

Ударная сжимаемость пенополикарбоната и уравнение состояния этого материала при высоких плотностях энергии

Ф. И. Тарасов¹, А. Ю. Николаев¹, Р. Н. Канунников¹,
А. С. Лобачёв¹, В. Е. Симонов¹, Я. М. Горопашный¹,
Е. Б. Смирнов^{1,2}, Д. В. Петров¹, **К. В. Хищенко^{3,2,4,5,*}**

¹Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики
имени академика Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

²Южно-Уральский государственный университет, Челябинск

³Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия

⁴Московский физико-технический институт, Долгопрудный

⁵Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии
РАН, Черноголовка
**konst@ihed.ras.ru*

Shock compressibility of polycarbonate foam and the equation of state of this material at high energy densities

F. I. Tarasov¹, A. Yu. Nikolaev¹, R. N. Kanunnikov¹,
A. S. Lobachyov¹, V. E. Simonov¹, Ya. M. Goropashnyi¹,
E. B. Smirnov^{1,2}, D. V. Petrov¹, K. V. Khishchenko^{3,2,4,5,*}

¹Academician Zababakhin All-Russian Research Institute of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

²South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

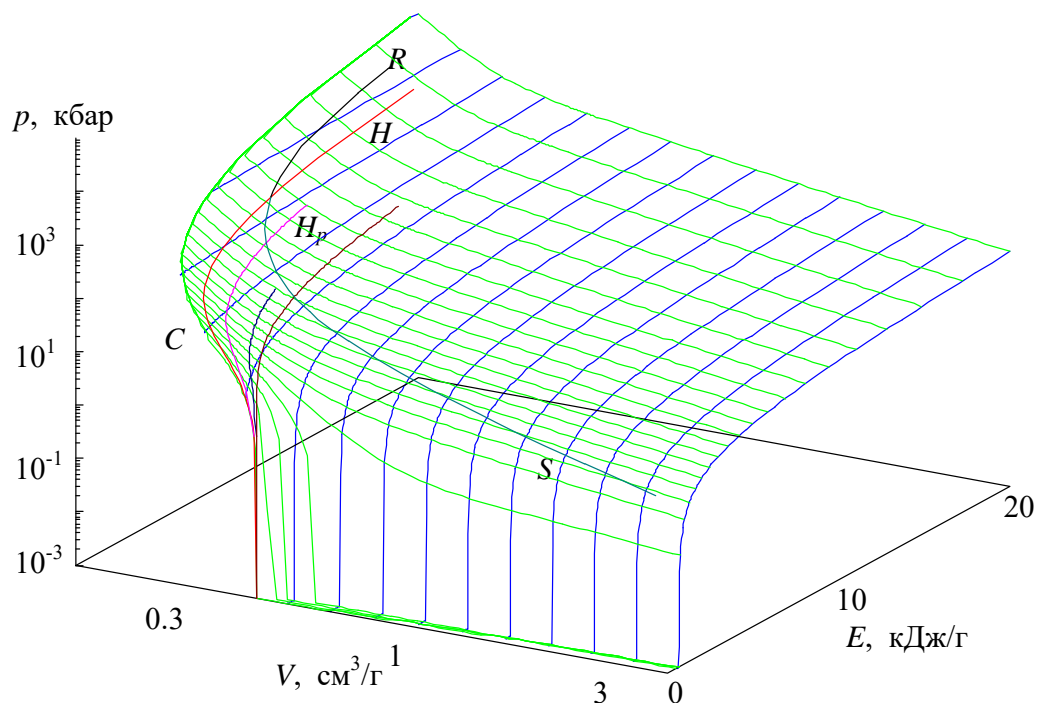
³Joint Institute for High Temperatures RAS, Moscow, Russia

⁴Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia

⁵Federal Research Center of Problems of Chemical Physics and Medicinal Chemistry RAS,
Chernogolovka, Russia

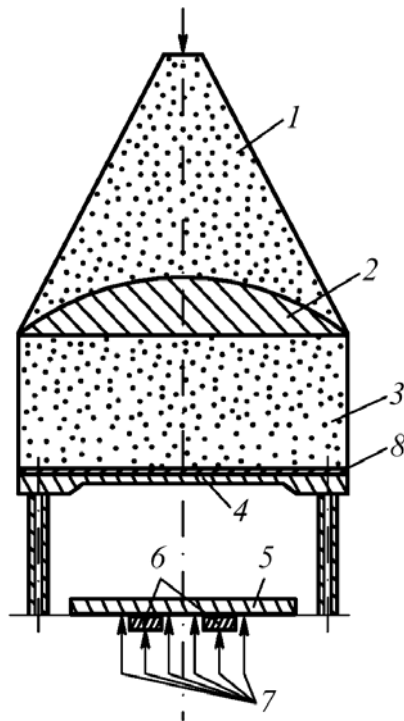
**konst@ihed.ras.ru*

Тефлон. Расчетная поверхность давление–объем–внутренняя энергия



C — кривая упругого сжатия при $T = 0$ К,
 H и H_p — ударные адиабаты сплошных и пористых образцов,
 R — кривая повторного нагружения, S — изоэнтропа расширения

