

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИЗОЭНТРОПЫ ЖИДКОСТЕЙ НА БАЗЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Дж. Я. НАЗИЕВ

Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия
370010, Баку, пр. Азадлыг, 20

В. Г. ГАСАНОВ

Азербайджанский Технический Университет
370073, Баку, пр. Г. Джавида, 25

Предложен новый метод подхода к определению показателей изоэнтропии. Вычислены канонические показатели изоэнтропии для н.гептана и н. Октана в жидкой фазе в интервале температур от 303,15 до 483,15 К и давлений от 0,1 до 50 Мпа. Преимущество дано третьему показателю.

Знание показателей изоэнтропии (адиабаты) необходимо для многих практических задач: например, при вычислении скорости звука в среде, а также для определения термодинамических величин внутренней энергии, энтальпии, энтропии т.д. [1,2].

Нижепредложенный вариант определения надежного и точного показателя изоэнтропии с успехом может применяться в термодинамических расчетах процессов, протекающих в компрессорах, насосах, эжекторах, турбодетандерах, нефтепроводах, газопроводах, дросселях и других устройствах. Кроме того, изложенная ниже методика определения показателей может иметь определенный интерес в учебном процессе при чтении лекций по курсу "молекулярная физика и термодинамика".

из-за сильного изменения величины k с изменением давления и температуры. Поэтому перед исследователями ставится задача использования других показателей, которые претерпевают несущественные изменения с изменением параметров состояния жидкости или реального газа [3,4].

Исходными уравнениями для определения показателей изоэнтропии являются следующие уравнения Пуассона

$$PV^k = \text{const}, \quad (1)$$

$$TV^{\delta-1} = \text{const} \quad (2)$$

$$TP \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} = \text{const} \quad (3)$$

где P, V, T – давление, удельный объем и температура; k, δ, ε – первый, второй и третий показатели адиабаты, соответственно.

Здесь δ и ε рассматриваются как некоторые альтернативы традиционному показателю k . В работах [3,4] на основе вычисления для технически важных веществ показано, что, несомненно, имеет место преимущество показателей ε и δ (особенно ε) перед k – заметно меньше изменяются ε и δ в зависимости от P и T по сравнению с k .

В работе [5] на примере жидкого н.гептана доказано, что величина $k/(c_p/c_v)$ как функция от давления и температуры (до 50 Мпа и 548 К) изменяется в довольно широком диапазоне (до 5,84 до 2074,98). Таким образом, нахождение нового показателя изоэнтропии, удобного для применения и надежного для вычисления термодинамических величин является актуальной задачей.

В настоящей работе на базе полученных нами ранее PVT данных для н.гептана и н.октана в жидкой фазе с помощью уравнения состояния вычислены, так называемые, канонические показатели k, ε, δ в интервалах давления от 0,1 до 50 Мпа и температуры от 303,15 до 483,15 К.

Для случая адиабаты продифференцируя уравнения (1) – (3), получим,

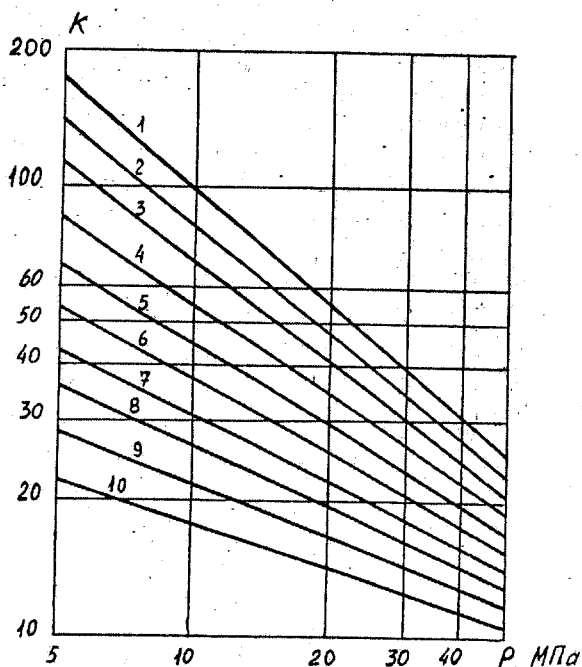


Рис. 1. Зависимость показателя k от давления для н.гептана 1 – 303, 15; 2 – 323, 15; 3 – 343, 15; 4 – 363, 15; 5 – 383,15; 6 – 403, 15; 7 – 423, 15; 8 – 443,15; 9 – 463, 15; 10 – 483, 15 К

На практике обычно применяют для этой цели первый показатель адиабаты традиционный k [2], тогда как вычисления показывают, что он дает большие погрешности

