

**Г О Р Н О Е Д Е Л О**

УДК 662.02: [531.72 + 544.33]

*Г.Ж. МОЛДАБАЕВА*

**ПАРАМЕТРЫ ОТКЛИКА  
ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКЕ ФЛЮИДОВ**

*(Представлена академиком НАН РК Е.И.Роговым)*

При ультразвуковой обработке жидких компонентов горных пород интенсивность ультразвукового воздействия (УВ) неодинакова в пределах объема ультразвуковой ванны. Имеет место зависимость абсолютных значений амплитуды отклика жидкости на УВ - воздействие в области низких частот, в присутствии некоторых катализитически – активных веществ и структурированных образцов, абсолютная величина отклика и форма сигнала зависят от вида катализитически-активного вещества и особенностей его структуры.

Понятие флюида дает представление о всех формах жидкофазных композиций присутствующих в поверхностных слоях земной коры. Вода является основным компонентом всех разновидностей флюидов. Все горные породы, слагающие земную кору, включают воду в той или иной степени связанную с ними. Природные воды, расположенные на поверхности Земли (поверхностные воды) и воды, находящиеся в Земной коре – подземные представляют собой единую систему. В этой связи, изучение свойств флюидов позволит получить в перспективе дополнительную информацию о геологическом строении недр.

При проведении экспериментальных работ учитывались особенности поведения каждого уровня единой флюидосодержащей системы. Измерение параметров отклика компонентов горных пород и катализитически активных веществ на внешнее электростатическое или переменное электромеханическое воздействие производится на анализаторе спектра СК4-56, который позво-

ляет измерять амплитудно-частотные параметры в диапазоне частот от 50 Гц до 50 кГц. Пределы чувствительности этого прибора позволяют измерять амплитуду откликов в пределах от 0,1 до 80 мВ.

Для проведения работ с жидкими веществами изготовлены стеклянные кюветы с разной геометрией рабочего пространства: d 5 мм, d 10 мм, d 20 мм.

Для разделения фракционного состава дисперсных минералов используются сите с диаметром отверстий от 40 мкм до 1 мм.

Работы по отработке режимов согласования внешнего воздействия с внутренним откликом изучаемой среды на первом этапе исследования проводили с помощью ультразвуковой ванны ДА-ЗА с рабочей частотой 40,8 кГц. Изучение параметров отклика материалы исследования осуществляли с помощью чистых металлов, кристаллических минералов, структурированных металлов (сетки) и диспергированных минералов.

Таблица 1. Амплитудные значения отклика жидкой среды на основной частоте в разных точках замера

№ точки замера	Показания анализатора спектра СК4-56, мВ	
	вода водопроводной минерализации	нефть Кумкольского месторождения
1	42	>40
2	20-30	30-40
3	20-30	<40
4	32	35
5	40	35
6	40	32
7	40	38
8	42	32
9	40	34
10	42	36
11	42	32

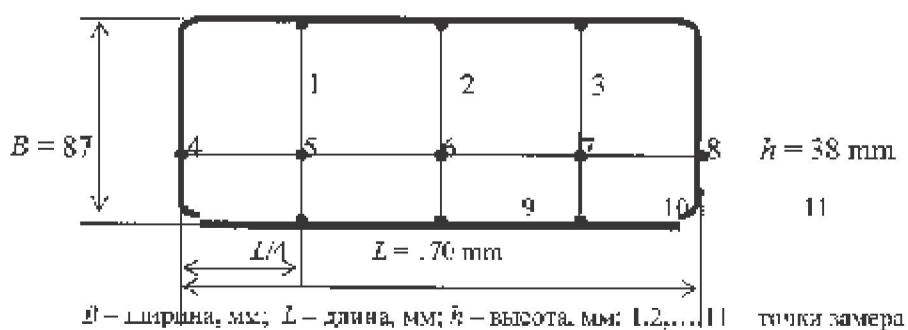


Рис. 1. Схема расположения точек замера для определения амплитуды отклика на основной частоте механического воздействия

В таблице 1 представлены результаты замеров амплитуды в различных точках ультразвуковой ванны, заполненной нефтью или водой.

