АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том III 1957 Вып. 3

ПОГЛОЩЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДЫ В СТРУКТУРИРОВАННЫХ РАСТВОРАХ

И. Г. Михайлов, Н. М. Федорова

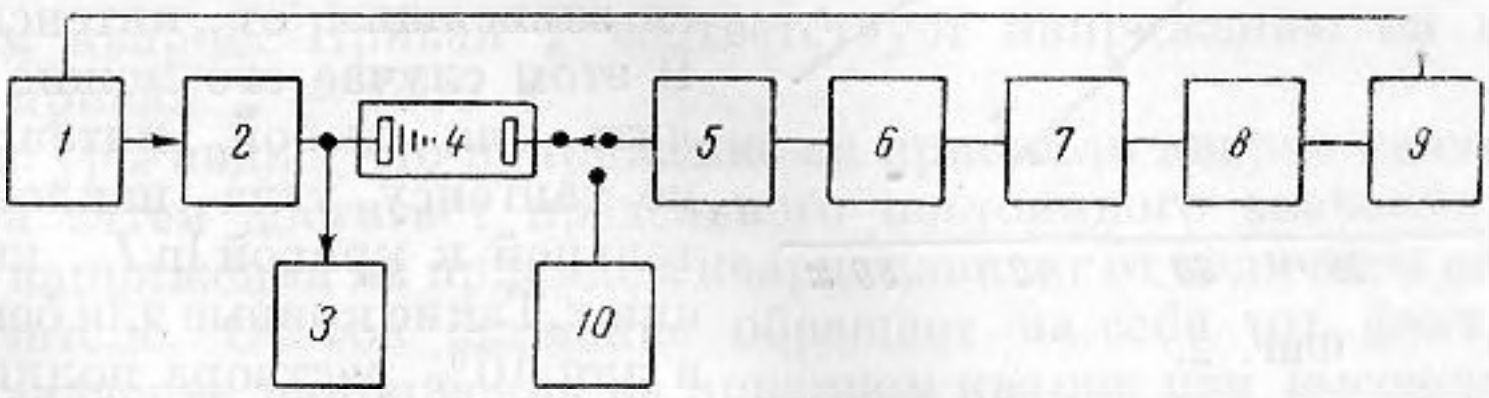
Исследовано поглощение ультразвуковых волн в растворах полиизобутилена в бензине (МВ 20 000, 98 000 и 180 000) и пербутана в толуоле. Измерения производились импульсным методом на частоте 5 *мгц*. Установлено, что в растворах полимеров, начиная с некоторой пороговой интенсивности, возникает разрушение структуры раствора; пороговая интенсивность определяется природой растворенного полимера и растворителя.

Вопрос о распространении ультразвуковых волн большой амплитуды в жидкостях представляет большой интерес. Было установлено, например, что в этом случае коэффициент поглощения ультразвуковых волн зависит от интенсивности ультразвука [1,2]. Предполагается, что этот эффект связан с искажением первоначально-синусоидальной волны и переходом ее в ударную [1,3]. До сих пор этот эффект наблюдался только в некоторых чистых жидкостях.

Нами было предпринято изучение поглощения ультразвуковых волн большой амплитуды в растворах, обладающих структурной вязкостью. Можно было ожидать, что в этом случае при достаточно больших интенсивностях будет иметь место разрушение структуры раствора. Это должно, конечно, отразиться на характере зависимости коэффициента поглощения от интенсивности ультразвука. Можно полагать, что изучение поглощения ультразвуковых волн конечной амплитуды позволит судить о характере сил взаимодействия между молекулами структурированного раствора.

С этой целью нами измерялось поглощение ультразвуковых волн конечной амплитуды в растворах некоторых полимеров.

Измерения производились на импульсной установке, блок-схема которой приведена на фиг. 1.



Фиг. 1.