Взрывное измерительное устройство с разгоном ударника до скоростей 5–6 км/с



- 1 — линзовый заряд ВВ,
- 2 — плоскороволновая линза,
- 3 — основной заряд,
- 4 — стальной ударник,
- 5 — экран из эталонного металла,
- 6 — исследуемый образец,
- 7 — электроконтактные датчики,
- 8 — прокладка из плексигласа

Модель уравнения состояния в калорической форме $E = E(V, P)$ или $P = P(V, E)$

Общий вид

$$P(V, E) = P_c(V) + \frac{\Gamma(V, E)}{V} (E - E_c(V))$$

Упругая компонента (при $T = 0$ К)

$$E_c(V) = \frac{B_{0c} V_{0c}}{m - n} (\sigma_c^m / m - \sigma_c^n / n) + E_d$$

$$\sigma_c = V_{0c} / V$$

при $V = V_{0c}$: $E_c(V_{0c}) = 0$

$$E_d = B_{0c} V_{0c} / mn$$

$$P_c(V_{0c}) = -dE_c/dV = 0$$

$$B_c(V_{0c}) = -VdP_c/dV = B_{0c}$$

$$B'_c(V_{0c}) = dB_c/dP_c = B'_{0c}$$

Модель уравнения состояния в калорической форме $E = E(V, P)$ или $P = P(V, E)$

Общий вид

$$P(V, E) = P_c(V) + \frac{\Gamma(V, E)}{V} (E - E_c(V))$$

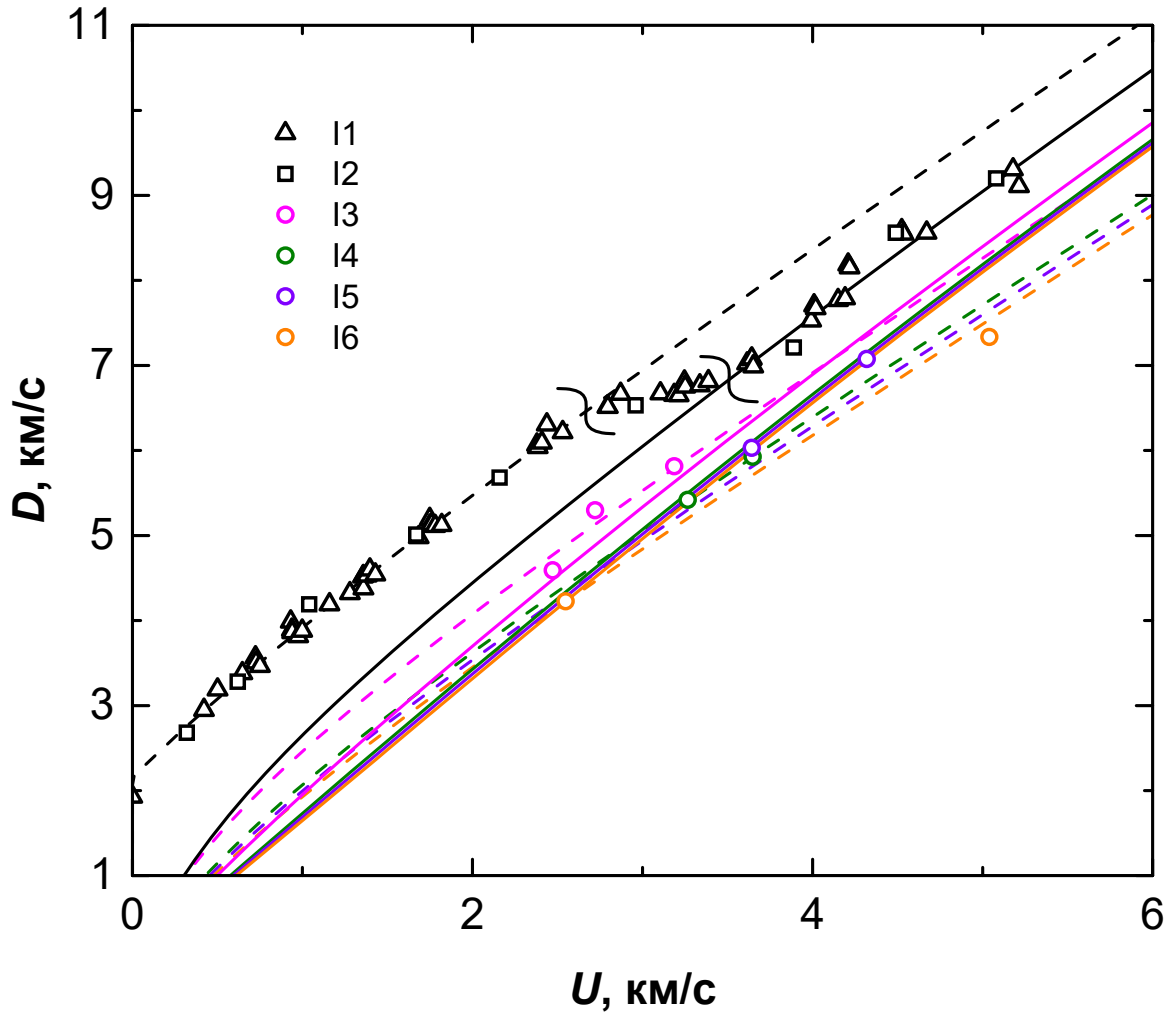
Тепловая компонента

$$\Gamma(V, E) = \gamma_i + \frac{\gamma_c(V) - \gamma_i}{1 + \sigma_c^{-2/3} (E - E_c(V)) / E_a}$$

$$\gamma_c(V) = 2/3 + (\gamma_{0c} - 2/3) \frac{\sigma_n^2 + \ln^2 \sigma_m}{\sigma_n^2 + \ln^2(\sigma / \sigma_m)}$$

