

ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ РЕЖИМА КАВИТАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Е.В. Ильченко, Д.В. Генне

Статья посвящена интегрированию системы контроля режима кавитационного воздействия в ультразвуковое технологическое оборудование, предназначенное для воздействия на жидкие технологические среды. Приводятся результаты исследования эффективности работы УЗ оборудования с системой контроля.

Ключевые слова: ультразвук, электронный генератор, нагрузка, контроль, кавитация.

ВВЕДЕНИЕ

В современной промышленности ультразвуковые (УЗ) колебания высокой интенсивности находят самое широкое применение. В том числе весьма распространены технологии, связанные с УЗ воздействием на жидкую технологическую среду, где возникают кавитационные явления.

При УЗ воздействии различают несколько стадий развития кавитации: докавитационная стадия, стадия зарождения кавитации, стадия развитой кавитации, стадия вырожденной кавитации. Наибольшего эффекта в большинстве УЗ технологий позволяет добиться использование развитой кавитации.

Использование кавитационного воздействия позволяет существенно ускорять и увеличивать качество продукта в процессах эмульгирования, диспергирования, экстракции, сорбционных процессах, процессе деполимеризации, уменьшении вязкости нефтепродуктов.

Типичный ход зависимости активности кавитации от амплитуды колебаний поверхности излучателя представлен на рисунке 1 [1].

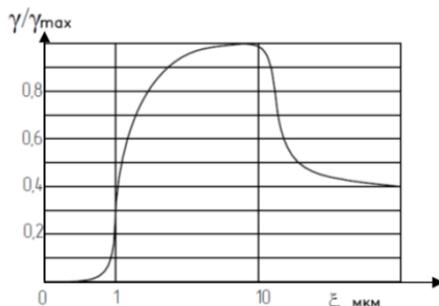


Рисунок 1 – Типичная зависимость активности кавитации от амплитуды колебаний УЗ излучателя

На представленной кривой выделяются участки возникновения кавитации, увеличения активности, насыщения и спада активности кавитации [1]. Такой характер зависимости свидетельствует о необходимости контроля активности кавитации в УЗ установках для поддержания оптимального кавитационного режима.

В существующем оборудовании настройка на кавитационный режим производится вручную, при этом в качестве стабилизируемого параметра используется потребляемая электрическая мощность, или амплитуда механических колебаний УЗ излучателя. Отсюда неточность и неустойчивость настройки на кавитационный режим. Более совершенным способом управления является стабилизация непосредственно активности кавитации.

На протяжении нескольких лет проводились исследования возможности контроля режима кавитационного воздействия на жидкие среды [2–4] путем контроля электрических параметров пьезоэлектрических ультразвуковых колебательных систем (УЗКС).

Для анализа влияния кавитирующей технологической среды на параметры УЗКС использовалась физическая модель УЗКС в виде электрической эквивалентной схемы, представленной на рисунке 2.

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. R_d – добавочное сопротивление.

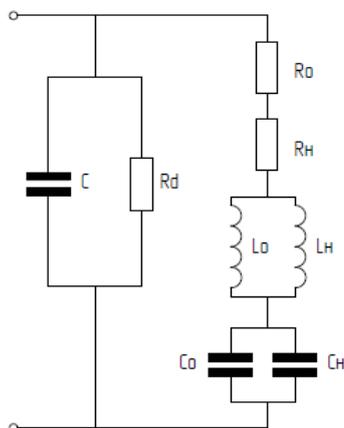


Рисунок 2 – Электрическая эквивалентная схема УЗКС

Сумму сопротивлений элементов R_0 и R_n обозначим как $R_{эkv}$.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Проведенные исследования позволили установить следующее:

1. Существует взаимосвязь между величиной сопротивления $R_{эkv}$ и степенью развитости кавитации, причем режиму развитой кавитации соответствует точка стабилизации активного сопротивления на уровне $\sim 1,6R_0$ (R_0 – активное сопротивление механической ветви при работе УЗКС в воздушной среде).