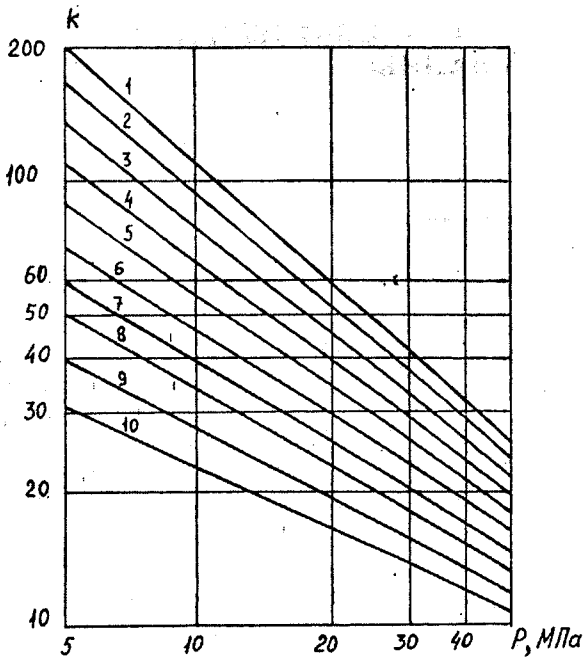


Рис. 2. Зависимость показателя k от давления для н-гептана 1 – 303, 15; 2 – 323, 15; 3 – 343, 15; 4 – 363, 15; 5 – 383, 15; 6 – 403, 15; 7 – 423, 15; 8 – 443, 15; 9 – 463, 15; 10 – 483, 15 К

$$k = -\frac{V}{P} \left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_s \quad (4)$$

$$\delta - 1 = -\frac{V}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_s \quad (5)$$

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} = -\frac{P}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_s \quad (6)$$

где s – энтропия вещества.

Совместно решив систему уравнений (1)-(3), имеем

$$k = (\delta - 1) \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \quad (7)$$

Последнее соотношение позволит в итоге проверить результаты вычислений.

Затем для преобразования уравнений (4)-(6) использовали известные термодинамические дифференциальные уравнения [1]:

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v \left(\frac{\partial T}{\partial V} \right)_P \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T = -1, \quad (8)$$

$$c_p - c_v = T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P, \quad (9)$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_s = -\frac{c_p}{c_v} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v \left(\frac{\partial T}{\partial V} \right)_P, \quad (10)$$

$$c_p = T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_s \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P, \quad (11)$$

$$c_v = -T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_s \quad (12)$$

где c_p – изобарная теплоемкость, c_v – изохорная теплоемкость вещества.

Учитывая (8)-(12), из (4)-(6) соответственно получим

$$k = -\frac{c_p}{c_v} \frac{V}{P} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T^{-1}, \quad (13)$$

$$\delta - 1 = \frac{V}{c_v} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v, \quad (14)$$

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} = \frac{P}{c_p} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \quad (15)$$

Для вычисления канонических показателей из соотношений (13)-(15) использовали уравнение состояния, предложенное нами в [6], которое хорошо передает экспериментальные данные по плотности углеводородов в жидкой фазе

$$\rho^4 = A(T) + B(T)P^{0,5} + C(T)P \quad (16)$$

где ρ – плотность жидкости, $A(T)$, $B(T)$, $C(T)$, – постоянные для данного вещества как функция от абсолютной температуры. Постоянные A, B, C , определены из опытных данных, приведенных в [7,8]. Величина изобарной теплоемкости c_p для н-гептана и н-октана заимствована из работы [9], а изохорная теплоемкость вычислена согласно выражению (9).

Результаты вычислений приведены в табл.1-6. На рис. 1 и 2 показана (в логарифмических координатах) зависимость k от давления по изотермам для н-гептана и н-октана.

Анализ изменения канонических показателей (табл. 1-6) свидетельствует о том, что первый показатель k для н-гептана и н-октана уменьшается монотонно с повышением температуры и давления. Как пример, для н-октана максимальное значение k имеет место при $T=303,15$ К и $P=0,1$ МПа (4192,84), а минимальное значение – при $T=483,15$ и $P=50$ МПа (11,54), т.е. k изменяется почти 400 раз, что делает его применение к термодинамическим величинам неудобным, поскольку усредненное значение k даст при этом больше погрешности.

Зависимость показателя ε от давления и температуры противоположно функции $k=f(P, T)$, а зависимость δ от таковых не однозначно – с повышением давления он увеличивается, а с возрастанием температуры монотонно уменьшается.

