

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР УДАРНОСЖАТЫХ CCl_4 И РАСТВОРА $\text{CCl}_4 - \text{C}_6\text{H}_6$

И.М.Воскобойников, В.М.Богомолов

Сведения об уравнении состояния веществ (в частности, органических) при высоких давлениях можно получить при изучении состояний, достигаемых при ударном сжатии. Ударные адиабаты некоторых органических жидкостей были определены в [1,2] и ряде других работ; на основе статистической обработки этих данных для органических веществ была предложена [3] обобщенная зависимость

$$D = 1,2 C_0 + 1,7 U,$$

где D — скорость распространения ударной волны, U — скорость вещества за фронтом волны, C_0 — скорость звука в веществе в начальном состоянии. Расчет с указанной зависимостью позволяет предвидеть динамические сжимаемости с точностью, достаточной для решения подавляющего большинства газодинамических задач. В то же время данные о температурах ударного сжатия органических жидкостей практически отсутствуют в литературе.

В настоящем сообщении приводятся результаты измерений яркостных температур ударносжатых четыреххлористого углерода CCl_4 и раствора четыреххлористый углерод-бензол C_6H_6 63/37. Регистрация излучения ударного фронта производилась через слой еще несжатого вещества с помощью установки, схема которой подобна использованной ранее при изучении детонации жидких ВВ [4]. В качестве светочувствительного элемента был выбран фотоумножитель ФЭУ-28, ток которого записывался на импульсном осциллографе ОК-17 М. Экспериментально определялись яркости свечения в полосе пропускания светофильтра КС-19 (700-800 мкм). Размеры и конструкция зарядов, детонация которых создавала ударную волну в исследованных жидкостях, обеспечивали спад давления за фронтом в течение первой микросекунды не более, чем на 5%.

Точность определения давлений составляла 5 *кбар*, разброс давлений в идентичных опытах не превышал 1%. Временное разрешение записи свечения было равно примерно 0,1-0,2 *мксек*.

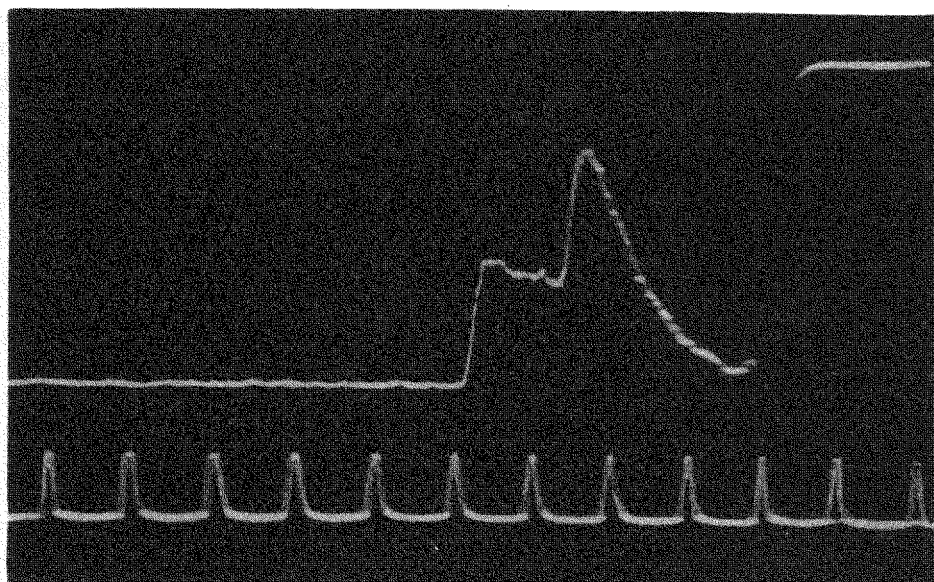


Рис.1. Запись яркости свечения ударного фронта

Типичная осциллограмма записи яркости свечения ударного фронта по мере прохождения волны по образцу представлена на рис.1. Насыщение яркости (образование равновесноизлучающего слоя) происходило за 0,2 *мксек*, затем наблюдался медленный спад. Измерения проводились в максимуме свечения. Полученные значения температур (нанесены на рис.2 кружочками) являются результатом осреднения трех-пяти опытов при отклонениях в отдельных измерениях меньше, чем 100°К.