$$\sigma = V_0 / V$$

Ударные адиабаты образцов поликарбоната различной начальной плотности

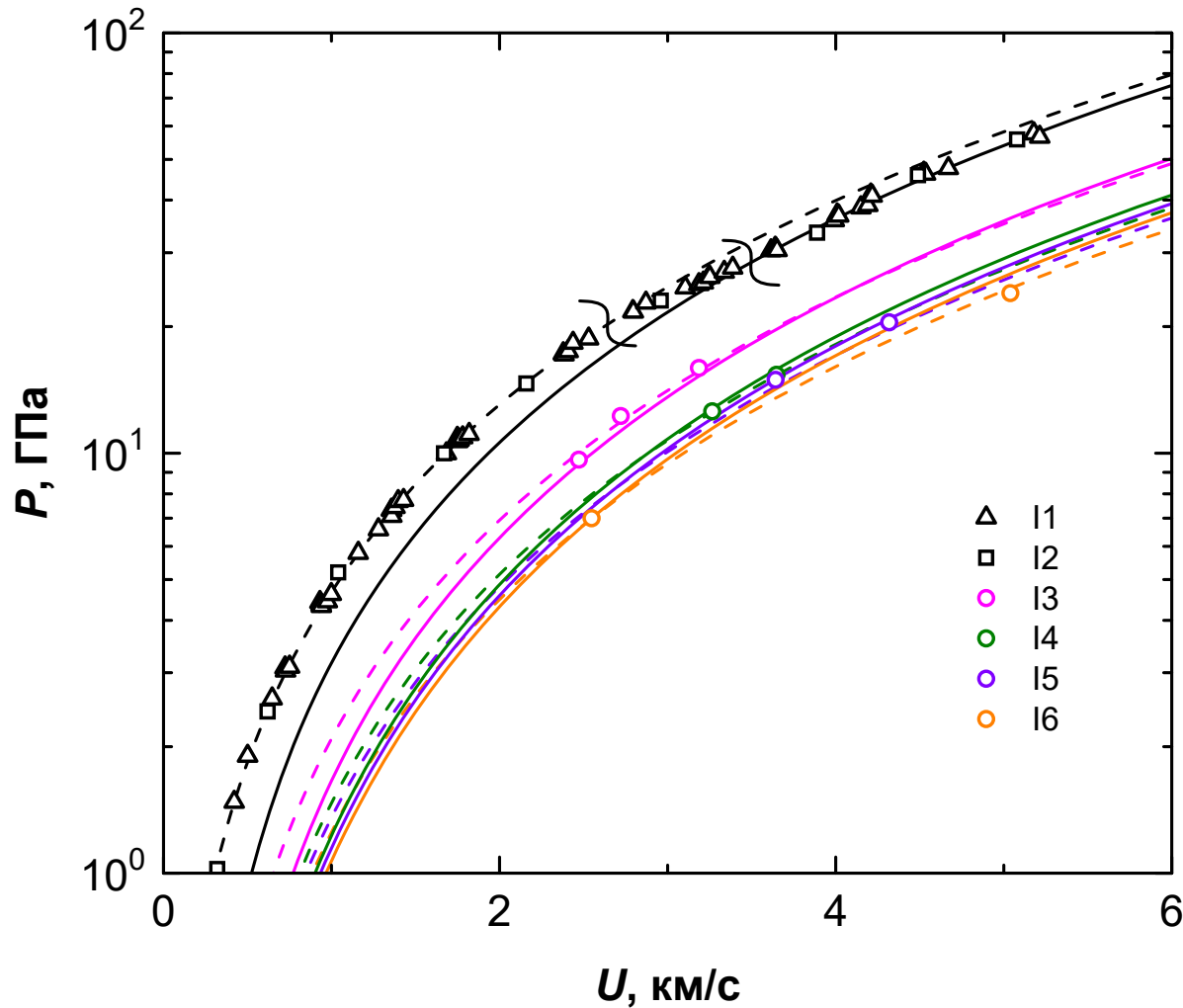


Пунктирные и сплошные линии – результаты расчетов для образцов с начальной плотностью $\rho_{00} = 1.193$, 0.85, 0.71, 0.68 и 0.65 г/см³ (кривые сверху вниз) по уравнениям состояния исходного материала и продуктов его физико-химического превращения. Волнистыми линиями показано положение границ области физико-химического превращения. Маркеры – экспериментальные данные для образцов с начальной плотностью $\rho_{00} = 1.193$ (I1 – [1]; I2 – [2]), 0.85 (I3 – эта работа), 0.71 (I4 – эта работа), 0.68 (I5 – эта работа) и 0.65 г/см³ (I6 – эта работа).

[1] LASL Shock Hugoniot Data / Ed. Marsh S.P. Berkeley, CA, USA: University of California Press, 1980.

[2] Трунин Р.Ф., Гударенко Л.Ф., Жерноклетов М.В., Симаков Г.В. Экспериментальные данные по ударно-волновому сжатию и адиабатическому расширению конденсированных веществ. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2006.

