

М. Г. ГОНИКБЕРГ и Л. Ф. ВЕРЕЩАГИН

**ИЗМЕРЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЭТИЛЕНА ПРИ ДАВЛЕНИЯХ
ДО 1000 АТМ МЕТОДОМ ОСЦИЛЛИРУЮЩЕГО ДИСКА**

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 26 X 1946)

Изменение вязкости жидкостей с давлением выяснено, в основном, в работах Бриджмена (1), исследовавшего ряд жидкостей при давлениях до 12000 атм. В то же время весьма небольшое число работ посвящено измерениям вязкости газов при высоких давлениях. Из них прежде всего следует отметить работу Михельса и Гибсона (2), определявших вязкость азота при 25, 50 и 75°С и давлениях до 1000 атм методом транспирации. Кроме того, имеются данные* Голубева и Петрова (3) о вязкости Н₂, N₂ и СО при температурах от 0 до 250°С и давлениях до 800 атм и о вязкости СО₂ при тех же давлениях и температурах от 20 до 100°С. В ряде других работ (4-10) авторы оперируют с давлениями, не превышающими 200 атм.

Для определения вязкости газов при высоких давлениях мы считали целесообразным воспользоваться методом осциллирующего диска; теория этого метода была детально разработана Маквудом (11). Его преимущество при проведении измерений при высоких давлениях заключается прежде всего в том, что этот метод не требует оперирования с потоком газа, что значительно упрощает методику и позволяет сделать ее более точной.

Измерения вязкости под давлением методом осциллирующего диска производили Мэсон и Маасс (12), а также Фельзинг и Бланкеншип (13). В работах этих авторов определялась вязкость этилена; максимальное давление составляло 180 атм.

В настоящей работе описывается определение вязкости этилена при 24°С и давлениях до 1000 атм методом осциллирующего диска. Устройство установки видно из рис. 1. В стальной бомбе 4 помещен латунный вискозиметр 6, в котором имеется подвесная система, состоящая из подвешенного на длинной тонкой нити из манганина 7 и стальном стержне 11 латунного диска 12, находящегося между двумя неподвижными дисками 20 на равном расстоянии от них. На нити укреплен железный стерженек 17 (перпендикулярный к плоскости чертежа), помещенный между двумя катушками 18. Магнитное поле этих катушек, создаваемое импульсом тока, придает всей подвесной системе некоторый вращательный момент, после чего диск со всей системой совершает затухающие гармонические колебания (с постоянным логарифмическим декрементом).

На расстоянии 2,5 м от бомбы установлена 30 см шкала, отражение от которой в зеркальце 19, закрепленном на нити вискозиметра,

* К сожалению, описание методики, которой пользовались авторы, не опубликовано, вследствие чего точность приводимых ими данных не может быть оценена.

наблюдается в зрительную трубу после поворота луча на 90° призмой полного внутреннего отражения.

Установка зеркальца производится вращением винта 5 через канал обтюратора бомбы 3. Установка диска наблюдается перед опытом через два коаксиальных окошка 9, которые после установки закрываются заглушками. Окно 8 изготовлено из оптического стекла и его уплотнение осуществляется оптическим контактом двух плоскостей, приточенных до 2—3 ньютоновых колец.

