АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XXIX 1983 Вып. 2

УДК 534.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ ЗВУКА В ВОДОСОДЕРЖАЩИХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЯХ

Берденников А. И., Манучаров Ю. С., Михайлов И. Г.

Проведено исследование объемной вязкости в водоглицериновой гидравлической жидкости и в веретенном масле в диапазоне частот 50 кГц—100 МГц. Величина объемной вязкости на низких ультразвуковых частотах коррелирует со свойствами смазочных жидкостей гасить упругие колебания в механизмах. Повышенное значение вязкости в гидравлической жидкости обусловлено присутствием антикоррозийных присадок.

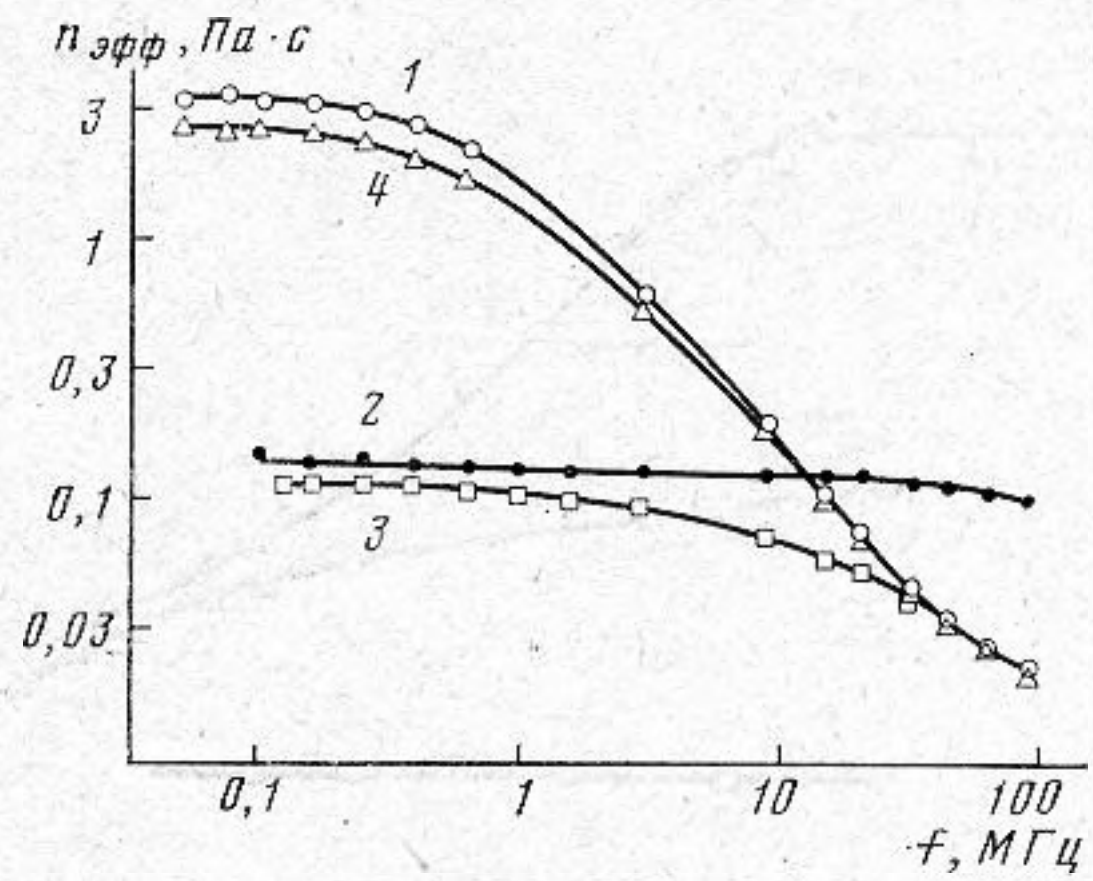
Известно, что в системах гидравлики и смазки применяются различные минеральные масла. Однако в ряде случаев требуется использовать пожаробезопасные гидравлические и смазочные жидкости. В качестве таких жидкостей обычно применяются водосодержащие смеси типа «промгидрол» и «ПГВ» [1], причем сдвиговая вязкость этих смесей подбирается равной вязкости заменяемых минеральных масел. В то же время при исследовании эксплуатационных характеристик этих жидкостей было установлено, что износостойкость узлов трения при их использовании выше, чем в случае минеральных масел [2]. Износостойкость узлов трения существенно зависит от способности смазочных жидкостей поглощать энергию упругих колебаний [3]. В связи с этим одним из авторов данной статьи высказано предположение, что диссипативные свойства смазочных жидкостей определяются их объемной вязкостью [4], которая в отличие от сдвиговой до настоящего времени не учитывалась в гидродинамике смазки (см., например, [5]). Единственным методом определения объемной вязкости является измерение коэффициента поглощения продольных звуковых волн в жидкостях. При этом наибольший интерес представляют измерения на низких ультразвуковых частотах, близких к частотам, которыми характеризуется работа реальных механизмов.