Ударные адиабаты образцов поликарбоната различной начальной плотности

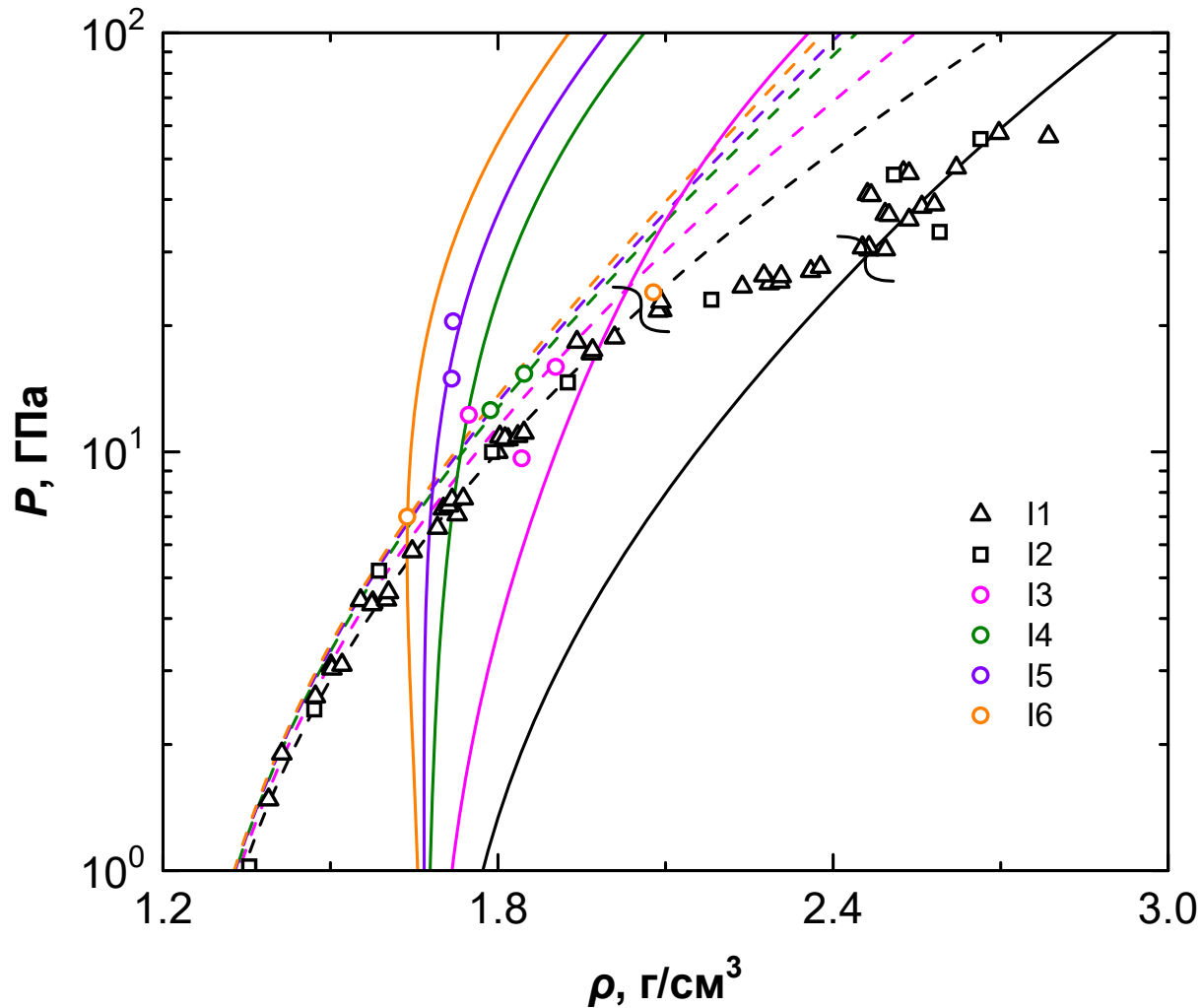


Пунктирные и сплошные линии – результаты расчетов для образцов с начальной плотностью $\rho_{00} = 1.193, 0.85, 0.71, 0.68$ и 0.65 г/см³ (кривые сверху вниз) по уравнениям состояния исходного материала и продуктов его физико-химического превращения. Волнистыми линиями показано положение границ области физико-химического превращения. Маркеры – экспериментальные данные для образцов с начальной плотностью $\rho_{00} = 1.193$ (I1 – [1]; I2 – [2]), 0.85 (I3 – эта работа), 0.71 (I4 – эта работа), 0.68 (I5 – эта работа) и 0.65 г/см³ (I6 – эта работа).

[1] LASL Shock Hugoniot Data / Ed. Marsh S.P. Berkeley, CA, USA: University of California Press, 1980.

[2] Трунин Р.Ф., Гударенко Л.Ф., Жерноклетов М.В., Симмаков Г.В. Экспериментальные данные по ударно-волновому сжатию и адиабатическому расширению конденсированных веществ. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2006.

Ударные адиабаты образцов поликарбоната различной начальной плотности



