

В. Ф. ЯКОВЛЕВ, Н. И. КОШКИН и В. Ф. НОЗДРЕВ

ПРИМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА К ИССЛЕДОВАНИЮ ПОГЛОЩЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В БЕНЗОЛЕ И НЕКОТОРЫХ ЕГО ГАЛОИДОПРОИЗВОДНЫХ ВБЛИЗИ ИХ ТЕМПЕРАТУР ЗАТВЕРДЕВАНИЯ

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 22 III 1954)

За последние годы появился ряд работ (1, 2), где сообщается о применении импульсного метода для измерений поглощения в жидких средах. Но во всех этих работах, принадлежащих иностранным авторам, в отношении радиотехнической части импульсных ультразвуковых установок приводятся самые скудные сведения, из которых нельзя составить хотя бы общих представлений о принципиальной схеме импульсных установок. Поэтому нами была предпринята попытка создать специальную импульсную ультразвуковую установку, пригодную для измерений поглощения в различных жидкостях, охватывающих при этом широкий интервал температур, давлений и частот.

Задача по созданию совершенной импульсной установки значительно облегчалась тем обстоятельством, что еще в 1949 г. под руководством одного из авторов этой статьи (3) был смонтирован в лаборатории МГУ первый образец импульсной ультразвуковой установки, успешно использованный авторами его для измерений поглощения в слабо поглощающих жидкостях.

Сконструированная нами установка была успешно применена для измерения поглощения вблизи температур затвердевания бензола и некоторых его галоидопроизводных, а также и в других жидкостях (6). Подробно результаты этих исследований изложены в работах (4, 5). Здесь мы останавливаемся лишь на некоторых особенностях схемы, которые заслуживают, по нашему мнению, особого внимания, и приводим результаты исследований поглощения ультразвука в бензоле, хлорбензоле и бромбензоле вблизи их температур затвердевания.

1. Импульсная ультразвуковая установка и методика измерений

Блок-схема импульсной ультразвуковой установки (см. рис. 1) в функциональном отношении разделяется на шесть основных узлов: калибратор, генератор радиоимпульсов, измерительная камера с преобразователем, ламповый приемник, индикатор (осциллограф) и блок питания.

1. Калибратор обеспечивает взаимосвязь по времени в работе генератора, кварцевого преобразователя, приемника и индикатора. Калибратор определяет периодичность в работе всей установки с частотой 800 гц.

2. Подмодулятор, модулятор и генератор высокой частоты выполняют совместно функцию импульсного генератора высокой частоты. Подмодулятором является импульсный генератор с искусственной линией, собранной на тиратроне ТГ-1-0,1/0,3; с его катодной нагрузки снимаются куполообразные видеоимпульсы положительной полярности с амплитудой до 60 в

и длительностью в 2, 6, 10 мксек. Разработанная схема усилителя с заземленной анодной нагрузкой выполняет функцию модулятора и дает возможность осуществить гальваническую связь с сеткой управляемой лампы. Усилитель работает при автоматическом смещении в режиме ограничения насыщением тока и ограничения отсечкой и позволяет передать крутые перепады напряжения с его анодной нагрузки на сетку управляемой лампы без заметных искажений. Коэффициент трансформации напряжения усилителя близок к единице; в его анодной нагрузке генерируются импульсы отрицательной полярности с крутыми перепадами напряжения порядка 200 в.

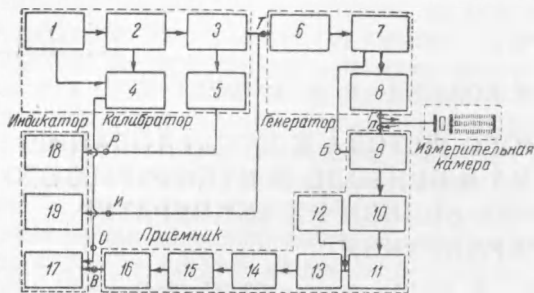


Рис. 1. Блок-схема импульсной ультразвуковой установки. 1 — генератор синхронизирующих сигналов; 2 — мультивибратор деления частоты; 3 — выходной каскад; 4 — схема отметок времени; 5 — генератор развертки; 6 — подмодулятор; 7 — модулятор; 8 — генератор в. ч.; 9 — узел блокировки приемника; 10 — делитель напряжения; 11 — усилитель в. ч.; 12 — гетеродин; 13 — 1-й детектор; 14 — усилитель н. ч.; 15 — 2-й детектор; 16 — видеоусилитель; 17 — усилитель вертикального отклонения осциллографа; 18 — усилитель горизонтального отклонения осциллографа; 19 — катодный осциллограф

Генератор высокой частоты собран по схеме с ударным контуром. Для улучшения обычной схемы предусмотрены: а) автоматическая стабилизация амплитуды, обеспечивающая плоскую верхушку импульса; б) дополнительная модуляция генераторной лампы по цепи экранной сетки; в) параллельное подвозбуждение сеточного контура для осуществления плавной регулировки обратной связи в генераторе; г) возможность изменения амплитуды селекторного импульса для плавной регулировки мощности в радиоимпульсе в широком интервале без изменения режима питания генераторной лампы.