2. Физические свойства кавитирующей жидкой среды существенно влияют на параметры эквивалентной схемы УЗКС. Наибольшая корреляция обнаруживается между параметром R_n и вязкостью среды (коэффициент корреляции 0,78–0,97 для водных растворов сахарозы (0–40 %), хлорида натрия (0–25 %) и глицерина (0–25 %)).

Наиболее перспективным для целей контроля и автоматического регулирования кавитационного режима признан параметр $R_{эkv} = R_n + R_0$.

Типичный ход зависимости $R_{эkv}$ от возбуждающего напряжения УЗКС (обусловленной развитием кавитации) при работе в растворе сахарозы различной концентрации представлен на рисунке 3.

Для интеграции системы контроля режима кавитационного воздействия, а также исследования функциональных возможностей нового аппарата был использован ультразвуковой аппарат серии Волна 0,4/22 [5].

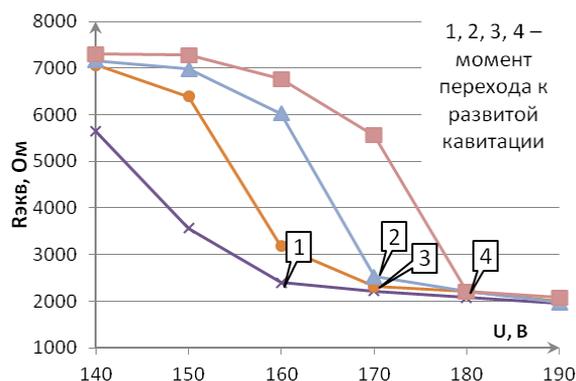


Рисунок 3 – Типичный ход зависимости активного сопротивления механической ветви УЗКС от возбуждающего напряжения

Поскольку установлено, что критерием реализации режима развитой кавитации является стабилизация $R_{эkv}$, существующий УЗ аппарат был снабжен дополнительными измерительными цепями, для контроля напряжения на колебательной системе. Структурная схема и внешний вид модернизированного аппарата представлены на рисунках 4 и 5.

Кроме того было разработано и интегрировано в контроллер УЗ генератора программное обеспечение, обеспечивающего контроль режима кавитационного воздействия.

Программное обеспечение реализует следующий алгоритм настройки на режим развитой кавитации:

- 1) снижается напряжения питания УЗКС;
- 2) осуществляется измерение текущего сопротивления $R_{эkv}$;
- 3) увеличивается напряжение питания УЗКС на величину dU ;
- 4) осуществляется измерение текущего сопротивления $R_{эkv}$;
- 5) выполняется расчет dR/dU ;
- 6) сравнивается dR/dU с уставкой N ;
- 7) если $dR/dU < N$, то стабилизируем напряжение питания УЗКС, если нет, то выполняются пункты 3–6.

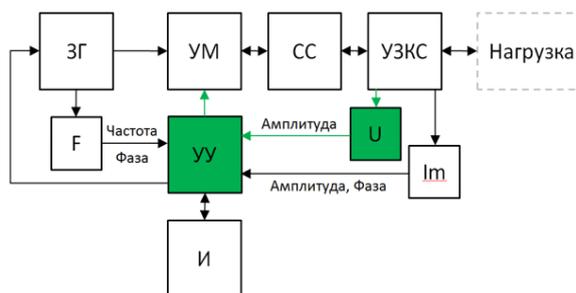


Рисунок 4 – Структурная схема модернизированного аппарата
ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2016

ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ РЕЖИМА КАВИТАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

На рисунках 4 и 5 приняты следующие обозначения: ЗГ – задающий генератор; УМ – усилитель мощности; СС – система согласования; УУ – устройство управления; И – индикация; U – канал измерения напряжения приложенного к УЗКС; I_m – канал измерения тока механической ветви; F – канал измерения частоты.