Как видно из таблицы 1 интенсивность процесса ультразвуковой обработки неодинакова в пределах объема ванны. Так для воды водопроводной минерализации амплитудные значения отклика одинаковы вблизи места крепления пьезоэлемента (точки 5, 6, 7) рис. 1, а в узлах и пучностях стоячей волны существенно отличаются – максимальный разброс амплитуды составляет  $\sim 50\%$ .

В ванне, заполненной нефтью, картина распределения интенсивности отклика на рабочей частоте ванны имеет другой вид: значения интенсивности ультразвукового воздействия максимальны вблизи одного из бортов ванны (точки 1, 2, 3), вблизи пьезоэлемента (точки 5, 6), а в местах закругления ванны (точки 8, 11) значения отклика минимальны. Максимальный разброс показаний составляет  $\sim 20\%$ .

Отсюда следует вывод о зависимости интенсивности воздействия от свойств изучаемого материала и формы среды распространения действующего сигнала. Поэтому следующий этап исследования предусматривает изучение влияния чистых металлов, расположенных поперек линии действия механического воздействия, на изменение частоты отклика.

Так, медные пластины в обрабатываемой воде изменяют рабочую частоту воздействия от  $40,8 \text{ кГц}$  до  $36,7 \text{ кГц}$ , причем амплитуда отклика максимальна по сравнению с исходными замерами и одинакова во всем этом диапазоне. Кроме того, появляется дополнительные отклики на частотах  $25$  и  $17 \text{ кГц}$ , амплитудные значения которых в 2-3 раза меньше, чем амплитуда рабо-

чей (основной) частоты. Здесь же выявляется ряд дополнительных гармоник, амплитуда которых в 8 – 10 раз меньше основного воздействия. Изменение формы медного образца (гребенка правильной формы со скважиностью  $2 \text{ мм}$ ) приводит к появлению автоволновых колебаний в этом же диапазоне частот с периодом  $\phi > 5 \text{ с}$ .

При замерах в этих же условиях металлический кобальт расширяет полосу рабочей частоты от  $40,8$  до  $35 \text{ кГц}$ , где амплитуда отклика однаакова для всего диапазона. На частотах  $25 \text{ кГц}$  и  $17 - 18 \text{ кГц}$  возникают всплески, амплитуда которых в 3-4 раза меньше основной. Во всем спектре наблюдается ряд гармонических составляющих, величина которых в 10 - 12 раз меньше основного сигнала. Кроме того, отмечается появление низкочастотной составляющей в спектре, абсолютная величина которой  $< 2,0 \text{ кГц}$ .

Появление отклика в области низких частот характерно для реакций, протекающих на границе раздела фаз «жидкость-газ» при ультразвуковой обработке. Поэтому нами выполнены замеры параметров отклика в низкочастотном диапазоне для веществ в металлическом состоянии (пары Cr-Mg, Al-Al размещенные поперек линии ультразвуковые волны) и в ионизированном состоянии - 1% раствор марганцевокислого калия.

В области частот от  $50 \text{ Гц}$  до  $2000 \text{ Гц}$  величина отклика может существенно изменяться на всей исследуемой шкале частот, при этом наибольшие значения амплитуды наблюдаются вблизи самых низких частот. Совокупность полученных данных свидетельствует о том, что величина отклика и, соответственно, интенсивность внешнего воздействия существенно зависят от вида материала и формы среды распространения.

Благодаря более высоким частотам и, следовательно, малым длинам волн, имеет место ряд особенностей взаимодействия ультразвуковых волн с веществом. Ввиду малой длины волны ультразвука (в воде –  $1,5 \cdot 10^{-2} \div 1,5 \cdot 10^{-4}$  см) характер его распространения определяется в первую очередь, молекулярной структурой среды, поэтому, измеряя частоту и амплитуду параметров отклика изучаемой жидкости можно судить о реакции молекул на внешнее воздействие. Жидкости и твердые тела, как известно, представляют собой хорошие проводники ультразвука, а в воздухе и в газах используют звуковые колебания низких частот. В нашем случае анализатор спектра позволяет отследить особенности поведения обеих фаз на границе раздела «вода-воздух». Другая особенность ультразвука – это возможность получения большой интенсивности даже при сравнительно небольших амплитудах колебаний, т.к. при данной амплитуде плотность потока энергии пропорциональна квадрату частоты. Известно, что ультразвуковые волны большой интенсивности сопровождаются рядом нелинейных эффектов. Так, для интенсивных плоских ультразвуковых волн при малом поглощении среды (жидкости, твердые тела) синусоидальная волна излучателя превращается по мере ее распространения в слабую периодическую ударную волну «прямоугольной формы»; поглощение таких волн значительно больше, чем волн малой амплитуды. Кроме того, распространению ультразвуковых волн в газах и жидкостях сопутствует движение среды, так называемое акустическое течение, скорость которого зависит от вязкости среды, интенсивности ультразвука и его частоты.