С лампой 6П9 получены радиоимпульсы с несущей частотой до 50 Мгц при максимальной мощности от 5 до 8 вт с амплитудой от 120 до 250 в.

3. Измерительная камера была изготовлена из латунного цилиндра с внутренним диаметром в 4 см и длиной 25 см. В качестве преобразователя использована кварцевая пластинка диаметром в 2 см. Подвижным рефлектором служил ошлифованный диск из нержавеющей стали. Перемещение отражателя определялось при помощи микрометрического винта с точностью до 10^{-3} см. Параллельность кварца и отражателя устанавливалась системой юстировочных механизмов.

4. Ламповый приемник собран по супергетеродинной схеме. Общая полоса пропускания приемной схемы 1,5 Мгц при усилении в 120 дб. Узел блокировки входа приемника является аperiодическим усилителем с заземленной сеткой; он позволяет блокировать приемник на время генерации радиоимпульса. Для облегчения смены диапазонов в приемнике применено преобразование частоты с последовательным сложением напряжений, генерируемых в анодных цепях гетеродина и усилителя высокой частоты.

Путем создания небольшой постоянной времени на входе второго детектора осуществляется ограничение шумов приемника. Видеоусилитель приемника — усилитель с катодной нагрузкой, на управляющую сетку которого непосредственно со второго детектора (без смещения) подаются импульсы отрицательной полярности.

5. Схема осциллографа имеет особенности в конструкции усилителя вертикального отклонения; последний вместе с видеоусилителем прием-

ника образует общий канал с непосредственной связью управляющих сеток с предыдущими нагрузочными элементами. Такая схема дает незначительные искажения формы импульса по сравнению с обычными реостатно-емкостными усилителями. Фиксация постоянной составляющей анодного напряжения выходных ламп двухтактного каскада усилителя вертикального отклонения осуществляется без включения дополнительных элементов в цепи их управляющих сеток.

6. Блок питания смонтирован по обычной схеме; предусмотрена стабилизация напряжений, питающих основные узлы установки. Для индикации использовалась эхо ультразвукового импульса. Изменение акустического пути звукового импульса в среде при изменении положения рефлектора в измерительной камере вызывает изменение величины выброса на экране осциллографа. Величина, на которую надо изменить электрический импульс при помощи делителя напряжения на входе приемника для компенсации акустических потерь на добавочном пути акустического импульса, служит мерой измерения коэффициента поглощения. Влияние нелинейности приемного канала исключается. Систематическая ошибка, вносимая импульсным методом в измерения коэффициента поглощения, составляла в условиях нашего эксперимента меньше 0,5%, что достигалось выбором соответствующей длительности импульса. Вычисление коэффициента поглощения производилось по формуле

$$\alpha = \frac{\Delta A}{20 \Delta l \lg l}, \quad (1)$$

где Δl — изменения акустического пути импульса; ΔA — акустические потери в децибелах на добавочном акустическом пути (Δl), определяемые при помощи делителя напряжения на входе приемника.

II. Поглощение в бензоле и его галоидопроизводных

Исследование поглощения было проведено: в бензоле на частотах 6 и 12 Мгц⁽⁵⁾ в интервале температур от +6,5 до +50°, в хлорбензоле — на частотах 15 Мгц⁽⁵⁾, 18 и 30 Мгц⁽⁴⁾ в интервале температур от —45 до +50°; в бромбензоле — на частотах 18 и 30 Мгц⁽⁴⁾ в интервале температур от —27 до +35°. Точность измерений составляет 2—3%. Результаты этих исследований представлены на рис. 2.

Из экспериментальных данных видно, что температурная зависимость поглощения качественно одинакова для всех исследованных жидкостей. При температурах, близких к температурам кипения, поглощение падает с понижением температуры по линейному закону. При подходе к температурам затвердевания уменьшение поглощения с понижением температуры замедляется, а вблизи температур затвердевания поглощение остается почти постоянным. В непосредственной близости к температуре затвердевания (0,5—1°) поглощение резко возрастает.

Для всех жидкостей во всем интервале температур выполняется соотношение $\alpha/v^2 = \text{const}$.