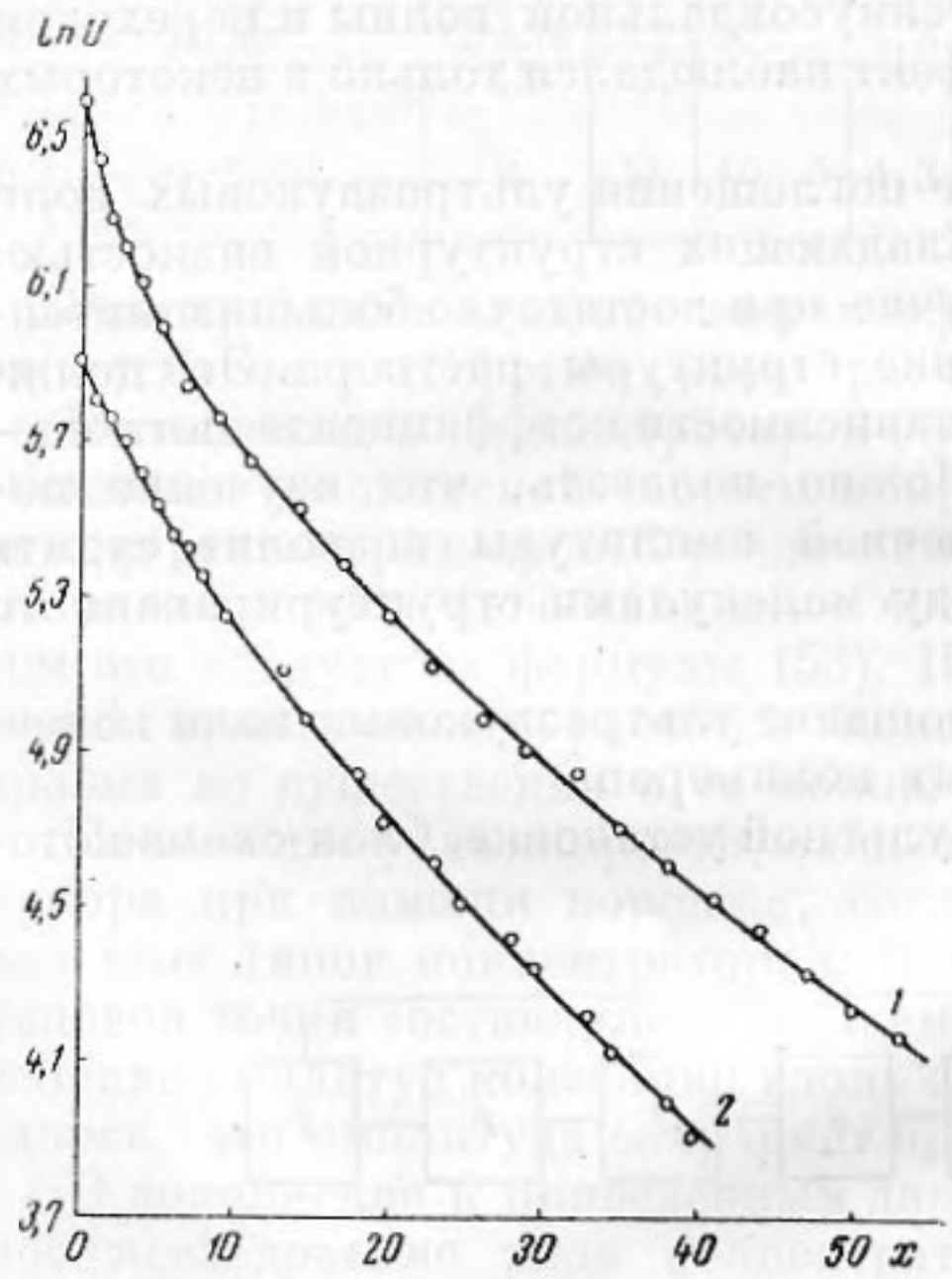
Задающий генератор *1* работает в режиме автомодуляции, генерируя радиоимпульсы длительностью 3—8 *мксек*, частотой повторения порядка 1000 *гц*, и с частотой заполнения 5 *мгц*. Генератор *1* также запускает ждущую развертку осциллографа 9. Оконечный каскад *2* представляет собой резонансный усилитель, настраиваемый на частоту задающего генератора либо по максимальному импульсу на экране ос-

циллографа *9*, либо по максимальному отклонению стрелки импульсного вольтметра *3*, измеряющего напряжение на излучающем кварце. Частота импульса после кварцевого приемника преобразуется каскадом *5* в промежуточную частоту, равную 2,3 *мгц*. Далее импульс проходит через градуированный аттенюатор *6* и усилитель промежуточной частоты *7* и после детектирования *8* поступает на вертикально-отклоняющие пластины осциллографа *9*. Введение аттенюатора после преобразовательного каскада позволяет при несложной конструкции делителя (обычный потенциометр) иметь одну градуировку в широком диапазоне частот.

