

УДК 534.838.4

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЗАГРЯЗНЁННЫХ ЖИДКИХ СРЕД

Н.Н. Бахур¹, А.А. Волчек¹, Д.А. Костюк², Ю.А. Кузавко³,
Н.Н. Шпендик¹

¹Отдел проблем Полесья НАНБ

Беларусь, Брест

²Брестский государственный технический университет

Беларусь, Брест

³Институт радиотехники и электроники РАН

РФ, Москва

Сильно загрязнённые различными отходами сточные воды (СВ) представляют серьёзную угрозу для окружающей среды. Оценка состава СВ необходима для их обезвреживания и утилизации. Принятые в настоящее время химические, рентгеновские, радиационные, СВЧ и оптико-спектроскопические методы анализа проб воды, выполняемые в лабораторных условиях, требуют значительных аппаратных, энергетических и временных затрат. Помимо СВ существует достаточно много других жидкостей, в процессе несоблюдения технологии производства и хранения которых возникает их загрязнение вредными для здоровья человека веществами, превышающими установленные стандартами предельно допустимые концентрации (ПДК).

По своим физико-химическим свойствам СВ в сравнении с природной водой и вышеупомянутые вещества с превышением ПДК содержат не только значительное количество растворённых в них органических и неорганических веществ, но и их нерастворённые коллоидные взвеси. Данное обстоятельство позволяет рассматривать СВ с точки зрения прозвучивания их ультразвуком, как диссипатив-

ные среды (ДС), т.е. вещества, в которых поглощением высокочастотных акустических волн пренебречь нельзя. Ранее было теоретически показано, что спектральные характеристики (амплитуда, длительность, частота и фаза) акустического импульсного сигнала, отражённого от границы твёрдотельного звукопровода с ДС, существенно зависят от состояния ДС [1].

Реальные жидкости являются не упругими, а вязкоупругими. Существующие в них релаксационные процессы, связанные с конечной скоростью нарушения и восстановления равновесия, феноменологическая теория рассматривает как проявление вязкости среды. Поглощение звука имеет аномальный характер вблизи частот релаксации τ . Разным растворённым в жидкости примесям, а также коллоидным взвесям присущи свои собственные частоты релаксации, лежащие в высокочастотном $1\text{--}1000$ МГц ультразвуковом диапазоне. Фиксируя амплитуды отражённого акустического сигнала на указанных частотах, можно говорить о процентном составе примесей и взвесей. При этом необходимо различать вышеуказанные релаксационные частоты от собственных молекулярных релаксационных частот чистых жидкостей.

Существуют два подхода к исследованию жидкостей — Ньютона и Максвелла [2]. Моделью ньютоновской жидкости (НЖ) удовлетворительно описываются поперечные и продольные волны в твёрдых телах и продольные в жидкостях. Для описания поперечных волн в жидкости необходимо привлечение модели максвелловской жидкости (МЖ). Обобщенный закон Гука для НЖ и МЖ соответственно имеет вид $\sigma = c \cdot \varepsilon + \eta \cdot \dot{\varepsilon}$ и $\sigma + \tau \cdot \dot{\sigma} = \eta \cdot \dot{\varepsilon}$, где σ — вязкоупругое напряжение, c — модуль упругости, η — вязкость, ε — относительная деформация среды. В обоих случаях комплексные модули упругости описываются соответственно выражениями

$$C_N = C - j \cdot \omega \cdot \eta$$

$$\text{и } C_M = (\omega^2 \cdot \tau \cdot \eta - i \cdot \omega \cdot \eta) / (1 + \omega^2 \cdot \tau^2)$$

Откуда следует, что на достаточно высоких частотах сдвиговые колебания распространяются в вязкой жидкости, как в упругом твёрдом теле. При наличии нескольких механизмов релаксации последнее выражение обобщается в виде их суммы. Из приведенных данных видно, что поперечные колебания являются наиболее чувствительными к присутствию в жидкости примесей и взвесей и позволяют их иденти-

фицировать. В то время, как по продольным колебаниям можно судить только о суммарном количестве инородных веществ в жидкости. Анализируя типичные органические и неорганические примеси и коллоидные взвеси в СВ, приходим к выводу, что оптимальной резонансной частотой ультразвукового пьезокерамического преобразователя будет около 100 МГц и желательно с полосой частот 100 %. Такие преобразователи нами отработаны и изготовлялись для целей медицинской эхотомоскопии и акустической визуальности твёрдотельных изделий [3]. Предварительные исследования позволили различать присутствие в воде нефтяных продуктов, щелочей, кислот и коллоидных взвесей песка, почвы и торфа.

Таким образом, имеется возможность достаточно простым в реализации средством ультразвуковой спектроскопии измерять процентное содержание переносимых водой в канализационной трубе коллоидных взвесей, а также растворённых в ней примесей. Методами обратной задачи путём численного компьютерного эксперимента по величинам излучаемого и принимаемого сигналов можно оценить процентный состав отдельных зловонных и ядовитых компонентов СВ. При этом используются полученные в лабораторных условиях корреляционные зависимости спектральных характеристик сигнала от процентного и химического состава включений в воду. Предлагаемый способ, не смотря на его функциональные ограничения, является быстрым, выполнимым в натурных условиях, так как вышеуказанное программное обеспечение может быть легко перенесено в процессор автономного переносного прибора. Прибор для этих целей будет состоять из следующих блоков: ультразвукового пьезокристаллического преобразователя с твёрдокристаллическим звуководом, блока питания 6В от обычных батареек, генератора возбуждения, блока усиления и предварительной обработки принятых сигналов, процессора с требуемой градуировочной кривой и встроенной памятью ЖК - индикатора, порта ввода/вывода на персональный компьютер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костюк Д. А., Кузавко Ю. А. Особенности отражения акустических продольных волн от границы с диссипативной средой // «Веснік Брэсцкага ўніверсітэта», №4, 2000. с. 56–69
2. Баранский К.Н. Физическая акустика кристаллов. М.: Изд-во МГУ, 1991. 143 с.

3. V.Golovko, Y.Kuzavko, H.Roth. Ultrasound controlled piezoceramical transducers for medical diagnostic tomography. // Proceedings of Workshop on Design methodologies for signal processing. Zakopane. Poland, 1996