К числу важных нелинейных явлений, возникающих при распространении интенсивного ультразвука в жидкостях, относится акустическая кавитация. Интенсивность, соответствующая порогу кавитации, зависит от рода жидкости и степени ее чистоты, частоты звука, температуры и других факторов. В водопроводной воде, содержащей пузырьки воздуха, на частоте 20 кГц она составляет доли  $Bm/cm^2$ . На высоких частотах в ультразвуковом поле с интенсивностью несколько  $Bm/cm^2$  возникает фонтанирование жидкости и распыление ее с образованием тонкодисперсного тумана.

Предельная интенсивность излучения ультразвука определяется прочностными и нелиней-

ными свойствами материала излучателей, а также особенностями использования излучателей. Для достижения больших интенсивностей, которые могут быть получены с поверхности излучателя, пользуются фокусировкой ультразвука. Например, в фокусе параболоида, внутренние стенки которого выполнены из мозаики кварцевых пластинок или из пьезокерамики, на частоте 0,5 МГц удается получить в воде интенсивности ультразвука большие, чем  $10^5 Bm/cm^2$ . Для увеличения амплитуды колебаний часто пользуются стержневыми концентраторами.

Таким образом, приведенная информация свидетельствует о том, что для данного этапа изучения отклика на УЗ-воздействие необходимо проводить исследование поведения жидкости как в низкочастотном (информация о газовых включениях), так и высокочастотном диапазоне (информация о молекулярной реакции на воздействие).

Кроме того, необходимо знать акустическую активность материалов, имеющих различное изменения свойств в ходе УЗ-отработки т.к. акустический концентратор создает непосредственно сходящейся волновой фронт; пассивная линза или зеркало изменяет акустическую длину пути таким образом, что преобразует плоский или расходящийся фронт в сходящийся. В качестве концентраторов используется сферы, линзы, трубы, зональные диски и т.п.

Чтобы получить представление о механизме взаимодействия материалов различного химического состава и формы в ультразвуковую ванну с водой помещали выбранные вещества поперек направления УЗ-волны в области расположения излучателя. Высота водного слоя ванны – 30 мм. Измерительный щуп анализатора спектра СК4-56 помещали в центральную часть исследуемого вещества.

В таблице 2 приведены результаты замеров параметров отклика разнородных материалов на ультразвуковое воздействие в водной среде при собственной частоте излучения 40,8 кГц. Представленные в таблице результаты замеров свидетельствуют о том, что реакции отклика неодинаковы для каждого вида выбранных материалов: имеет значение не только форма концентратора, но и структурные особенности изучаемого вещества.

Так размещение мелкой сетки из железной проволоки над УЗ - потоком приводит к появлению

Таблица 2. Результаты замеров параметров отклика различных материалов на ультразвуковое воздействия (на частоте 40,8 кГц-ванны ДА-ЗА)

Изучаемый материал	Отклик на основной частоте, мВ	Отклик на других частотах, кГц/мВ	Форма сигнала
Железная сетка (0,64 мм)	200-450	25/100; 17-18/100	Автоколебания низкочастотные
Al-гофрированный	350	24,5/150; 17,6/100; 36/100; 3/60-100	
Нихром-спираль	200-460	-	Автоволновые колебания, высокочаст. области - пятно амплитудное
Концентратор сферический с железными иглами	400	25/100; 17/100	Пилообразный в пределах 36,6-40,7 кГц
Концентратор линейный	430	25/120; 17/120	По всей шкале полоса ~60 мВ
Сетка ПАН	420	25/120; 17/120	-
Асбест	420	39,5/350; 38,6/350; 25,7/120; 8,7/80	Триплет вблизи основной частоты
Дерево (поперечный срез)	420	25/120; 17,3/100; 8-9/70	Много всплесков с амплитудой 30 мВ, пила 35,6-40,8 кГц
Кварц- морион	420	25/120; 17-18/100 3,5/80	По всей шкале полоса > 80 мВ пила -35-41 кГц
Кобальт-пластинка	420	25/120; 17-18/100	Появление низко частотного звука (свист), много всплесков > 50 мВ
Медь-пластинка	420	25/100; 17/60 мВ	Пила 36,7-41 кГц много гармоник до 25 кГц > 50 мВ
Висмут	450	-	Пила 35-41 кГц
Цинк гранулир.	450	При смещении гранул в сторону от центра излучателя 41,3/800 мВ	-