Напряжение на излучающем кварце может меняться от 20 до 2000 *в* путем изменения анодного напряжения задающего генератора. Напряжение на передающем кварце, как указывалось выше, измеряется импульсным вольтметром.

Измерение напряжения на приемном кварце производится методом замещения: на вход преобразователя вместо импульса подается непрерывное напряжение той же амплитуды и частоты от генератора стандартных сигналов (ГСС) *10*. Напряжение ГСС подбирается таким образом, чтобы амплитуда огибающей модуляции на экране осциллографа (модуляция в ГСС устанавливается на 100%) была равна амплитуде импульса. Напряжение, отсчитанное по шкале аттенюатора ГСС, будет при этом равно напряжению на приемном кварце*.

Здесь мы приведем результаты измерения для растворов полиизобутилена (МВ 20 000, 98 000 и 184 000) в бензине и пербутана в толуоле при концентрациях 3; 5 и 10%. Измерения производились на частоте 5 *мгц*.



Фиг. 2.

Как известно, при малых амплитудах изменение интенсивности с расстоянием происходит по закону: $I_x = I_0 \cdot e^{-2\alpha x}$, где I_x — интенсивность ультразвука на расстоянии x от излучателя, I_0 — интенсивность при $x = 0$ и α — коэффициент поглощения.

Графически зависимость $\ln I_x$ от x изображается в виде прямой, из тангенса угла наклона которой находится α.

Установлено, что при больших интенсивностях эта зависимость перестает быть линейной [1]. Отсюда делается вывод, что коэффициент поглощения сам оказывается зависящим от интенсивности. В этом случае его можно определить для любой интенсивности по тангенсу угла наклона касательной к кривой $\ln I_x$, как функции x. Такие кривые для бензина (1) и для 10% раствора полиизобутилена МВ 98000 показаны на фиг. 2, где по оси абсцисс даны расстояния в *см* от излучающего кварца, а по оси ординат — логарифмы напряжения на приемном кварце, которое пропорционально интенсивности ультразвука на его поверхности.

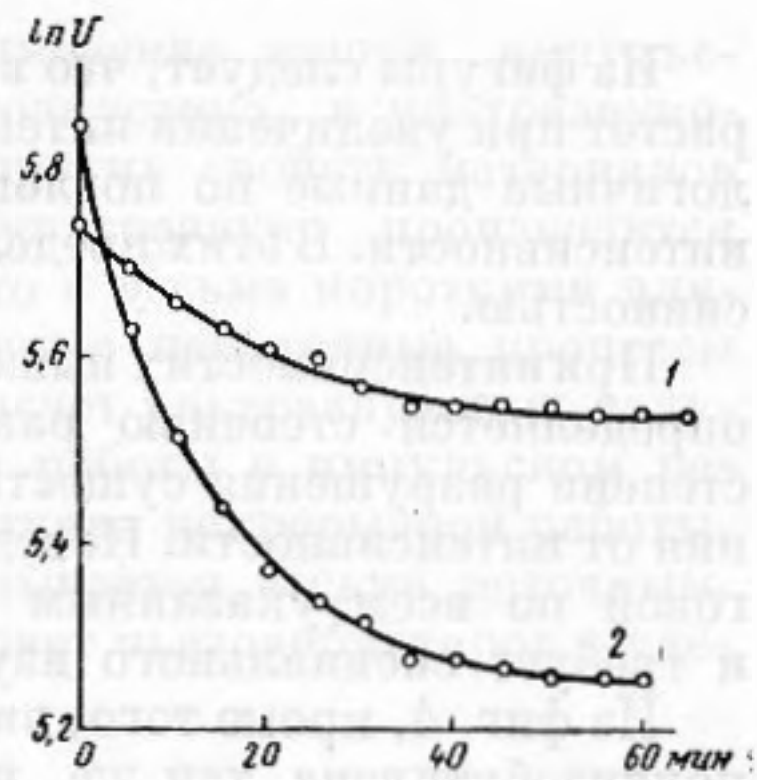
Так как в бензине и в растворах полимеров поглощение мало, а пределы перемещения приемника ограничены, то изменять интенсивность

