

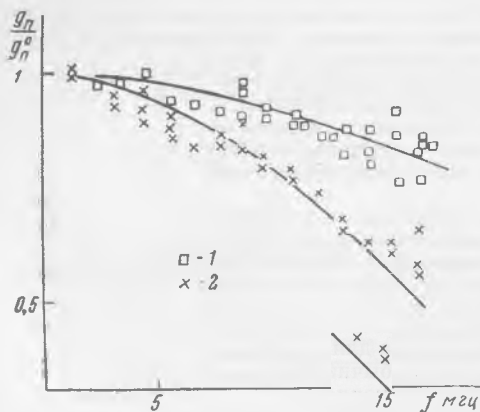
Академия наук СССР
Акустический журнал
Том VI, 1960 г. Вып. 4

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ПИЛООБРАЗНЫЕ ВОЛНЫ В ЭЛЕКТРОЛИТАХ

Е. В. Романенко

Распространение пилообразных волн в электролитах имеет ряд особенностей, некоторые из которых описаны в работе [1]. Релаксационное поглощение и дисперсия приводят к тому, что распространение искаженных волн конечной амплитуды в растворе сопровождается специфическими изменениями спектрального состава волны и фазовых соотношений между гармоническими составляющими. При этом спектральный



Фиг. 1

состав волны в большой степени зависит от соотношения основной частоты волны и частоты релаксации раствора. Экспериментальному изучению этой зависимости и посвящена настоящая работа. В качестве исследуемых жидкостей использовались растворы солей MnSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и CoSO_4 , характеризующиеся релаксацией диссоциации.

Блок-схема установки, использованной для измерений, аналогична описанной в работе [1]. Методика измерений спектрального состава пилообразной волны, распространяющейся в растворе, состоит в следующем. Ванна заполняется вначале водопроводной водой, в которую излучаются интенсивные импульсы звука длительностью около 100 мксек и чистой повторения 50 гц. Акустическая волна пилообразной формы, образовавшаяся в результате нелинейного искажения звуковой волны большой амплитуды и принятая миниатюрным приемником [2], анализируется с помощью гармонического анализатора, усиливается и подается на осциллограф, на экране которого отмечаются в делениях шкалы экрана величины гармонических составляющих волны. Затем вода в ванне заменяется раствором при неизменных условиях эксперимента (положение аттенуаторов анализатора и усилителя, амплитуда звукового давления у поверхности излучателя и пр.) и вновь на экране осциллографа отмечаются гармонические составляющие волны. Отношение величин гармоник волны, распространяющейся в растворе, к величинам соответствующих гармоник волны, распространяющейся в воде, характеризует изменение спектрального состава волны при замене воды раствором. Это отношение не зависит от частотных характеристик приемника, анализатора и усилителя и при известном спектральном составе волны в воде однозначно определяет спектральный состав волны в растворе.

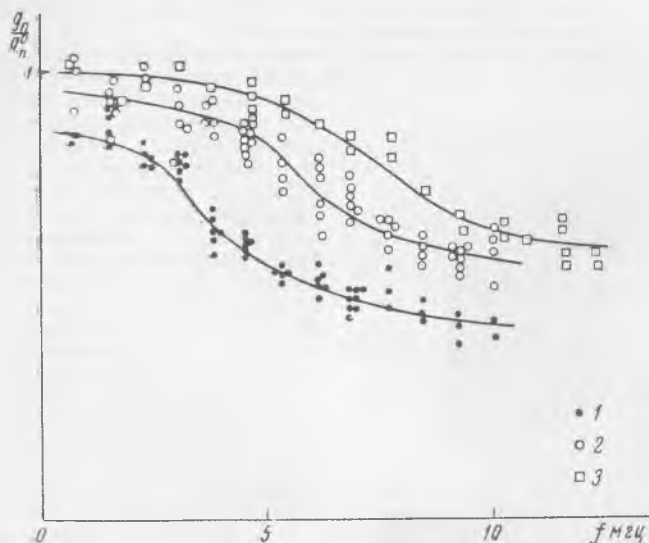
Результаты измерений, проведенных описанным способом, показывают, что спектральный состав пилообразных волн, распространяющихся в растворах электролитов, беднее спектрального состава волн такой же амплитуды, распространяющихся в воде. При этом необходимо различать два случая: 1) частота релаксации раствора очень сильно (на порядок и более) отличается от основной частоты волны и не входит в исследуемый диапазон частот гармонических составляющих, 2) частота релаксации менее чем на порядок отличается от основной частоты волны и входит в рабочий диапазон частот. В первом случае отношение амплитуд гармонических составляющих пилообразной волны в растворе к соответствующим величинам в воде прогрессивно уменьшается с ростом номера гармоники. Во втором случае характерным является замедление спада указанного отношения для номеров гармоник, частоты которых лежат выше частоты релаксации раствора.

