

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А. М. Гаспарян и Р. Е. Акопян

Измерение вязкости жидкостей при температурах выше кипения

(Представлено А. Л. Миджояном 17.V.1956)

Методы и приборы для измерения вязкости жидкостей при температурах ниже температур кипения последних достаточно разработаны и широко известны. Иначе обстоит дело с измерением вязкости при температурах, когда упругость паров жидкости становится равной или выше атмосферного давления и когда применение открытых, сообщающихся с атмосферой вискозиметров становится невозможным. Для этого случая предложен ряд вискозиметров замкнутого типа, но все они имеют тот или иной недостаток. Нам кажется, что мы нашли более удобную и обеспечивающую большую точность конструкцию замкнутого вискозиметра, описание и обоснование которой приводится в этом сообщении.

Предложенные Х. Халиловым ⁽¹⁾ две конструкции вискозиметров имеют некоторые недостатки: манипуляции сложны; из-за небольшого объема измеряемой жидкости ($0,28 \text{ см}^3$) неточности в определении менисков могут привести к заметным погрешностям и, кроме того, для осуществления измерений требуется специально приспособленный микроскоп с метками на окуляре.

Недостатком предложенного Н. И. Копыловым ⁽²⁾ вискозиметра является трудность введения в прибор точно взвешенного столбика ртути, а также то, что такой вискозиметр не может быть применен для жидкостей, так или иначе взаимодействующих с ртутью.

Г. Барр ⁽³⁾ описывает удобную конструкцию вискозиметра, однако она имеет тот важный недостаток, что средней напор h , под которым происходит истечение жидкости, не постоянен и зависит от многих, трудно учитываемых факторов. Это обстоятельство снижает ценность этой конструкции и делает ее неприемлемой, в особенности для сравнительно высоких температур.

А. Н. Campbell ⁽⁴⁾ описывает другую, простую конструкцию вискозиметра, в которой, однако, жидкость из капилляра вытекает непосредственно в газовую среду, а не в жидкость, что не рекомендуется и является недостатком.



После ряда исканий мы остановились на конструкции, схема которой изображена на рис. 1.

Как известно, абсолютная вязкость μ может быть определена из уравнения:

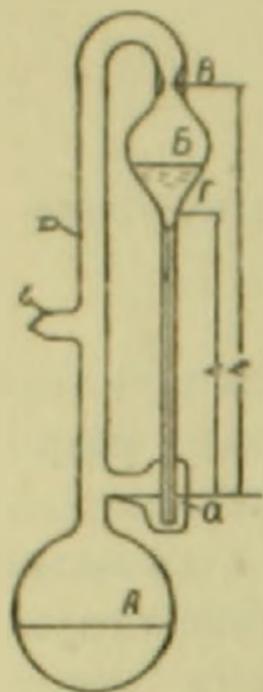
$$\mu = \frac{\pi g R^4}{8 Q l} h (\rho_1 - \rho_2) = - \frac{Q}{8 \pi l} \cdot \frac{\rho_1}{\tau}. \quad (1)$$

Здесь R — радиус капилляра вискозиметра; l — длина этого капилляра; Q — объемный расход жидкости через капилляр за время τ ; h — напор жидкости, под действием которого происходит истечение через капилляр; ρ_1 и ρ_2 — плотности жидкости и газа, среди которого находится жидкость.

В сообщающихся с атмосферой приборах ρ_2 (плотность воздуха), как очень малая по сравнению с ρ_1 , пренебрегается. В случаях же, когда вязкость измеряется при высоких давлениях, а окружающей средой являются пары самой жидкости со значительной плотностью, пренебречь ρ_2 нельзя.

Величины: Q — объем емкости B ; l — длина капилляра и R — радиус капилляра, хотя медленно, но все же меняются с температурой. Эти изменения могут стать значительными при работе прибора в большом диапазоне изменений температуры. Так как искомый нами вискозиметр должен действовать именно в пределах больших изменений температур, то возникает необходимость определения или оценки влияния изменений Q , l и R на точность измерений.

Рис. 1. Предлагаемая конструкция вискозиметра.