Вариация величин ε и δ около усредненных значений, как видно из таблиц, пренебрежимо мала, особенно для третьего показателя.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИЗОЭНТРОПИИ НА БАЗЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Таким образом, необходимость использования ε в качестве основного показателя изоэнтропии для практических расчетов повышенного класса точности, очевидна.

Таблица 1. Первый показатель изоэнтропии (k) н.гептана

T, K	P, МПа					
	0,1	5	10	20	30	50
303,15	2536,1546	166,7551	95,1955	54,0155	38,9198	26,1099
323,15	2227,3482	144,6499	82,5677	46,9651	33,9819	22,9768
343,15	1559,9194	117,5139	69,2173	40,6728	29,8918	20,6478
363,15	970,6059	90,9977	56,5279	34,9191	26,4261	18,9227
383,15	611,0204	68,7399	45,0489	29,4557	23,0586	17,1768
403,15	429,6983	55,0424	37,6627	25,8545	20,8375	16,0972
423,15	315,8041	44,3255	31,3020	22,2835	18,4099	14,6574
443,15	237,1348	35,9052	26,0147	19,0978	16,1064	13,1749
463,15	173,0255	28,7039	21,3798	16,2328	13,9871	11,7570
483,15	116,6671	22,5006	17,4619	14,0281	12,4132	10,6805

Таблица 2. Второй показатель изоэнтропии (δ) н.гептана

T, K	P, МПа					
	0,1	5	10	20	30	50
303,15	1,186825	1,581967	1,634108	1,658003	1,651491	1,612528
323,15	1,204234	1,611472	1,661767	1,688288	1,689630	1,672573
343,15	1,161745	1,523802	1,570542	1,597833	1,602981	1,604520
363,15	1,109166	1,409465	1,457365	1,4889228	1,500818	1,517948
383,15	1,073571	1,314499	1,363077	1,401130	1,419102	1,444661
403,15	1,056668	1,268183	1,319675	1,365027	1,387973	1,417152
423,15	1,047808	1,241631	1,294601	1,343995	1,369331	1,397646
443,15	1,043023	1,221914	1,272135	1,319290	1,342966	1,366916
463,15	1,03968	1,197416	1,239499	1,277724	1,296121	1,313586
483,15	1,034882	1,16583	1,199161	1,227622	1,238868	1,249745

Таблица 3. Третий показатель изоэнтропии (ε) н.гептана

T, K	P, МПа					
	0,1	5	10	20	30	50
303,15	1,000073	1,003502	1,006705	1,012331	1,017024	1,024023
323,15	1,000091	1,004245	1,008079	1,014873	1,020714	1,030154
343,15	1,000103	1,004477	1,008311	1,014917	1,020587	1,030161
363,15	1,000112	1,004520	1,008156	1,014200	1,019317	1,028141
383,15	1,000120	1,004596	1,008125	1,013806	1,018511	1,026575
403,15	1,000131	1,004896	1,008560	1,014331	1,018972	1,026604
423,15	1,000151	1,005481	1,009501	1,015679	1,020472	1,027885
443,15	1,000181	1,006219	1,010571	1,017002	1,021757	1,028647
463,15	1,000227	1,006925	1,011329	1,017406	1,021628	1,027403
483,15	1,000299	1,007458	1,011537	1,016493	1,019620	1,029943

Таблица 4. Первый показатель изоэнтропии (k) н.октана

T, K	P, МПа					
	0,1	5	10	20	30	50
303,15	4192,84	203,02	110,39	59,87	42,04	27,32
323,15	3478,82	175,51	96,28	52,82	37,43	24,68
343,15	2349,68	144,07	81,68	46,20	33,36	22,51
363,15	1477,05	114,68	68,07	40,20	29,70	20,61
383,15	992,96	91,59	56,68	34,90	26,47	18,87
403,15	721,54	74,35	47,51	30,26	23,37	17,12
423,15	556,00	61,51	40,18	26,25	20,61	15,39
443,15	434,48	50,91	33,92	22,71	18,11	13,86
463,15	323,26	41,08	28,16	19,50	15,89	12,49
483,15	217,75	31,51	22,67	16,48	13,77	11,54