Сказанное выше иллюстрируется графиками на фиг. 1 и 2. На фиг. 1 представлены результаты измерения величины g_n/g_n^0 , где $g_n = (P_n/P_1)_{\text{раств.}}$, $g_n^0 = (P_n/P_1)_{\text{вода}}$. Здесь P_1 — амплитуда первой гармоники, P_n — амплитуда гармоники номера n . В качестве исследуемого раствора использовался раствор соли $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ при концентрации $C = 0,1$ моль/л (1) и $C = 0,5$ моль/л (2). Основная частота волны 1,1 мГц, частота релаксации 20 мГц, амплитуда давления в волне в точке измерения 3,9 атм.

Сплошные кривые рассчитаны по формуле

$$\frac{g_n}{g_n^0} = \frac{\sin n\delta}{\sin \delta} \cdot \frac{\sin \delta^0}{\sin n\delta^0}, \quad (1)$$

где $\delta = 2/(K+1) \text{ Re}$, $\delta^0 = 2/(K+1) \text{ Re}^0$, $\text{Re} = P_0/b\omega$, $\text{Re}^0 = P_0/b^0\omega$, $K \approx 65$, ω — круговая частота, b^0 — вязкость воды, b — вязкость раствора, P_0 — амплитуда пилообразной волны. Вязкость раствора b была определена из измерения поглощения звука малой амплитуды в растворе и оказалась равной 0,166 при $C = 0,1$ моль/л и 0,257 при $C = 0,5$ моль/л и постоянной в рабочем диапазоне частот (до 13–14 мГц) с точностью 20%. Формула (1) получена с помощью выражений (1) и (3) из работы [3]. Выражение (1) в работе [3] определяет ширину фронта пилообразных волн и имеет вид $\kappa = 2\lambda/\pi (K+1) \text{ Re}$. Удовлетворительное согласие рассчитанных и измеренных значений g_n/g_n^0 свидетельствует о том, что выражение, определяющее ширину фронта пилообразных волн, выполняется с точностью до постоянного коэффициента порядка единицы.



Фиг. 2

В нашем случае ширина фронта пилообразной волны в воде составляет около 0,008 мм, в растворе $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ при $C = 0,1$ моль/л около 0,035 и при $C = 0,5$ моль/л около 0,055 мм. Если частота релаксации раствора находится в пределах исследуемого диапазона частот, вязкость раствора сильно зависит от частоты и формула (1) не может быть использована.

На фиг. 2 приведены результаты измерения спектрального состава пилообразной волны в растворе соли MnSO_4 при $C = 0,5$ моль/л при температурах 21° (1), 42° (2) и 55° (3). Основная частота волны 0,775 мГц, частота релаксации около 3,3 мГц при температуре 21°, амплитуда давления в точке измерения около 10 атм. Сплошными линиями проведены усредняющие кривые. Замедление спада амплитуд гармоник, частоты которых лежат выше частоты релаксации, можно объяснить тем, что вязкость раствора и, следовательно, поглощение высокочастотных гармоник уменьшается при частотах выше частоты релаксации. Следует отметить, что экспериментальные результаты на графике фиг. 2 при разных температурах согласуются с температурной зависимостью частот релаксации раствора.

Аналогичные результаты были получены при исследовании спектрального состава пилообразных волн в растворе соли CoSO_4 , частота релаксации которой около 500 кГц при температуре 20°.

Выражаю благодарность Н. Н. Андрееву, А. Л. Поляковой, Л. К. Зарембо за ценные советы и А. С. Гольневу и Е. В. Комкову за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. В. Романенко. Искажение формы волны конечной амплитуды при распространении в релаксирующей среде. Акуст. ж., 1960, 6, 3, 374–380.
2. Е. В. Романенко. Миниатюрные пьезоэлектрические приемники ультразвука. Акуст. ж., 1957, 3, 4, 342–347.
3. Л. К. Зарембо. Об одном методе определения фронта акустической волны, близкой к пилообразной. Акуст. ж., 1960, 6, 1, 43–46.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступило в редакцию
12 сентября 1960 г.