Рассмотрение этого вопроса показало, что комплекс R^4/Ql совершенно не зависит от температуры. Допустим, что при температуре t_0 имеем $k_0 = R_0^4/Q_0 l_0$, а при t_1 имеем $k_1 = R_1^4/Q_1 l_1$. Пусть коэффициент линейного расширения данного стекла, из которого сделан вискозиметр, составляет α . Тогда очевидно:

$$R_1 = R_0 (1 + \alpha t).$$

$$l_1 = l_0 (1 + \alpha t),$$

$$Q_1 = Q_0 (1 + \alpha t)^3.$$

Из этих выражений следует, что:

$$k_1 = \frac{R_1^4}{Q_1 l_1} = \frac{R_0^4 (1 + \alpha t)^4}{Q_0 l_0 (1 + \alpha t)^4} = k_0. \quad (2)$$

Таким образом, выражение $\pi g R^4/8 Q l = k'$ не зависит от температуры и для данного вискозиметра является постоянной величиной.

Выражение Q/l не является постоянным и растет с температурой. Если при t_0 имеем $Q_0/l_0 = k_0$, а при температуре t_1 выражение $Q_1/l_1 = k_1$, то нетрудно убедиться, что:

$$\frac{k_1}{k_0} = (1 + \alpha t)^3. \quad (3)$$

При обычном значении $\alpha = 7 \cdot 10^{-6}$ и при разности температур $t_1 - t_0 = -t = 200^\circ\text{C}$ выражение (3) дает:

$$\frac{k_1}{k_0} = (1 + 7 \cdot 10^{-6} \cdot 200)^2 = 1,0028.$$

Значит, при измерении вязкости до температур $200-220^\circ\text{C}$, максимальное изменение выражения Ql составит $0,28\%$. Ввиду незначительности этого изменения, принимаем, что $Q/8\pi l = c_2$ является практически постоянной величиной. Такое допущение может вызвать неточность в определении μ порядка менее $\pm 0,1\%$, так как, во-первых, при графическом нахождении значения c_2 определяется ее среднее значение и, во-вторых, третий член уравнений (1) всегда значительно меньше половины первого его члена, и потому влияние неточности c_2 на значение μ соответственно уменьшается.

Напор h обычно является переменной величиной. В приборе (рис. 1) он меняется от h_1 до h_2 , независимо от температуры и потому среднее значение напора остается постоянным. Для такого прибора под h можно подразумевать его среднее значение и как постоянное включить в выражение для C_1 :

$$\frac{\pi g R^4 h}{8 Q l} = c_1.$$

Тогда уравнение (1) может быть написано в обычном виде:

$$\mu = C_1 (\rho_1 - \rho_2) \tau - c_2 \frac{\rho_1}{\tau}. \quad (4)$$

Прибор, описанный Г. Барром⁽²⁾, изображен на рис. 2. Нетрудно убедиться, что среднее значение напора h в этом случае является функцией от температуры. Допустим, что при температуре t , когда мениск жидкости находится у метки B , ее уровень в резервуаре A находится на плоскости 1 , а когда этот мениск доходит до Γ , то уровень в A перемещается до уровня плоскости 2 . При этом напор изменится от h_1 до h_2 .

При температуре t' , значительно далекой от t , при нахождении мениска в B уровень в A будет иной — допустим $1'$, а при прохождении мениска через Γ этот уровень окажется в плоскости $2'$. В этом случае напор изменится от h_1' до h_2' и среднее из них очевидно составит иную величину, чем среднее из h_1 и h_2 .

Если не учесть сказанное и воспользоваться для приборов типа рис. 2 уравнением (4), то погрешность в значении μ может достигнуть, в особенности при высоких температурах, до 10% и более.