В качестве объектов исследования выбраны веретенное масло АУ, обычно применяемое в системах гидравлики, и заменяющая его пожаробезопасная гидравлическая жидкость (ПГВ), которая состоит из основы (35% глицерина, 35% воды, 30% полиэтиленгликоля-35 с молекулярным весом 5000) и комплекса присадок в количестве около 10 [1]. Измерения коэффициента поглощения акустических колебаний производились на двух установках: в диапазоне частот 50 кГц — 1 МГц методом статистической реверберации [6], в диапазоне 2—100 МГц стандартным импульсным методом переменного расстояния. Скорость звука измерялась акустическим интерферометром.

На фиг. 1 представлены результаты измерений в виде частотной зависимости эффективной динамической вязкости $\eta_{эфф}$, определяемой из коэффициента поглощения звука α по следующей формуле: $\eta_{эфф}={}^4/_3\eta_s+\eta_V=3\rho c^3\alpha/8\pi^2 f^2$, где ρ — плотность жидкости, c — скорость звука, f — частота, η_s и η_V — сдвиговая и объемная вязкости соответственно. Из сравнения графиков для жидкости ПГВ (кривая *1*) и веретенного масла (кривая *2*) следует, что в ПГВ на частотах ниже 10 МГц существует релаксационный процесс, приводящий к тому, что поглощение звука на низких ультразвуковых частотах в ней значительно больше, чем в веретенном масле (и в других гидравлических жидкостях на нефтяной основе). Этот процесс дает вклад только в объемную вязкость, так как сдвиговые вязкости обеих жидкостей одинаковы (0,5 Па·с при 25° С). Таким образом, под-

тверждается предположение о том, что диссипативные свойства жидкостей существенным образом определяются объемной вязкостью [4].

В связи с этим является необходимым выяснить природу релаксационного процесса в жидкости ПГВ, так как это дает возможность прогнозировать и регулировать свойства подобных синтетических гидравлических жидкостей. Для этого вначале были произведены измерения поглощения звука в основе ПГВ без присадок (фиг. 1, кривая *3*). На частотах ниже 10 МГц эффективная вязкость в основе ПГВ не релаксирует (релаксация