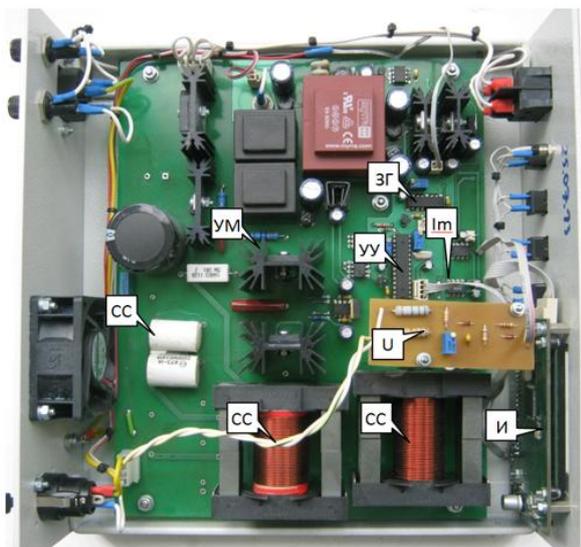


Рисунок 5 – Внешний вид модернизированного аппарата

Новое ПО ультразвукового генератора позволяет выполнить расчет напряжения питания УЗКС, величина которого выбирается из условия $dR/dU = N$, где N – уставка, величина которой выбирается из условия настройки на режим развитой кавитации.

Основная особенность оборудования – адаптивная настройка на режим развитой кавитации.

Для исследования функциональных возможностей созданного оборудования были проведены следующие эксперименты:

1) Измерение кавитационного шума, который является мерой активности кавитации при обработке растворов сахарозы различной концентрации (рисунок 6, 7).

Полученные зависимости свидетельствуют о том, что использование алгоритма со стабилизацией dR/dU позволяет обеспечить более стабильный уровень активности кавитации, что подтверждает правильность выбранного параметра.

2) Исследование КПД стандартного и модернизированного ультразвукового аппарата в процессе работы. Обрабатываемая среда – водный раствор сахарозы концентрацией 0–40 %, начальная температура раствора 20 °С (рисунок 8).

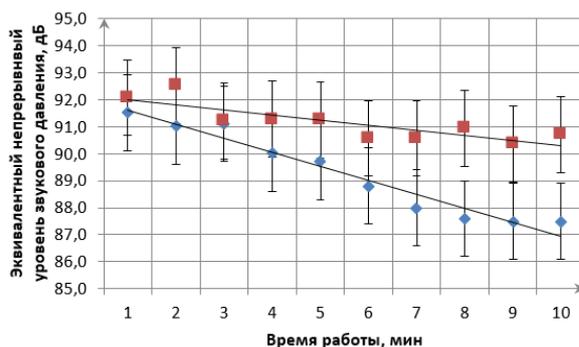


Рисунок 6 – Измерение кавитационного шума при обработке раствора сахарозы 20 % концентрации

Здесь и далее треугольные маркеры соответствуют стандартному аппарату, квадратные – модернизированному.

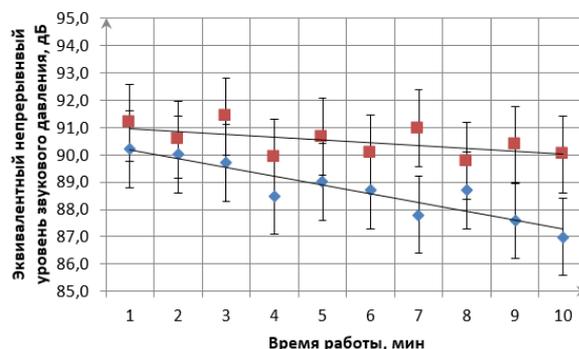


Рисунок 7 – Измерение кавитационного шума при обработке раствора сахарозы 25 % концентрации

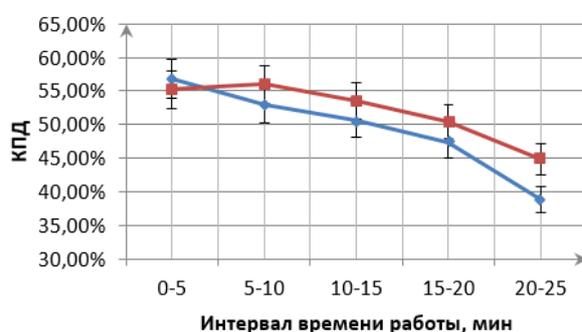


Рисунок 8 – Зависимость КПД стандартного и модернизированного ультразвукового аппарата от времени работы ультразвукового аппарата в водном растворе 30 % сахарозы

При работе модернизированного аппарата зафиксировано увеличение КПД до 8–9 %.