Не трудно видеть, что степень погрешности зависит также от конструкции прибора, от объема и степени заполнения его отдельных

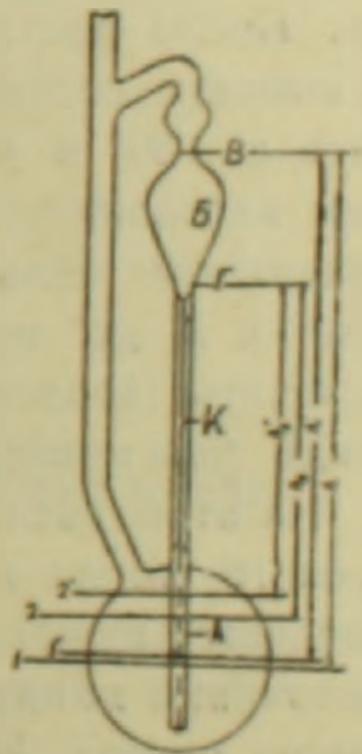


Рис. 2. Вискозиметр, описанный Г. Барром.

частей, от соотношения объемов газовой и жидкой фаз, от коэффициента объемного расширения жидкостей и др. Учесть все эти факторы и ввести соответствующие поправки крайне трудно и даже невозможно.

Измерения при помощи предлагаемого вискозиметра рис. 1 производятся, как обычно, следующим образом: в прибор через отросток *E*

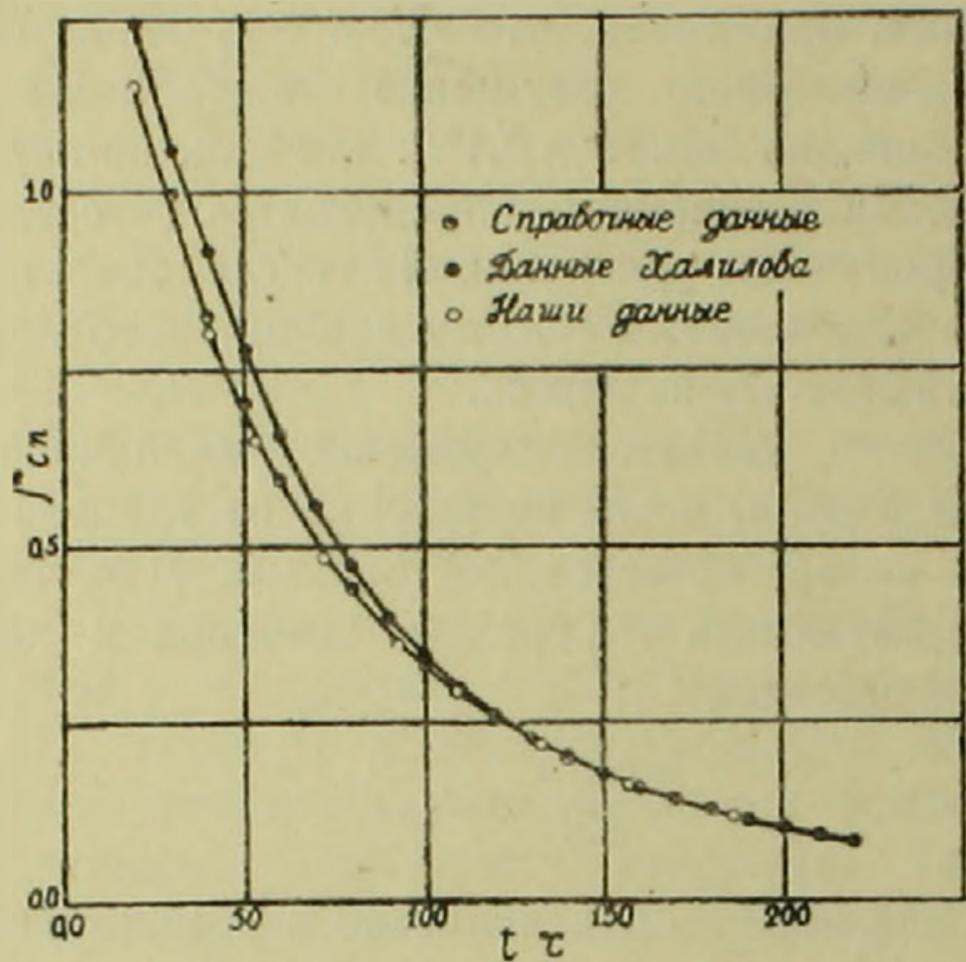


Рис. 3.