Таблица 5. Второй показатель изоэнтروпы (δ) н.октана

T, K	P, Мпа					
	0,1	5	10	20	30	50
303,15	1,2867	1,6658	1,6968	1,7016	1,6863	1,6421
323,15	1,2739	1,6418	1,6711	1,6785	1,6702	1,6460
343,15	1,2013	1,5461	1,5795	1,5925	1,5912	1,5823
363,15	1,1343	1,4418	1,4818	1,5030	1,5071	1,5069
383,15	1,0954	1,3629	1,4072	1,4352	1,4443	1,4467
403,15	1,0736	1,3087	1,3550	1,3875	1,3976	1,4006
423,15	1,0623	1,2773	1,3238	1,3584	1,3699	1,3722
443,15	1,0555	1,2531	1,2974	1,3316	1,3440	1,3496
463,15	1,0493	1,2257	1,2653	1,2971	1,3103	1,3226
483,15	1,0417	1,1879	1,2203	1,2466	1,2594	1,2891

Таблица 6. Третий показатель изоэнтропы (ϵ) н.октана

T, K	P, Мпа					
	0,1	5	10	20	30	50
303,15	1,000068	1,0032	1,0063	1,0118	1,0165	1,0240
323,15	1,000078	1,0036	1,0070	1,0130	1,0182	1,0268
343,15	1,000085	1,0038	1,0071	1,0129	1,0180	1,0265
363,15	1,000091	1,0038	1,0071	1,0126	1,0173	1,0252
383,15	1,000096	1,0039	1,0072	1,0126	1,0170	1,0242
403,15	1,00010	1,0041	1,0075	1,0129	1,0173	1,0239
423,15	1,00011	1,0045	1,0081	1,0138	1,0182	1,0247
443,15	1,00012	1,0049	1,0088	1,0148	1,0193	1,0258
463,15	1,00015	1,0055	1,0095	1,0154	1,0199	1,0265
483,15	1,00019	1,0059	1,0098	1,0151	1,0192	1,0256

- [1] *Adrian Bejan. Advanced Engineering Thermodynamics. (Second edition). New-York. 1997?850 p.*
- [2] *В.В. Сычев. Дифференциальные уравнения термодинамики. М.: Высшая школа, 1992, 224 с.*
- [3] *А.М. Шехтман Газодинамические функции реальных газов. Справочник М.: Энергоатомиздат, 1988. 275 с.*
- [4] *В.А. Истомин. Теплофизика высоких температур, АН РФ. 1998, т.36. №5, с. 732.*
- [5] *Дж.Я. Назиев. Ученые записки АГНА, Баку, 1999. №4. с. 135.*
- [6] *Дж.Я. Назиев, В.Г. Гасанов. Журнал прикладной химии, АН РФ. 1995. Т.68, вып.2. с 210.*
- [7] *В.Г. Гасанов. Плотность бинарных смесей высших углеводородов при различных параметрах состояния. Автор. дисс. кан. тех. наук. Баку: АГНА. 1994, 22 с.*
- [8] *Дж.Я. Назиев. Теплопроводность многокомпонентных смесей углеводородов при высоких параметрах состояния. Дисс. докт. техн. наук. Баку, АГНА. 1996. 454 с.*
- [9] *М.Р. Мустафаев. Динамический метод исследования изоборной теплоемкости и расчет некоторых термодинамических величин н.гептана, н.октана, н.додекана. Дисс. канд. техн. наук. Баку. АзПИ. 1979. 134 с.*

C.Y. Naziyev, V.H. Həsənov

TƏCRÜBİ MƏ'LUMATLAR ƏSASINDA MAYELƏR ÜÇÜN İZOENTROPA GÖSTƏRİCİLƏRİNİN TƏ'YİNİ

Təqdim edilən işdə n. heptan və n. oktan maddələri üçün maye fazada kanonik izoentropa (adiabata) göstəriciləri 303,15-483,15 K temperaturlar və 0,1-50 Мпа təzyiqlər intervalında hesablanmışdır. Bunun üçün sıxlığın dəqiq təcrübi mə'lumatlarından və müəlliflərin təklif etdiyi hal tənliyindən istifadə olunmuşdur. Hesablamalar göstərir ki, üçüncü izoentropa göstəricisinin praktiki işlərdə tətbiqi daha məqsəduyğundur, çünki onun hal parametrlərindən asılılığı çox zəifdir.

J. Y. Naziyev, V.H. Hasanov

DETERMINATION OF THE ISENTROPIC EXPANSION COEFFICIENT OF LIQUIDS ON THE BASIS OF EXPERIMENTAL DATA

The canonical isentropic expansion coefficients for n.heptane and n.octane in a liquid phase in temperature interval from 303.15 up to 483 K and pressure from 0.1 up to 50 MPa are calculated. For this purpose the precise informations of density and proposed equation of a state by the author are used.

The calculations demonstrate that, the applying in practice of third isentropic expansion coefficient is more expedient, because it is gentle depends on its state parameters.

Дата поступления: 17.02. 2000

Редактор: С.И. Мехтиева