* Описанная импульсная установка была разработана и построена Г. Н. Феофановым.

в широких пределах при определенном напряжении на излучающем кварце не представляется возможным. В этом случае приходится изменять интенсивность путем напряжения на излучателе. Эти данные используются для построения составной кривой по методу Фокса [1].

Кривые строятся следующим образом. При ряде последовательных значений возбуждающих напряжений измеряется напряжение на приемном кварце, в зависимости от расстояния от излучателя. Найденные таким образом кривые «сшиваются» частичным перекрытием в составную кривую. Такие составные кривые и приведены на фиг. 2. Для бензина получается плавная кривая вплоть до максимально возможного в пределах опыта напряжения на передающем кварце. Что касается растворов полимеров, то оказалось, что кривая строится указанным способом только до определенной излучаемой интенсивности, которую можно назвать пороговой. При интенсивностях выше пороговой, напряжение на приемном кварце зависит от времени облучения, чего, конечно, не наблюдается в чистых растворителях ни при каких интенсивностях, а также и в растворах полимеров, при интенсивностях ниже пороговой.

Установлено, что величина пороговой интенсивности зависит только от природы растворенного полимера и растворителя и не зависит ни от молекулярного веса, ни от концентрации полимера в растворе. Так, во всех исследованных растворах полиизобутилена пороговая интенсивность возникает при 870 *в* напряжения на излучающем кварце, а в растворах пербутана в толуоле — при 1400 *в*.



Фиг. 3

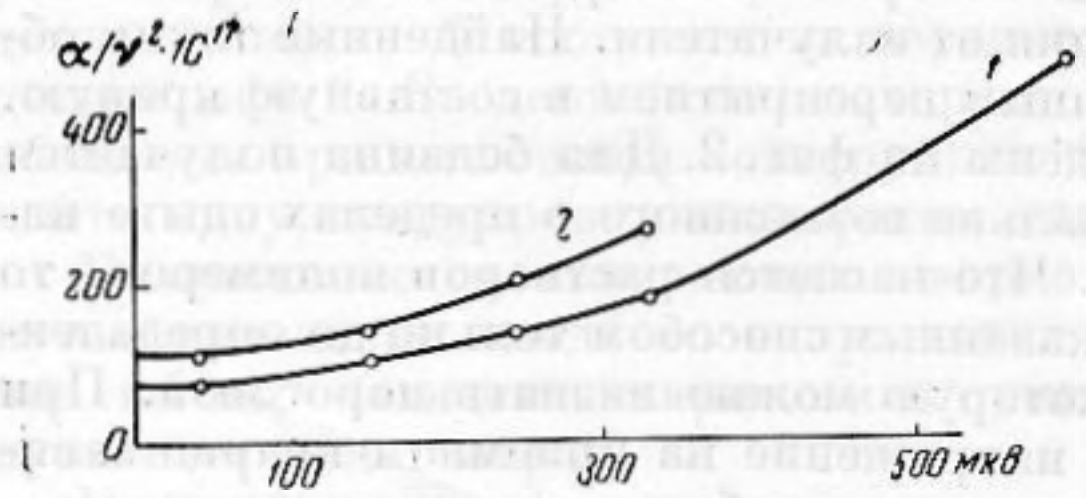
Мы предполагаем, что при интенсивностях выше пороговой происходит разрушение структуры раствора. Действительно, после выключения ультразвука раствор восстанавливает через некоторое время (порядка десятков минут) все свои акустические свойства. Это указывает, что при интенсивностях выше пороговой, возникает явление тиксотропии*, связанное с разрывом вандерваальсовых узлов полимерной сетки. Различную величину пороговой интенсивности в растворах полиизобутилена и пербутана можно объяснить различной величиной энергии связи узлов, образованных группами CH_3 и полярной группой CN.