вводится нужное количество исследуемой жидкости и отросток запаивается. Затем вискозиметр устанавливается в термостат, резервуаром *A* вниз. После достижения установления нужной температуры прибор, при помощи соответствующего приспособления, медленно поворачивается на 180° и емкость *B* и часть трубки *D* заполняются жидкостью. Затем вискозиметр быстро приводится в исходное, зафиксированное вертикальное положение и засекается время прохождения мениска от метки *B* до метки *Г*. Количество жидкости в приборах должно обеспечить заполнение емкости „а“ и перетек из нее в резервуар *A* прежде чем мениск спустится до метки *B*.

На этом вискозиметре для целей проверки, измерялась вязкость этилового спирта в пределах температур от 20 до 190°C . В табл. 1 приведены данные, полученные Халиловым, данные, приведенные в Справочнике химика, том 1, стр. 870 и полученные нами данные по вязкости спирта. Завышенные значения вязкости для низких температур, полученные Халиловым, сам автор объясняет недостаточной чистотой взятого им спирта.

На рис. 3 приведено графическое изображение табл. 1.

Таблица 1

Вязкость этилового спирта, сантипуазы

№№ п/п	°С	По Хали- лову	По справоч- нику	По нашим измерениям
1	20	1,243	1,19	1,155
2	30	1,061	1,00	0,955
3	40	0,917	0,825	0,80
4	50	0,7766	0,701	0,675
5	60	0,6542	0,591	0,580
6	70	0,553	—	0,495
7	80	0,466	0,435	0,425
8	90	0,393	—	0,37
9	100	0,338	0,326	0,325
10	110	0,292	—	0,285
11	120	0,253	0,248	0,250
12	130	0,220	—	0,220
13	140	0,194	0,19	0,190
14	150	0,169	—	0,1685
15	160	0,148	—	0,1475
16	170	0,131	—	0,130
17	180	0,116	—	0,116
18	190	0,102	—	0,102
19	200	0,0904	—	—
20	210	0,0791	—	—
21	220	0,0709	—	—

Химический институт
Академии наук Армянской ССР

Ա. Մ. ԳՍՄՊԱՐՅԱՆ ԵՎ Ռ. Ե. ՉԱԿՈՐՅԱՆ

**Հեղուկների մածուցիկության չափումը եռման կետից բարձր
ջերմաստիճաններում**

Այս հաղորդման մեջ ցույց է տրված դոկուբյուս ունեցող մի շարք վիսկոզիմետրերի թերությունները և առաջարկված է ավելի հարմար և ավելի ճշգրիտ տվյալներ ապահովող մի վիսկոզիմետր (նկ. 1):

Ցույց է տրված, որ առաջարկվող վիսկոզիմետրում, ի տարբերություն ուրիշ միջանի կոնստրուկցիաների, ճնշման միջին մեծությունը (արտահայտված հեղուկի սյունով — напор), որի տակ տեղի է ունենում հեղուկի հոսումը կապիլյարով, հաստատուն է և անկախ է ջերմաստիճանից:

Ցույց է տրված նաև, որ ջերմաստիճանի մեծ փոփոխության պատճառով վիսկոզիմետրի տարրեր մասերի ընդարձակումը կամ սեղմումը չի ազդում (*) հափասարման C_1

գործակցի վրա, իսկ ազդեցութիւնը C_2 գործակցի վրա չի բերում մածուցիկութեան արժեքի զգալի փոփոխման:

Առաջարկվող վիսկոզիմետրը ստուգելու նպատակով նրա միջոցով չափված է էթիլալկոհոլի մածուցիկութիւնը մինչև 100° :

Ստացված արդյունքների համեմատութիւնն այլ աղբյուրներից հայտնի տվյալների հետ, բերված է № 1 աղյուսակում և № 3 նկարի վրա:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ X. Халилов, ЖТФ., выпуск 13—14, том VIII, 1938. ² Н. И. Копылов, ЖФХ., 24, стр. 1128. ³ Г. Барр, Вискозиметрия, стр. 110, 1938. ⁴ А. N. Campbell, et al., Canad. J. Chem. 33, № 10, 1503 (1955). ⁵ X. Халилов, ЖЭТ Ф., вып. 3, том 9, 1939.