3) Сравнение времени растворения и энергии, затраченной при растворении сухого прессованного образца в водном растворе сахарозы с концентрацией 0–40 % интен-

фицируемого при помощи стандартного и модернизированного ультразвукового аппарата (рисунки 9, 10).

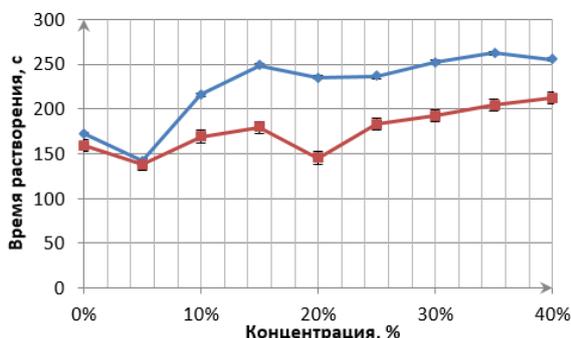


Рисунок 9 – График времени растворения сухого прессованного образца в водном растворе сахарозы концентрацией 0–40 %



Рисунок 10 – График энергии, затраченной для растворения сухого прессованного образца в водном растворе сахарозы концентрацией 0–40 %

При использовании модернизированного аппарата происходит увеличение скорости растворения сухого прессованного образца по сравнению со стандартным аппаратом при больших концентрациях водного раствора сахарозы. Также модернизированный аппарат характеризуется меньшей энергией, затраченной на растворение образца. Модернизированный аппарат обеспечивает стабилизацию режима развитой кавитации, что приводит к максимальной эффективности УЗ воздействия и ускорению растворения образца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интеграция в существующее УЗ оборудование системы контроля режима кавитаци-

онного воздействия, исследование функциональных возможностей модернизированного УЗ оборудования показали целесообразность ее применения. Разработанная система контроля позволит в автоматическом режиме настраиваться и поддерживать режим развитой кавитации при реализации физико-химических процессов, протекающих в жидких средах, а так же оптимизировать УЗ воздействие по мере изменения физических свойств обрабатываемых жидких сред.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сиротюк, М. Г. Акустическая кавитация / М. Г. Сиротюк. – М. : Наука, 2008. – 271 с.
2. Khmelev, V. N. Determination of the concentrations of water solutions during their cavitation processing / V. N. Khmelev, R. V. Barsukov, E. V. Ilchenko, D. V. Genne, N. S. Popova // 16th International Conference on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2015: Conference Proceedings. – Novosibirsk, NSTU, 2015. – P. 245–248.
3. Khmelev, V. N. Practical Investigations of the Method of Indirect Parameter Checkout of the Acoustic Load / V. N. Khmelev, R. V. Barsukov, D. V. Genne, E. V. Ilchenko, D. S. Abramenko, A. V. Shalunov // International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2011: Conference Proceedings. – Novosibirsk, NSTU, 2011. – P. 241–244.
4. Хмелев, В. Н. Контроль параметров кавитирующих жидких сред, подвергаемых ультразвуковому воздействию / В. Н. Хмелев, Р. В. Барсуков, Е. В. Ильченко, Д. В. Генне, Д. С. Абраменко // Ползуновский вестник. – 2012. – № 2/1. – С. 154–159.
5. Ультразвуковой технологический аппарат серии «Волна» [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.u-sonic.com/catalog/apparaty_dlya_uskoreniya_protsesov_v_zhidkikh_sredakh/ultrazvukovoy_tekhnologicheskij_apparat_serii_volna_v1/.

Хмелев В.Н., д.т.н., профессор, директор по научной работе, МИП ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», тел.: 8(3854) 43-25-70, e-mail: vnh@bti.secna.ru.

Барсуков Р.В., к.т.н., доцент, радиотехник, МИП ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», тел.: 8(3854) 43-25-70, e-mail: roman@bti.secna.ru.

Ильченко Е.В., инженер, МИП ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», тел.: 8(3854) 43-25-70, e-mail: iev@bti.secna.ru.

Генне Д.В., инженер, МИП ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», тел.: 8(3854) 43-25-70, e-mail: gdv@bti.secna.ru.