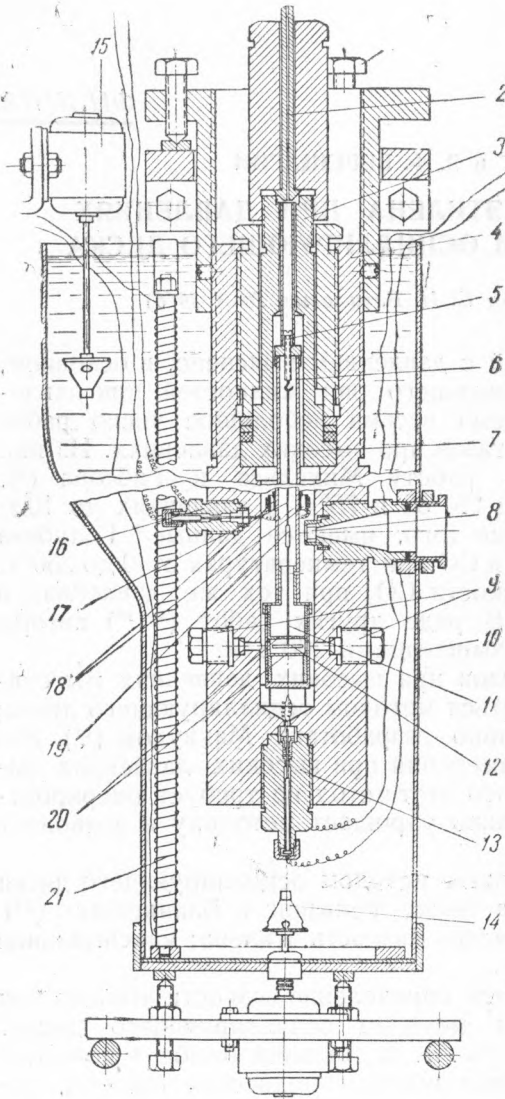


Рис. 1. Установка для измерения вязкости сжатых газов

Бомба помещена в термостат 10 и рассчитана на производство измерений до давления 3000 атм. Установка бомбы осуществляется тремя винтами 1. Давление измеряется образцовым манометром. Подача давления осуществляется через капилляр 2. При помощи электроввода для термодпары 13 и термодпары, помещенной внутрь бомбы, можно было контролировать температуру газа во время измерений. На рис. 1 показан также электроввод 16 для подачи импульса тока в катушки, мешалка 14, мотор с мешалкой 15 и электронагреватели 21.

Основные данные прибора: манганиновая нить 7 имеет длину 290 мм и диаметр 0,05 мм, стальной стержень 11, соответственно—105 и 0,8 мм, диаметр диска 12—30 мм, высота 1,272 мм; расстояние между неподвижными дисками 20 11,70 мм.

Этилен (99,0% C_2H_4) подавался в бомбу пятиступенчатым компрессором гоферовского типа на глицериновой смазке. Очистка газа под давлением от паров глицерина и воды производилась в бомбах-фильтрах с силикагелем и $CaCl_2$.

Расчет результатов наблюдений производился по проверенным на опыте (14—15) формулам, предложенным Маквудом:

$$\eta = \eta' \left(1 - \frac{2\sqrt{\tau_1'/\pi\rho} - 4l}{2\sqrt{\tau_1'/\pi\rho} + \frac{R}{2} - 2d} \right), \quad (1)$$

$$\sqrt{\tau_1'} = k \sqrt{\frac{\pi}{\tau\rho} \left[\left(\frac{\tau}{\tau_0} \right)^2 \frac{\lambda}{2\pi} - \frac{\tau}{\tau_0} \frac{\lambda_1}{2\pi} \right] \left(1 - \frac{\lambda}{4\pi} \right)}, \quad (2)$$

где k — константа прибора при данной температуре, π и λ — период

и логарифмический декремент колебаний, ρ — плотность, $2d$ и R — толщина и радиус диска; τ_0 и λ_0 относятся к полному вакууму. Значение λ_0 принято равным 0,0003 (по данным Фогеля⁽¹⁶⁾); значение τ_0 получено экстраполяцией и равно 17,00 сек. Величина λ равна полуразности натуральных логарифмов длин дуг между крайними отклонениями системы при двух последовательных колебаниях. В наших опытах значения λ были постоянными в пределах $\pm 0,5\%$.

Величина k ($k = 4J/\pi R^4$, где J — момент инерции всей системы) определялась калибровкой по вязкости азота (99,5% N₂) при 25°С и

Таблица 1
Калибровка установки по вязкости азота

| P атм | λ | τ сек. | ρ г/см ³ (17) | $\eta \cdot 10^7$ (2) | k |
|------------|-----------|----------------|----------------------------------|-----------------------|-------|
| 100 | 0,02188 | 17,124 | 0,1141 | 1990 | 3,091 |
| 200 | 0,03148 | 17,184 | 0,2155 | 2310 | 3,114 |
| 300 | 0,04016 | 17,233 | 0,2994 | 2680 | 3,088 |
| 400 | 0,04605 | 17,273 | 0,3644 | 3070 | 3,124 |

давлениях 100, 200, 300 и 400 атм. Результаты калибровки приведены в табл. 1. Из рассмотрения данных этой таблицы следует, что значение k при различных давлениях колеблется около некоторого среднего значения $k = 3,104 \pm 0,6\%$.