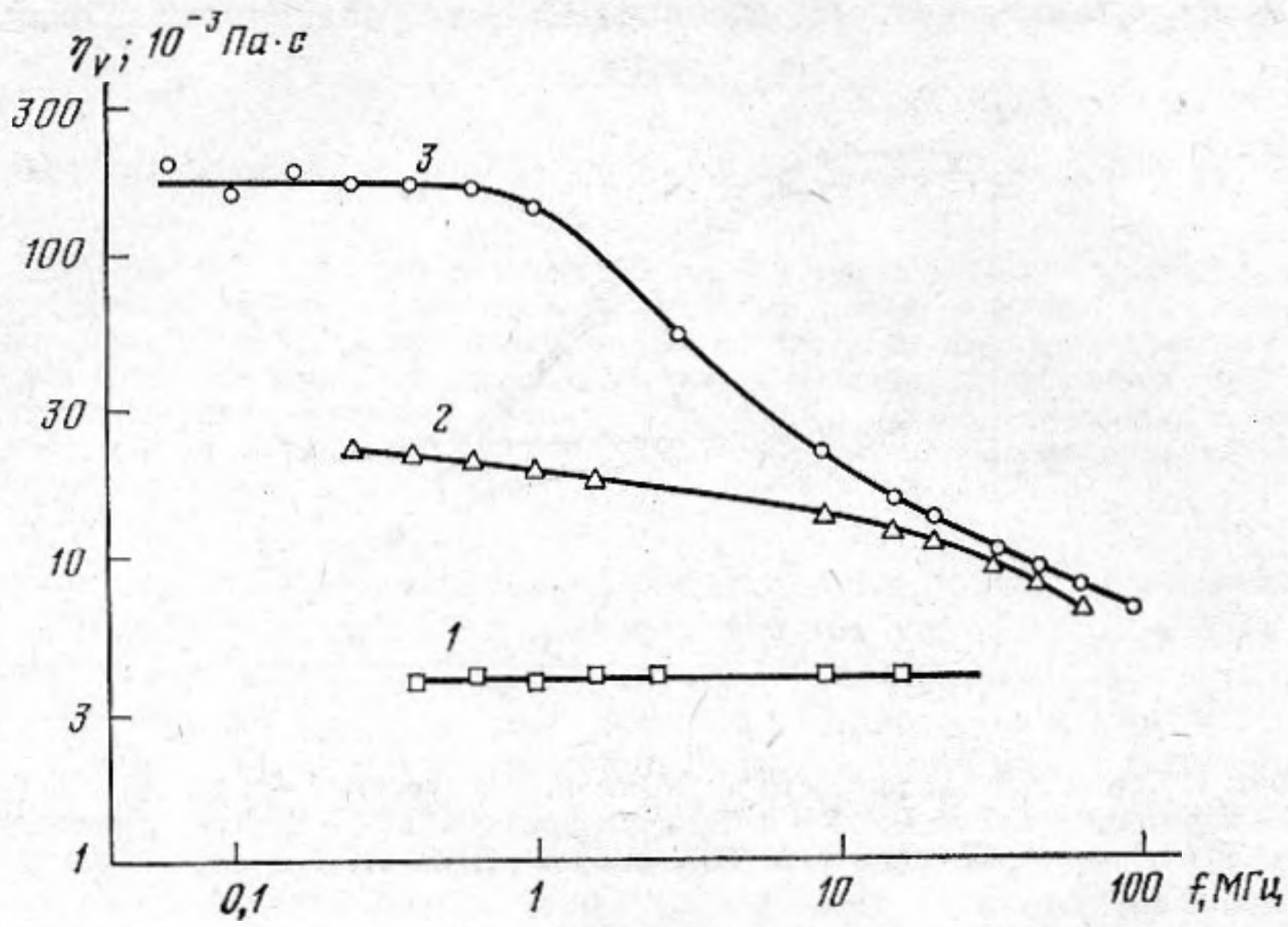
Фиг. 1. Частотные зависимости эффективной вязкости. *1* – жидкость ПГВ, *2* – веретенное масло АУ, *3* – основа жидкости ПГВ, *4* – раствор присадок БТА (1,5%) и ТЭА (4%) в основе ПГВ

на более высоких частотах, характеризующаяся широким спектром времен, вероятно, как и в спиртоводных растворах, обусловлена флуктуациями концентрации [7]). Отсюда следует, что низкочастотный релаксационный процесс в ПГВ целиком обусловлен влиянием присадок. Путем перебора присадок выяснено, что наблюдаемое поглощение звука можно объяснить действием двух антикоррозионных присадок — бензотриазола (БТА) и триэтаноламина (ТЭА), что иллюстрируется графиком на фиг. 1 (кривая *4*), где приведены результаты измерений в системе: основа ПГВ+1,5% БТА+4% ТЭА. Необходимо подчеркнуть, что эффект резкого увеличения поглощения наблюдается только при совместном присутствии этих присадок. Это обстоятельство особенно четко проявляется при переходе от сложной для анализа многокомпонентной системы к более простой трехкомпонентной — вода+БТА+ТЭА с теми же концентрациями присадок, что и в ПГВ. Из графика, приведенного на фиг. 2, следует, что добавление к воде 1,5% БТА (кривая *1*) почти не меняет объемной вязкости. В водном 4%-ном растворе ТЭА (кривая *2*) наблюдается релаксационный процесс, но связанное с ним поглощение звука невелико, кроме того, этот процесс характеризуется широким спектром и, по-видимому, как и в основе ПГВ, обусловлен флуктуациями концентрации. При совместном растворении обеих присадок в воде объемная вязкость резко возрастает, а ее частотная зависимость (кривая *3*) аналогична той, которая наблюдается в ПГВ с присадками, но несколько смещена в сторону более высоких частот. Эта частотная зависимость с погрешностью, не превышающей погрешность эксперимента, описывается уравнением для одного времени релаксации. Отсюда следует, что наблюдаемый релаксационный процесс не связан с флуктуациями концентрации, а обусловлен возникновением и распадом долгоживущих комплексов вполне определенного состава.