Найденные яркостные температуры ударных фронтов отождествлялись, учитывая малую ширину ударного перехода в жидкостях, с температурами вещества непосредственно за ударным фронтом. Переход от яркостных температур к истинным осуществлялся по формуле

$$T_{\text{ист}}^{-1} - T_{\text{ярк}}^{-1} = \frac{\lambda}{C_2} \ln \epsilon_{\lambda},$$

где $C_2 = 1,438^\circ\text{К}\cdot\text{см}$, λ — длина волны излучения (750 *мкм*). Величина излучательной способности ϵ_{λ} равновесноизлучающего тела связана с коэффициентами пропускания τ_{λ} и отражения r_{λ} соотношением $\epsilon_{\lambda} = 1 - r_{\lambda} - \tau_{\lambda}$. Коэффициент отражения ударного фронта в CCl_4 при давлениях 100-200 *кбар* меньше 0,1 [5], прозрачность исследованных жидкостей за ударным фронтом при $T > 1500^\circ\text{К}$ невелика. Об этом свидетельствует быстрое насыщение яркости свечения ударной волны при вхождении в жидкость, а также резкое увеличение яркости при догоне

первой ударной волны второй, идущей вслед за первой (второй отброс на осциллограмме рис.1). Если бы вещество за ударным фронтом было прозрачно, то яркость плавно нарастала бы при сближении ударных фронтов. Когда ϵ_λ равняется 0,8, то различие между яркостной и истинной температурами оказывается меньшим, чем возможная ошибка измерений. По этой причине в ходе сравнения экспериментальных значений температур ударного сжатия с результатами расчета пренебрегалось расхождением между $T_{\text{ярк}}$ и $T_{\text{ист}}$.

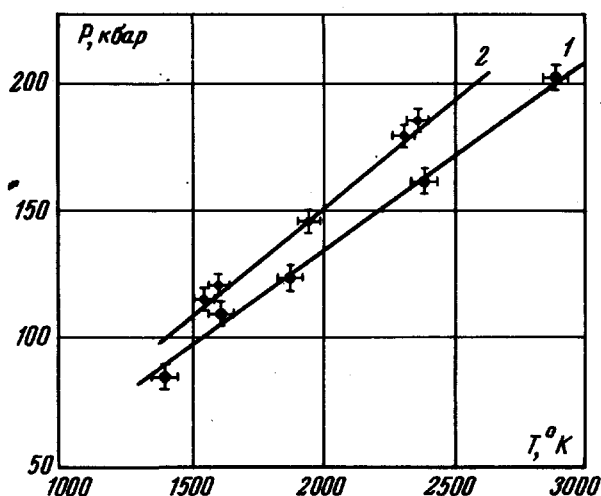


Рис.2. Связь температуры с давлением при ударном сжатии CCl_4 (кривая 1) и раствора $\text{CCl}_4 - \text{C}_6\text{H}_6$ (кривая 2)

Для описания состояния органической жидкости использовалась модель молекулярного кристалла в предположении, что в процессе сжатия характеристические частоты (температуры) внутримолекулярного взаимодействия сохраняются постоянными. Выражения для давления и внутренней энергии записывались в виде

$$P = P_x(V) + \frac{3R\Gamma}{MV} T; \quad E = \int_V P_x dV + \int_T C_V dT,$$

где $\Gamma = -\partial \ln \theta / \partial \ln V$ – коэффициент Грюнайзена, равный в начальном состоянии вещества $\Gamma_0 = \beta_0 C_0^2 M / 3R$, β – коэффициент термического расширения, M – молекулярный вес, R – газовая постоянная. Температура вещества за ударным фронтом находилась при совместном решении уравнений изотермы и закона сохранения энергии:

$$P_{T_0} = P - \frac{3R\Gamma}{MV} (T - T_0); \quad 0,5 P(V_0 - V) - \int_{V_0}^V P_{T_0} dV = \int_{T_0}^T C_V dT.$$

Решение должно удовлетворять термодинамическому тождеству

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_V = -1.$$

Ударная адиабата вещества предполагается известной.

Рассчитанные таким образом зависимости температура-давление ударносжатого вещества (сплошные линии на графике рис.2) сравнивались с экспериментально полученными значениями. Хорошее согласие между указанными величинами является, на наш взгляд, подтверждением предположения о неизменности характеристических температур внутримолекулярного взаимодействия при сжатии органических жидкостей менее, чем в 1,5-1,7 раза.

Институт химической физики
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
26 февраля 1968 г.

Литература

- [1] J. Walsh, M. Rice, J. Chem. Phys., 26, 815, 1957.
- [2] M. A. Cook, L. A. Rogers. J. Appl. Phys., 34, 2330, 1963.
- [3] И.М.Воскобойников, А.Н.Афанасенков, В.М.Богомолов. ФГВ, № 4, 585, 1967.
- [4] И.М.Воскобойников, А.Я.Апин. ДАН СССР, 130, 804, 1960.
- [5] К.Б.Юшко, Г.В.Кришкевич, С.Б.Кормер. Письма ЖЭТФ, 7, 12, 1968.