Рассчитанные по классической теории Стокса — Кирхгофа значения коэффициента поглощения (см. табл. 1) показывают, что эксперименталь-

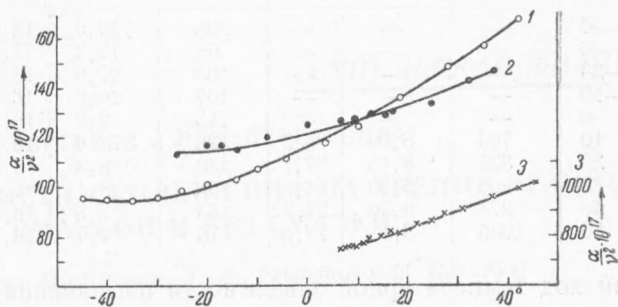


Рис. 2. 1 — хлорбензол (15,10 Мгц); 2 — бромбензол (30,4 Мгц); 3 — бензол (11,85 Мгц)

Таблица 1

t, °C	Бензол			Хлорбензол			Бромбензол		
	$\frac{\alpha_{\text{эксп}}}{\sqrt{\nu}} \cdot 10^{17}$	$\frac{\alpha_{\text{кл}}}{\sqrt{\nu}} \cdot 10^{17}$	$\eta' \cdot 10^3$ пуаз	$\frac{\alpha_{\text{эксп}}}{\sqrt{\nu}} \cdot 10^{17}$	$\frac{\alpha_{\text{кл}}}{\sqrt{\nu}} \cdot 10^{17}$	$\eta' \cdot 10^3$ пуаз	$\frac{\alpha_{\text{эксп}}}{\sqrt{\nu}} \cdot 10^{17}$	$\frac{\alpha_{\text{кл}}}{\sqrt{\nu}} \cdot 10^{17}$	$\eta' \cdot 10^3$ пуаз
-40	—	—	—	95	13,9	18,8	—	—	—
-30	—	—	—	95	12,2	17,3	—	—	—
-20	—	—	—	100	10,9	16,9	115	16,5	18,6
-10	—	—	—	107	10,0	16,6	117	14,6	17,9
0	—	—	—	115	9,2	16,5	122	13,5	17,0
10	765	8,00	95,2	126	8,6	16,4	127	12,3	16,5
20	825	8,15	87,1	136	8,3	16,5	131	11,6	15,8
30	900	8,20	81,3	149	8,1	16,6	140	10,9	15,5
40	974	8,30	77,7	163	7,8	16,8	148	10,8	15,0
50	1036	8,45	71,6	175	7,7	16,7	—	—	—

ный ход температурной зависимости поглощения в хлорбензоле и бромбензоле противоположен тому ходу, который определяется классической теорией. Согласно классической теории следовало бы ожидать уменьшения поглощения в этих жидкостях с ростом температуры, эксперимент же дает увеличение поглощения с ростом температуры. Для бензола классическая теория определяет незначительное увеличение поглощения с ростом температуры, эксперимент же дает для бензола значительно большее возрастание коэффициента поглощения с ростом температуры.

Следует отметить, что в других рядах, например в предельных углеводородах (6), классическая теория качественно удовлетворительно описывает температурную зависимость поглощения (5).

Исходя из экспериментальных данных, можно рассчитать значения коэффициентов второй вязкости. Действительно, с учетом второй вязкости выражение для коэффициента поглощения может быть представлено в виде

$$\alpha = 2\pi^2 \frac{\nu^2}{\rho v_0^3} \left(\frac{4}{3} \eta + \eta' \right) \quad (2)$$

при условии, что потерями за счет теплопроводности можно пренебречь и что $\nu\tau \ll 1$ (τ — время релаксации). Тогда из данного выражения может быть рассчитан коэффициент второй вязкости η' , если известны коэффициент поглощения, частота ультразвуковых колебаний ν , плотность исследуемой жидкости ρ , скорость распространения в ней ультразвука v_0 и коэффициент сдвиговой вязкости η .

В исследованных нами жидкостях доля поглощения, обусловленная теплопроводностью, составляет меньше 1%, а поскольку $\alpha/\nu^2 = \text{const}$, то и $\nu\tau \ll 1$. Поэтому для расчета коэффициентов второй вязкости было применено выражение (2). Результаты расчетов приведены в табл. 1. Из этих расчетов следует, что в бензоле и бромбензоле характер изменения второй вязкости с изменением температуры качественно подобен изменению первой вязкости, но отношение η'/η не остается постоянным для различных температур. Изменение второй вязкости в хлорбензоле даже качественно отличается от температурной зависимости первой вязкости.

Московский областной
педагогический институт

Поступило
14 IV 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 J. R. Pellam, I. K. Galt, J. Chem. Phys., **14**, No. 10, 608 (1946).
- 2 J. M. Pinkerton, Proc. Phys. Soc., **62**, p. 5, No. 335 B, 286 (1949).
- 3 Б. Б. Кудрявцев, Применение ультразвуковых методов в практике физико-химических исследований, 1952, стр. 39—42.
- 4 В. Ф. Яковлев, Диссертация, МОПИ, 1952.
- 5 Н. И. Кошкин, Диссертация, МОПИ, 1952.
- 6 Н. И. Кошкин, В. Ф. Ноздрев, ДАН, **92**, № 4 (1953).