

ков процентов при определении ϵ и Δf по формулам (16). Последнее приводит к большим ошибкам при расчетах вязкости и времен релаксации.

С помощью этих номограмм можно последовательным приближением устранить ошибки, возникающие при использовании формул плоской задачи для обработки результатов измерений, полученных на установке с цилиндрическим резонатором.

При расчетах на ЭВМ вязкости и времен релаксации по данным измерений вискозиметрами с цилиндрическими резонаторами целесообразно использовать уравнения (21), в которых учтена кривизна поверхности резонатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мэзон У. Пьезоэлектричество и его практическое применение в ультразвуке. М., ИИЛ, 1952.
2. Шахов В. Г. Некоторые простейшие движения линейных вязкоупругих жидкостей. «Аэродинамика, динамика полета и системы управления», межвузовский сборник. Куйбышев, 1972.
3. На, Сидом. О задачах Стокса в линейных вязкоупругих жидкостях. «Прикладная механика», № 4, 1967.
4. Михайлов Н. Г., Соловьев В. А., Сырников Ю. П. Основы молекулярной акустики. М., «Наука», 1964.
5. Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции. М., «Наука», 1968.

Е. В. ЗОЛОТЫХ, Ю. А. АТАНОВ, Д. И. КУЗНЕЦОВ

ЗАВИСИМОСТЬ ВЯЗКОСТИ НЕКОТОРЫХ ГРУПП ЖИДКОСТЕЙ ОТ ДАВЛЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ЖИДКОСТИ

Для исследования зависимости вязкости жидкостей от давления Всесоюзным научно-исследовательским институтом физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ) разработана группа приборов, куда входят вискозиметр на давление до 2000 кгс/см² и две установки для измерения вязкости при давлениях до 10000 кгс/см и 15000 кгс/см.

Ниже будет дано краткое описание установки до 10000 кгс/см² (прибор до 15000 кгс/см² устроен аналогично) [1].

Установка состоит из вискозиметра и вспомогательных узлов, предназначенных для его обслуживания. Вискозиметр работает по методу катящегося шарика и представляет собой полый цилиндр, в канале которого помещается измерительная трубка с шариком, заполненная исследуемой жидкостью. От рабочей жид-

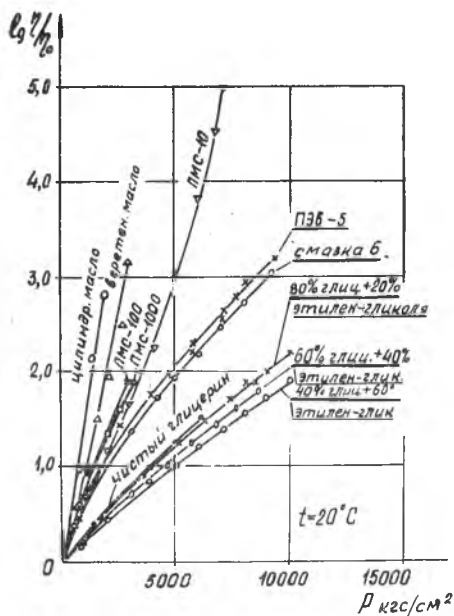


Рис. 1. Зависимость вязкости некоторых минеральных масел, полиметилсилоксановых, полиэтилсилоксановых жидкостей, глицерина и смесей его с этиленгликолем от давления

ния (типа $\eta = \eta_0 e^{\beta p}$), т. е. их пьезокоэффициент β от давления зависит весьма слабо. Исключение составляет группа полиэтилсилоксановых жидкостей, пьезокоэффициент которых падает с ростом давления. На рис. 1, где представлена зависимость логарифма относительной вязкости некоторых групп жидкостей от давления, эта особенность полиэтилсилоксановых жидкостей хорошо видна.

На рис. 2 представлена барическая зависимость логарифма относительной вязкости шести полиметилсилоксановых жидкостей. Хотя начальные вязкости этих жидкостей отличаются в сотни раз, пьезокоэффициенты их весьма близки.

Широкое использование глицерина и его смесей с этиленгликолем в качестве рабочих жидкостей установок высокого давления побудило нас довольно тщательно измерить их вязкость под давлением. На рис. 3 представлен пьезокоэффициент вязкости смеси в зависимости от концентрации глицерина.

Для работы установок высокого давления важно знание давления затвердевания рабочей жидкости. Если рабочая жидкость

кости исследуемая изолируется при помощи эластичных колпачков. Время движения шарика по трубке фиксируется счетчиком, срабатывающим от сигнала с индуктивных катушек, намотанных на измерительную трубку. Температура в вискозиметре (от 20° до 200°C) поддерживается при помощи внешнего термостата с погрешностью $\pm 0,2^\circ\text{C}$.

Использование разных зазоров в паре шарик — трубка и применение различных углов наклона позволяет измерять вязкость в диапазоне $0,2 \div 5000$ пз с погрешностью 2,5—5%.

На этих приборах выполнено большое количество измерений барической зависимости вязкости. Большинство исследованных жидкостей имеет обычный экспоненциальный ход зависимости вязкости от давления

электропроводна (например, водная эмульсия) и при затвердевании кристаллизуется, то хорошие результаты при определении давления затвердевания дает измерение электропроводности.