Пунктирные и сплошные линии – результаты расчетов для образцов с начальной плотностью $\rho_{00} = 1.193, 0.85, 0.71, 0.68$ и 0.65 г/см^3 (кривые сверху вниз) по уравнениям состояния исходного материала и продуктов его физико-химического превращения. Волнистыми линиями показано положение границ области физико-химического превращения. Маркеры – экспериментальные данные для образцов с начальной плотностью $\rho_{00} = 1.193$ (I1 – [1]; I2 – [2]), 0.85 (I3 – эта работа), 0.71 (I4 – эта работа), 0.68 (I5 – эта работа) и 0.65 г/см^3 (I6 – эта работа).

[1] LASL Shock Hugoniot Data / Ed. Marsh S.P. Berkeley, CA, USA: University of California Press, 1980.

[2] Трунин Р.Ф., Гударенко Л.Ф., Жерноклетов М.В., Симачков Г.В. Экспериментальные данные по ударно-волновому сжатию и адиабатическому расширению конденсированных веществ. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2006.

Выводы

- Экспериментально исследована ударная сжимаемость **пенополикарбоната** с плотностью от 0.85 до 0.65 г/см³ в интервале давлений до 25 ГПа.
- Полученные данные по ударной сжимаемости образцов **поликарбоната** различной начальной плотности позволили уточнить уравнения состояния этого материала и продуктов его физико-химического превращения в широком диапазоне давлений и степеней сжатия.
- Новые данные и уравнения состояния могут быть использованы для анализа и численного моделирования динамики процессов при высоких плотностях энергии.

Спасибо