Измерения поглощения звука при различных температурах дают возможность вычислить энтальпию активации релаксационного процесса ΔH по формуле $\Delta H = R \ln (\tau_1/\tau_2) \cdot T_1 T_2/(T_2 - T_1)$, где R — универсальная газовая постоянная, τ_1 и τ_2 — времена релаксации, соответствующие температурам T_1 и T_2. Получены следующие значения времен релаксации: при 9° С — $6{,}1 \cdot 10^{-8}$ с, 25° С — $4{,}0 \cdot 10^{-8}$ с, 40° С — $3{,}1 \cdot 10^{-8}$ с, 60° С — $1{,}5 \cdot 10^{-8}$ с.

Отсюда $\Delta H = (22 \pm 3)$ кДж/моль, что соответствует энтальпии образования водородных связей O...OH или N...OH [8].

Для интерпретации полученных результатов необходимо было выяснить, связан ли релаксационный процесс с присутствием воды или она является инертным растворителем для присадок. Измерения в растворе присадок в ацетоне (1% БТА, 4% ТЭА) показали, что вышеописанный релаксационный процесс в этой системе отсутствует. Следовательно, этот



Фиг. 2. Частотные зависимости объемной вязкости в водных растворах. *1* – БТА (1,5%), *2* – ТЭА (4%), *3* – БТА + ТЭА

процесс возникает только при совместном присутствии БТА, ТЭА и воды. Основываясь на этом факте, наиболее естественно предположить, что один или несколько атомов N в БТА образуют водородные связи N...OH попеременно то с группами OH воды, то с группами OH ТЭА. Для проверки того, что в образовании водородных связей участвует именно группа OH триэтаноламина, а не атом N, произведены измерения поглощения звука в системе, в которой триэтаноламин заменен на триэтиламин, не имеющий групп OH (1,5% бензотриазол + 4% триэтиламин + вода). В этой системе описанного выше увеличения объемной вязкости не наблюдается.

Подтвердить данные акустических исследований другими методами (ИКС и ЯМР) не представляется возможным, так как предельная концентрация БТА в воде не превышает 2%, что находится за пределами чувствительности этих методов.

В заключение следует отметить, что широко применяемые антикоррозионные присадки являются одновременно присадками, резко увеличивающими объемную вязкость на низких ультразвуковых частотах, а следовательно, улучшающими диссипацию упругих колебаний в узлах трения механизмов.

Авторы выражают благодарность В. А. Соловьеву за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Негорючие теплоносители и гидравлические жидкости: Справочное руководство / Под ред. Сухотина А. М. М.– Л.: Химия, 1979. 360 с.
2. *Рыбакова Л. М., Куксенова Л. И.* Структура и износостойкость металла. М.: Машиностроение, 1982. 212 с.
3. *Громаковский Д. Г., Бадыштова К. М., Маринин В. Б.* Исследование противовибрационных свойств смазочных масел.– В кн.: Сб. научных трудов ВНИИНП «Улучшение качества индустриальных масел для промышленного оборудования». М.: Изд. ЦНИИНЕФТЕХИМ, 1979, с. 52–59.

4. *Михайлов И. Г., Громаковский Д. Г., Маринин В. Б., Берденников А. И., Павленков А. А.* О механизме диссипации упругой энергии смазочным слоем.– Докл. АН СССР, 1982, т. 266, № 2, с. 335–337.
5. *Коднир Д. С.* Контактная гидродинамика смазки деталей машин. М.: Машиностроение, 1976. 304 с.
6. *Манучаров Ю. С., Михайлов И. Г.* Измерение поглощения ультразвуковых волн в жидкостях на частотах 50 кГц – 4 МГц.– Акуст. ж., 1974, т. 20, № 2, с. 288–296.
7. *Манучаров Ю. С., Михайлов И. Г.* Акустическая релаксация в спиртоводных растворах.– Акуст. ж., 1977, т. 23, № 6, с. 913–918.
8. *Пиментел Дж., Жак-Клеллан О.* Водородная связь. М.: Мир, 1964. 464 с.

Ленинградский
государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступила в редакцию
25.III.1982