нию низко частотных колебаний в виде автоволновой реакции, а также появляются значительные (1/3 от амплитуды исходного сигнала) всплески на частотах 25 и 17-18 кГц. Поведение среды с никромовым кольцом из спиральной проволоки подобно предыдущему концентратору, но промежуточные гармоники отсутствуют. Наибольшее количество промежуточных откликов имеют гофрированный алюминий (36, 24,5; 17,6; 3 кГц) и асбест (39,5; 38,6; 25,7; 8,7 кГц), но для асбеста видны характерные смещения отклика в область высоких частот.

Сложная структура поперечного среза дерева (сосна) обуславливает усиление УЗ-реакции по всей шкале анализатора спектра, амплитуда которой составляет 8-10% от амплитуды исходного сигнала, кроме того, вблизи основной час-

тоты появляется пилообразное изменение формы сигнала отклика в диапазоне частот 35,6-40,8 кГц. Подобным образом действует на озвучивающую среду разновидность кварца - морион, но с большим (2,5 раза) усилением сигнала реакции по всей шкале и большим диапазоном пилообразного отклика вблизи основной частоты (35-41 кГц). Чистые металлы  $Co$ ,  $Cu$ ,  $Bi$ ,  $Zn$  - также имеют свои особенности в распределении отклика на УЗ - воздействие на частотной шкале анализатора спектра.

Отсюда следует, что в зависимости от задач направленного изменения свойств обрабатываемой среды можно использовать каждый материал и форму концентратора по своему назначению.

Таким образом, при ультразвуковой обработке жидких компонентов горных пород интенсив-

ность УЗ - воздействия неодинакова в пределах объема ультразвуковой ванны. Для воды водопроводной минерализации амплитудные значения отклика одинаковы вблизи места крепления пьезопреобразователя, а в узлах и пучностях стоячей волны существенно отличаются - максимальный разброс амплитуды составляет ~ 50%. В ванне, заполненной нефтью, картина распределения интенсивности излучения на основной частоте имеет другой вид: УЗ - воздействие максимально вблизи одного из бортов ванны, остальные значения отклика меньше, разброс показателей ~ 20%.

Имеет место зависимость абсолютных значений амплитуды отклика жидкости на УВ - воздействие в области низких частот.

Кроме того, при УЗ - обработке воды и ее растворов в присутствии некоторых каталитически – активных веществ (*Fe, Al, Cu, Bi, Zn, никром*) и структурированных образцов (древесина, асbestos, сетки и др.), абсолютная величина отклика и форма сигнала зависят от вида каталитически-активного вещества и особенностей его

структуры. Следовательно, по поведению образцов флюидов из недр можно будет судить о наличии тех или иных полезных ископаемых.

### Резюме

Ультрадыбыс ваннасының қолемінде тау жынысының сүйік компоненттерін ультрадыбыспен өндөу бағысында ультрадыбыстық әсер ету қарқыны біркелкі емес. Сүйік жаңғырығының тербеліс шегінің абсолюттік мәндерінің тәуелсіздігі орын алады – ультрадыбыска. Тәменгі жиіліктің аймағындағы әсері, кейір каталитикалық белсенді заттың қатысуында белгінің формасы мен жаңғырықтың абсолюттік мөлшері каталитикалық белсенді заттың құрылым ерекшелігіне тәуелді.

### Summary

At the ultrasonic treatment of liquid components of rocks, the intensity of ultrasonic impact (UI) is not the same in the limits of the volume of ultrasonic. There is a dependence of absolute values of response amplitude of liquid to UI – impact of the low frequency range in the presence of some catalytically active substances and structured samples, the absolute value of response and the form of signal depend on the kind of catalytically active substance and particularities of its structure.

Институт Горного дела имени Д.А. Кунаева,  
г. Алматы  
Поступила 26.03.09 г.