Однако большинство рабочих жидкостей при переходе в твердое состояние не обладает четко выраженным фазовым переходом, т. е. переход совершается постепенно и характеризуется образованием аморфного стекла. Мерой затвердевания вещества в этом случае обычно считают его вязкость. При работе с хрупкими элементами прецизионной аппаратуры (манганиновые манометры, сильфонные пьезометры, измерительные трубки вискозиметров, емкостные датчики и т. д.) вязкость рабочей жидкости не должна превышать $10^5 \div 10^6$ пз. Современные вискозиметры высокого давления такие значения вязкости измерять не могут.

Нами предлагается простой метод определения давления затвердевания, основанный на измерении диэлектрических потерь.

Время диэлектрической релаксации τ в жидкости приблизительно пропорционально ее вязкости η и должно возрастать с повышенным давлением. Обычно оно измеряется по максимуму диэлектрических потерь ϵ'' , причем в области этого максимума диэлектрическая проницаемость ϵ' полярных жидкостей падает. В качестве примера приведем рис. 4, где представлены зависимость $\lg \delta$ и ϵ' полиметилсилоксановой жидкости ПМС-2500 от давления.

Максимум диэлектрических потерь достигается при $P = 8000$ кгс/см² и соответствует времени диэлектрической релаксации $\tau \approx \frac{1}{\omega}$, где ω — круговая частота электромагнитного поля, т. е. в данном случае круговая частота генератора моста переменного тока (использовался мост ВМ-400 «Гесла» с частотой генератора 800 гц).

Экстраполируя кривую вязкости (экспериментальные точки нанесены крестиками) в область 8000 кгс/см², можно ориентировочно считать, что при этом давлении вязкость ПМС-2500 составляет $\sim 10^6$ пз.

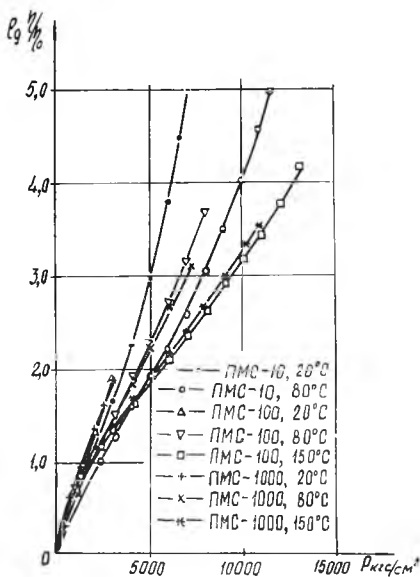


Рис. 2. Зависимость вязкости полиметилсилоксановых жидкостей от давления

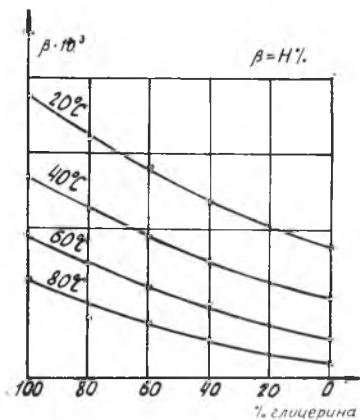


Рис. 3. Зависимость пьезокоэффициента вязкости смесей глицерина с этиленгликолем от концентрации глицерина

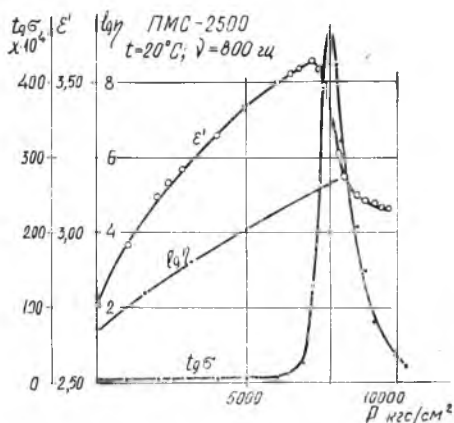


Рис. 4. Зависимость вязкости, диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь от давления для полиметилсилоксановой жидкости ПМС-2500

Таким образом, давление, при котором время диэлектрической релаксации составляет $10^{-2} \div 10^{-3}$ сек, (что соответствует частоте поля $10^2 \div 10^3$ гц), можно принимать за давление затвердевания жидкости. Значение этого давления, проведенное по вышеописанной методике, совпадает со значением, определенным прямым способом, т. е. по потере текучести жидкости. Например, прямое определение давления затвердевания методом потери текучести жидкостей 2 МАС-35, ПМС-100, ФМ-6, ФМ-1322/300, ФС-169, ПФМС-4 дало значения 7000, 9000, 8000, 6000, 8000 и 5000 кгс/см² соответственно, а определение давления затвердевания по времени диэлектрической релаксации (при частоте 800 гц) дало значения тех же жидкостей 5000, 8000, 7600, 5300, 7000 и 2300 кгс/см². Как видим, результаты, полученные двумя независимыми методами, находятся в удовлетворительном согласии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Золотых Е. В., Семин В. П., Хохуля Ю. П. Труды ВНИИФТРИ, вып. 75(135), М., Стандартгиз, 1964, стр. 111.
2. Кобзова Р. И., Ермова Г. П., Опарниа Е. М., Тубянская Г. С. Ж. «Химия и технология топлив и масел», 1967, № 8, стр. 44—46.