

Лабораторная работа № 3

Фазовый переход в четыреххлористом углероде под давлением

Сардор Исламов

4 октября 2023

Аннотация. В ходе данной работы было изучено устройство пресса и камеры высокого давления типа цилиндр-поршень. Также были рассмотрены фазовые переходы в органической жидкости CCl_4 по скачкам объёма.

Теоретическое введение

Фазовый переход в CCl_4 . Органическая жидкость CCl_4 при обычных условиях используется как прекрасный растворитель жиров. Без давления она замерзает при температуре около минус 25°C . По мере роста давления затвердевание происходит при всё более высокой температуре, и это видно из фазовой диаграммы CCl_4 , представленной на рисунке 1.

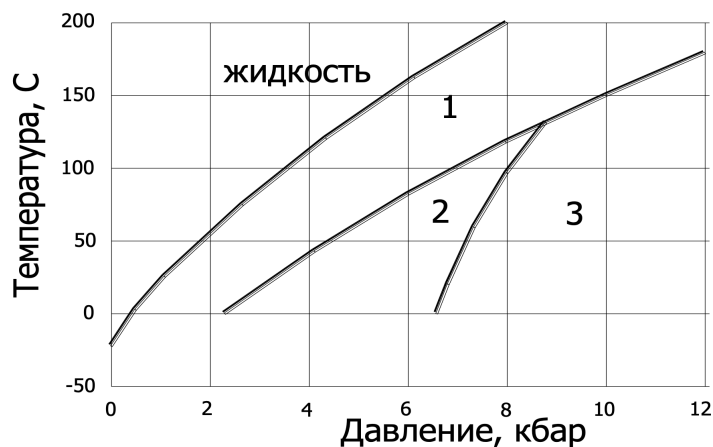


Рис. 1: Фазовая диаграмма CCl_4

Затвердевшая жидкость не является настоящим ионным кристаллом, положение молекул зафиксировано, но атомы хлора продолжают движение вокруг атомов углерода. По мере роста давления происходит твёрдотельный фазовый переход из фазы 1 в фазу 2, в которой положение всех атомов уже фиксировано. В дальнейшем фаза 2 переходит в фазу 3, однако этот переход сопровождается очень небольшим скачком объёма, и поэтому его трудно наблюдать.

Экспериментальная установка

Пресс. Пресс характеризуется своим максимальным усилием, равным произведению площади поршня пресса S и давления P , действующего на его поршень. Схематически устройство пресса представлено на рис. 2.

Сосуд высокого давления. Пресс имеет силовую раму, которая упруго деформируется при приложении нагрузки. Рама, изображенная на рисунке, состоит из двух массивных стальных плит, которые скреплены с помощью гаек четырьмя колоннами.

Главным элементом пресса является пара цилиндр-поршень, которую называют головкой пресса. Торец поршня, обращенный к объему со сжатой жидкостью, имеет форму усеченного конуса. В нижней части поршень проточен до меньшего диаметра. Такая кольцевая проточка нужна для возврата поршня в верхнее положение. Стрелками на рисунке показано поступление масла при увеличении усилия пресса. Масло подается под давлением через верхнее отверстие и свободно вытекает из кольцевого зазора через нижнее отверстие. Диаметр поршня пресса равен 90 мм, диаметр проточенной части 70 мм.

