малых уровнях напряжения питания УЗКС индекс кавитации [9] снижается, следовательно, концентрация раствора начинает оказывать влияние на параметр .

Аналогичные зависимости были получены в процессе концентрирования растворов сахарозы и NaCl. На рисунках 4 и 5 представлены кривые, иллюстрирующие зависимость сопротивления элемента от напряжения питания УЗКС в процессе концентрирования раствора сахарозы и NaCl.

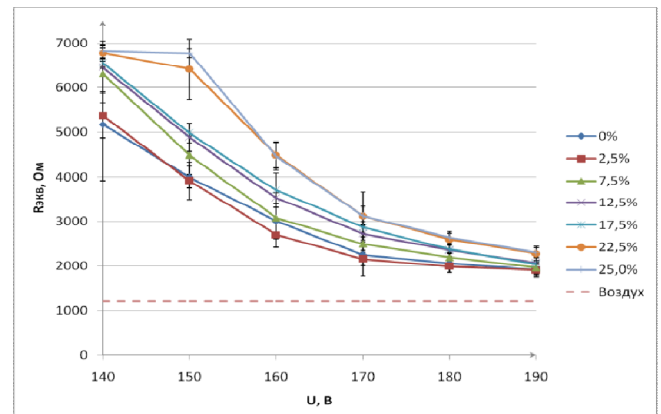


Рисунок 4 – Зависимость активного элемента механической ветви УЗКС от напряжения питания УЗКС для различных концентраций раствора NaCl

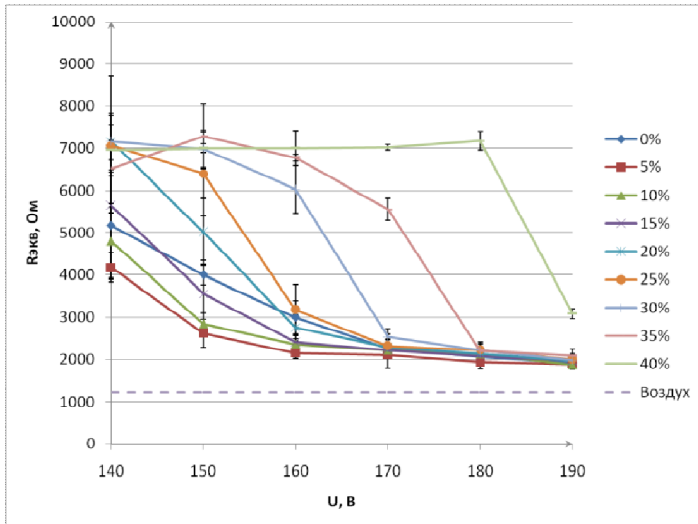


Рисунок 5 – Зависимость активного элемента механической ветви УЗКС от напряжения питания УЗКС для различных концентраций раствора сахарозы

Как и для эксперимента с глицерином, с повышением напряжения питания УЗКС уменьшается величина значения элемента, что обусловлено развитием в жидкой среде процесса кавитации. В растворе NaCl изменения (уменьшение) значения элемента начинают наблюдаться при малых напряжениях питания во всем диапазоне концентраций. Это означает, что в солевом растворе легко зарождается кавитация и концентрация раствора незначительно влияет на этот процесс.

Для раствора сахарозы (рисунок 5) наблюдается сильная зависимость момента зарождения кавитации от концентрации раствора. При больших концентрациях раствора для зарождения кавитации требуется большее напряжение питания УЗКС.

На рисунках 6,7 представлены зависимости сопротивления от концентрации растворов сахарозы и NaCl для различных уровней питания УЗКС.

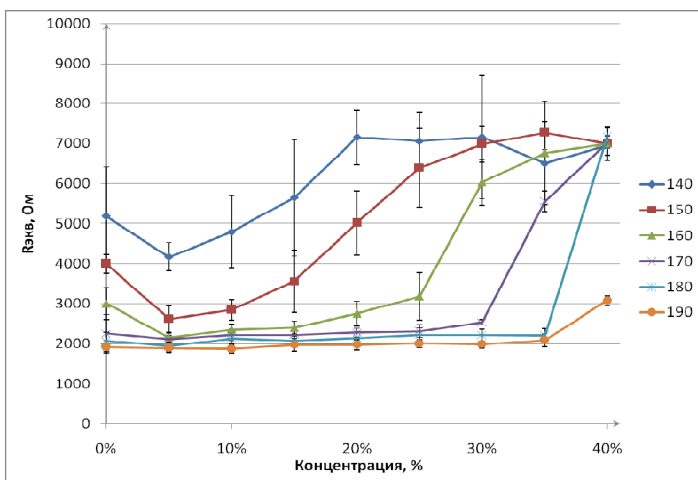


Рисунок 6 – Зависимость активного элемента механической ветви УЗКС от концентрации раствора сахарозы