Для выяснения вопроса о величине дополнительного торможения

Таблица 2
Вязкость этилена при 24°С

| P атм | λ | τ сек. | ρ г/см ³ (18) | $\eta \cdot 10^4$ |
|------------|-----------|----------------|----------------------------------|-------------------|
| 100 | 0,05017 | 17,331 | 0,3344 | 3,80 |
| 200 | 0,06697 | 17,406 | 0,4058 | 5,50 |
| 300 | 0,07707 | 17,452 | 0,4333 | 6,81 |
| 400 | 0,08248 | 17,432 | 0,4605 | 7,82 |
| 500 | 0,09057 | 17,503 | 0,4783 | 8,62 |
| 600 | 0,09591 | 17,534 | 0,4922 | 9,40 |
| 700 | 0,10101 | 17,560 | 0,5044 | 10,16 |
| 800 | 0,10584 | 17,586 | 0,5151 | 10,94 |
| 900 | 0,11038 | 17,613 | 0,5241 | 11,71 |
| 1000 | 0,11444 | 17,638 | 0,5327 | 12,43 |

колебаний, обусловливаемого зеркальцем, были проведены опыты с этиловым эфиром; при этом сравнивались значения λ при зеркальце, погруженном в эфир, и при зеркальце, находящемся в парах эфира. Разницы в значениях λ в пределах точности определений обнаружено не было.

В табл. 2 приведены полученные нами данные о вязкости этилена при 24°С и давлениях до 1000 атм. Оценка возможных погрешностей дает в сумме около 2%. Достигнутая точность представляется вполне достаточной, если учесть, что вязкость этилена при 1000 атм в 3,3 раза выше, чем при 100 атм, и в 12 раз больше вязкости этилена при атмосферном давлении.

Камингс и Игли⁽¹⁹⁾ предложили корреляционные графики вязкости газов и паров под давлением. На этих графиках отношения вязкости

газа при данном давлении и температуре к вязкости его при той же температуре и атмосферном давлении η_p/η_1 откладываются против приведенных давлений $\pi = p/p_{\text{крит}}$, причем строятся изотермы при приведенных температурах $\vartheta = T/T_{\text{крит}}$. При нанесении на такой график полученные нами данные о вязкости этилена (при $\vartheta = 1,05$) находятся

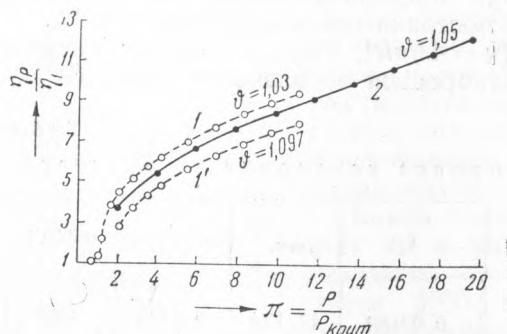


Рис. 2. Корреляционный график вязкости этилена (наши данные) и вязкости двуокси углерода (данные Голубева и Петрова⁽³⁾).
1, 1' — CO₂; 2 — C₂H₄

в весьма удовлетворительном соответствии с данными Голубева и Петрова⁽³⁾ по вязкости CO₂ при $\vartheta = 1,03$ и $\vartheta = 1,097$ (рис. 2).

Работа продолжается с целью получения данных о вязкости газов при более высоких давлениях.

Лаборатория сверхвысоких давлений
Института органической химии
Академии Наук СССР

Поступило
26 X 1946

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. В. Бриджмен, Физика высоких давлений, 1935. ² A. Michels, R. Gibson, Proc. Roy. Soc. **134**, 288 (1931). ³ Справочная книжка азотчика, ОНТИХЛ, 1944. ⁴ J. H. Boyd, Phys. Rev., **35**, 1284 (1930). ⁵ P. Phillips, Proc. Roy. Soc., A, **87**, 48 (1912). ⁶ H. Stakelbeck, Z. ges. Kälte-Ind., **40**, 33 (1933). ⁷ B. H. Sage, W. N. Lacey, Ind. Eng. Chem., **30**, 829 (1938). ⁸ E. W. Comings, R. S. Egly, Ind. Eng. Chem., **33**, 1224 (1941). ⁹ И. Голубев, ЖТФ, **8**, 1932 (1938). ¹⁰ A. G. Nasini, G. Pastonesi, Gazz. Chim. Ital., **63**, 821 (1933). ¹¹ G. Macwood, Physica, **5**, 374, 763 (1933). ¹² J. G. Mason, O. Maass, Canad. J. Res., **18**, 125 (1940). ¹³ W. A. Felsing, F. Blankenship, Proc. Ocla. Ac. Sci., **24**, 90 (1944). ¹⁴ W. H. Keesom, G. Macwed, Physica, **5**, 745 (1933). ¹⁵ A. N. Itterbeck, O. V. Paemel, Physica, **8**, 133 (1941). ¹⁶ H. Vogel, Ann. Physik, **43**, 1235 (1914). ¹⁷ Справочник Технической энциклопедии, **5**. ¹⁸ E. H. Amagat, Ann. chim. Phys., **29**, 68 (1893). ¹⁹ E. W. Comings, R. S. Egly, Ind Eng. Chem., **32**, 714 (1940).