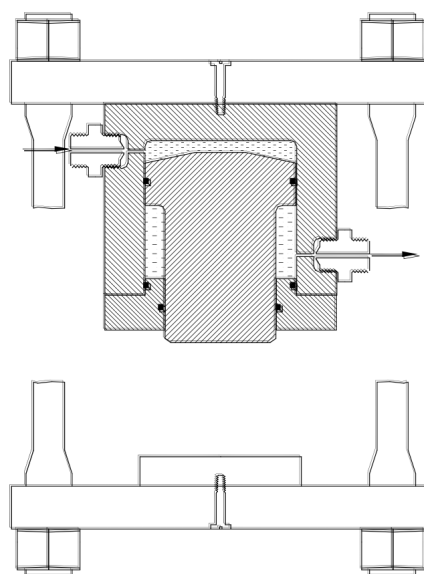


Рис. 2: Устройство пресса

Сосуд высокого давления. Для работы с высоким давлением используются камеры высокого давления типа цилиндр-поршень. Устройство камеры показано на рисунке 3. Цилиндрический корпус камеры 8 окружает рабочую полость 7, заполненную жидкостью, передающей давление на образец. Эта полость закрыта сверху подвижным поршнем 5, 6 и неподвижным обтюратором 9 снизу. Для предотвращения вытекания жидкости из сосуда поршень и обтюратор снабжены грибковым уплотнением. Принцип работы уплотнения состоит в том, что давление в прокладках, находящихся в состоянии пластического течения, всегда автоматически выше давления в рабочей жидкости. Поршень состоит из двух частей – толкателя 5 и грибка 6. Под "шляпкой" грибка расположен набор прокладок (резина, медь, сталь), а "ножка" грибка не упирается в дно углубления в толкателе. Со стороны рабочей полости сосуда на грибок действует сила $F_1 = P_0 S_0$, где P_0 – рабочее давление в сосуде, а S_0 равна площади рабочего канала сосуда. Со стороны прокладок на грибок действует сила $F_2 = P_1 (S_0 S_1)$, где P_1 – давление в прокладке, а S_1 равна площади "ножки" грибка. Из равенства сил, действующих на грибок в осевом направлении, следует, что давление в прокладках всегда выше давления в камере из-за некомпенсированной площади "ножки" грибка, не упирающейся в толкатель. Обтюратор 9 уплотнён таким же образом. Здесь некомпенсированной оказывается площадь стержня, проходящего через отверстие в упорной гайке обтюратора 10.

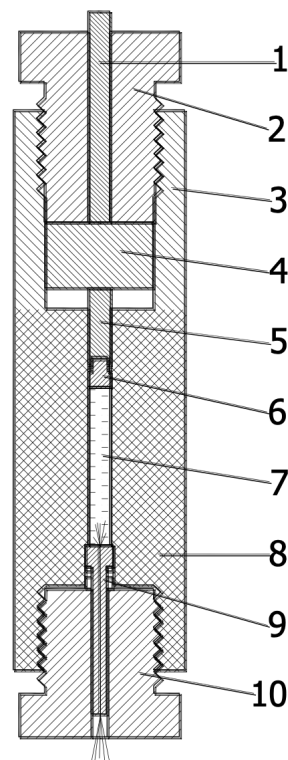


Рис. 3: Сосуд высокого давления

Результаты измерений и обработка данных

После настройки установки ступенчато поднимаем давление в камере, кратковременно включая и выключая насос так, чтобы перемещение составляло примерно 0.3 мм (один оборот стрелки на индикаторе соответствует перемещению на 1 мм). Занесем данные в таблицу и отобразим на графике (рис. 4)

$P_{\text{и}}, \text{ кгс/см}^2$	$l, \text{ мм}$	$P_{\text{к}}, \text{ бар}$
0	6.24	0
1.4	6.4	708.75
1.8	6.55	911.25
2.4	6.8	1215
3	7.15	1518.75
3.5	7.43	1771.875
3.7	7.68	1873.125
3.9	8.22	1974.375
4	8.49	2025
4.2	8.75	2126.25
4.6	8.97	2328.75
5.3	9.26	2683.125
6.2	9.62	3138.75
7	9.92	3543.75
7.8	10.15	3948.75
8.4	10.38	4252.5
8.4	10.66	4252.5
8.4	10.93	4252.5
8.6	11.23	4353.75
9.1	11.49	4606.875
9.9	11.74	5011.875

$P_{\text{и}}, \text{ кгс/см}^2$	$l, \text{ мм}$	$P_{\text{к}}, \text{ бар}$
6.1	11.5	3088.125
5	11.24	2531.25
4.6	10.9	2328.75
4.6	10.46	2328.75
4.4	10.12	2227.5
3.8	9.88	1923.75
3.1	9.6	1569.375
2.3	9.23	1164.375
1.6	8.85	810
1.1	8.48	556.875
1.1	8.02	556.875
1	7.5	506.25
0.5	7.19	253.125
0.1	6.74	50.625
0	6.53	0

В таблице приведены результаты измерений при ступенчатом поднятии и уменьшения давления.

Как видно, результаты измерений в обе стороны различны из-за гистерезиса, возникающего в стенках поршня вследствие большого трения. Истинное значение можно получить усреднив данные. Так, для двух фазовых переходов получаем значения $P_1 \approx (557 + 2000)/2 = 1280$ бар, $P_2 \approx (2330 + 4252)/2 = 3290$ бар.

Подведение итогов

В ходе данной работы было изучено устройство пресса и камеры высокого давления типа цилиндр-поршень. Были рассмотрены фазовые переходы в органической жидкости CCl_4 по скачкам объёма. По результатам измерений давления, при которых происходили фазовые переходы, равны соответственно $P_1 = 1280$ бар и $P_2 = 3290$ бар. Погрешности измерений очень велики вследствие некорректного отображения давления манометром (занижение значений при поднятии давления и завышение при снижении).