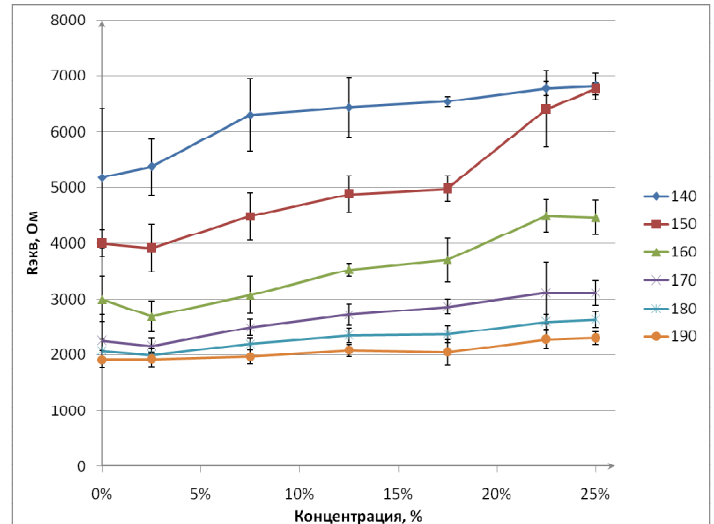


Рисунок 7 – Зависимость активного элемента механической ветви УЗКС от концентрации раствора NaCl

Как и для случая с глицерином, наблюдаются характерные особенности. На больших уровнях напряжения питания концентрация растворов не влияет на величину элемента. При уменьшении напряжения питания УЗКС концентрация растворов начинает оказывать большее влияние на величину элемента. Особенно сильно величина зависит от концентрации раствора в процессе концентрирования раствора сахарозы (см. рисунок 6).

Полученные экспериментальные зависимости иллюстрируют возможность контролировать процесс концентрирования растворов, изменение их концентрации в УЗ полях.

Способ контроля процесса концентрирования растворов может быть реализован следующим образом:

- для начальной концентрации раствора определяется момент зарождения кавитации (определяется напряжение питания УЗКС, при котором величина начинает уменьшаться);
- для уровня напряжения 0.3\* определяется величина, соответствующая начальной концентрации раствора;
- осуществляется работа УЗ аппарата на номинальной мощности (реализуется процесс концентрирования);
- периодически осуществляется снижение напряжения питания УЗКС до уровня 0.3\* и определяется величина, соответствующая текущей концентрации раствора;
- анализируется динамика и характер изменения во времени величины, полученной для различных концентраций раствора;
- принимается решение о завершении (не завершении) процесса концентрирования.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты экспериментальных исследований подтвердили наличие ярко выраженной зависимости между электрическими параметрами пьезоэлектрических ультразвуковых колебательных систем и свойствами обрабатываемых технологических сред и показали возможность создания способа контроля параметров и свойств жидких технологических сред в процессе их обработки.

Предложенный способ контроля процесса концентрирования растворов основан на использование УЗКС, параметры которой меняются в процессе концентрирования растворов, в качестве элемента обратной связи, и должен реализовываться при УЗ кавитационной обработке в короткие промежутки времени (менее 2 сек.) в режимах докавитационной обработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] A method of sealing cartridges for water purification patent 2241599 Russian Federation: MPK7 B29C65/08 / V.N. Khmelev, R.V. Barsukov,,S.N Tsyganok, A.N. Slivin, A.V. Shalunov, I.I. Savin, M.V.Khmelev, S.V. Levin; stated 11.12.2003; published. 10.12.2004.
- [2] A method of sealing plastic containers for storage and processing of blood patent 2269334 Russian Federation: MPK A61J1/05, B65B51/22 / V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, S.N. Tsyganok, A.N. Slivin; stated 20.05.2004; published 10.02.2006.
- [3] Control method of ultrasonic liposuction. V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, S.N. Tsyganok., A.N. Slivin, A.V. Shalunov, Patent for invention RUS 2247544 09.06.2003
- [4] Khmelev V.N. Parameter control of cavitating liquid media under the action of ultrasound [Text] / V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, D.V. Genne, D.S. Abramenko, E.V. Ilchenko //Polzunovskiy vestnik. – 2012. №2/1. – P. 154 – 159 (in Russian)
- [5] V.N. Khmelev, The control system of technological properties environments exposed to high intensity ultrasonic field / V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, E.V. Ilchenko // Sensors and Systems. – 2013. – № 6. – С. 52 – 56.
- [6] V.N. Khmelev, Ways of improving the electronic generator of ultrasonic technological devices / V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, E.V. Ilchenko // Scientific and Technical Gazette of the Volga region. - 2014. № 3. - S. 247-254.
- [7] V.N. Khmelev, Practical Investigations of the Method of Indirect Parameter Checkout of the Acoustic Load Parameters [Текст] / V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, D.V. Genne, D.S. Abramenko, A.V. Shalunov, E.V. Ilchenko // International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM2011: Conference Proceedings. – Novosibirsk, NSTU, 2011. – P.241–244.
- [8] Ultrasonic technological apparatus series “Volna”. Access mode: [http://www.u-sonic.com/catalog/apparaty\\_dlya\\_uskoreniya\\_protsesov\\_v\\_zhidkikh\\_sredakh/ultrazvukovoy\\_tekhnologicheskij\\_apparat\\_serii\\_volna\\_v1/](http://www.u-sonic.com/catalog/apparaty_dlya_uskoreniya_protsesov_v_zhidkikh_sredakh/ultrazvukovoy_tekhnologicheskij_apparat_serii_volna_v1/)
- [9] L.D. Rozenberg Cavitation area, in the book: Powerful ultrasonic fields/Ed. L.D. Rosenberg, M.: Science 1968, p. 222 - 265