На фиг. 3 показаны зависимости напряжения на приемном кварце от времени для 10% раствора полиизобутилена МВ 98 000. По оси абсцисс дано время в минутах, а по оси ординат — логарифм напряжения на приемном кварце. Кривая *1* соответствует напряжению на излучателе 1100 *в*, кривая *2* — 1400 *в*.

Из фигуры видно, что напряжение на приемном кварце вначале быстро падает, а затем достигает предельного постоянного значения; скорость падения напряжения на приемном кварце зависит от величины напряжения на излучателе. Особое внимание обращает на себя тот факт, что предельное значение напряжения на приемном кварце при высоком напряжении на излучателе меньше, чем при меньшем напряжении на излучателе. Это объясняется тем, что интенсивность излучаемого ультразвука определяет степень разрушения структуры раствора. Нами экспериментально установлено, что акустические свойства раствора, например, закон изме-

* Мы считаем, что явление кавитации в данном случае не играет существенной роли, так как кавитационный порог на частоте 5 *мгц* лежит значительно выше интенсивностей, использованных в нашем опыте.

нения интенсивности с расстоянием, различны для различных степеней разрушения. Эти обстоятельства и делают невозможным дальнейшее построение составной кривой. Существование временно́й зависимости указывает на то, что известную роль при тиксотропных изменениях, вероятно, играют процессы диффузии и перемешивания облученной и необлученной частей раствора в ванне.



Фиг. 4

На фиг. 4 дана зависимость коэффициента поглощения от интенсивности в бензине и в 10% растворе полиизобутилена МВ 98 000. По оси абсцисс даны значения напряжения на приемном кварце в *мкв*, а по оси ординат — значения α/ν^2, где ν — частота колебания. Кривая *1* отвечает бензину, кривая *2* — раствору полиизобутилена.

Из фигуры следует, что в бензине коэффициент поглощения непрерывно растет при увеличении интенсивности. Для раствора полиизобутилена аналогичные данные по поглощению можно получить только до пороговой интенсивности. В этих пределах поглощение также плавно растет с интенсивностью.

При интенсивностях выше пороговой поглощение, как уже указывалось, определяется степенью разрушения структуры раствора. Для каждой степени разрушения существует своя зависимость коэффициента поглощения от интенсивности. Поведение раствора при интенсивностях выше пороговой по всем указанным причинам осложняет измерения поглощения и требует специального изучения.

Из фиг. 4, кроме того, видно, что коэффициент поглощения в растворе полиизобутилена так же, как и в других растворах полимеров [4,5], мало отличается от поглощения в чистом растворителе, несмотря на значительные различия в вязкостях.

В заключение считаем необходимым обратить внимание на то, что коэффициент поглощения ультразвуковых волн начинает зависеть от интенсивности уже при напряжении на излучающем кварце порядка 150—200 *в*.

ЛИТЕРАТУРА

1. F. E. Fox, W. A Wallace. Absorption of finite amplitude sound waves. J. Acoust. Soc. Amer, 1956, 26, 994.
2. D. M. Towle, Lindsay. Absorption and velocity of ultrasonic waves of finite amplitude in liquids. J. Acoust. Soc. Amer. 1955, 27, 530.
3. Л. К. Зарембо, В. А. Красильников, В. В. Шкловская-Корди. Об искажении формы ультразвуковой волны конечной амплитуды в жидкостях. ДАН СССР, 1956, 109, 3, 485.
4. И. Г. Михайлов, Л. А. Шагалова. Распространение ультразвука в растворах полимеров. ДАН СССР, 1953, 89, 5.
5 И. Г. Михайлов. Распространение ультразвуковых волн в жидкостях, обладающих структурной вязкостью. Сб. «Применение ультраакустики к исследованию вещества». МОПИ, 1955, стр. 61.

Ленинградский государственный университет

Поступила в редакцию 25 июля 1956 г.