ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА
СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ
(ГСССД)

Разрешаю на депонирование
Генеральный директор
ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
_____ А. А. Коровайцев
«31» октября 2013 г.

УДК 547.216:536.7

ТАБЛИЦЫ СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ

Н-ГЕПТАН. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТ ТРОЙНОЙ ТОЧКИ ДО 700 К ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 100 МПа

ГСССД 292 - 2013

Москва – 2013

РАЗРАБОТАНЫ ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» с участием специалистов ООО «ГАЗПРОМ ВНИИГАЗ» докт. техн. наук Григорьева Б. А. и ФГБОУ ВПО «Калининградского государственного технического университета» докт. техн. наук Герасимова А. А, канд. техн. наук Александрова И. С.

ОДОБРЕНЫ экспертной комиссией в составе:

д-ра техн. наук А. Ф. Богатырева,
д-ра техн. наук М.И. Левинбука,
канд. физ.-мат. наук Е. Е. Городецкого,
канд. техн. наук. Ю. В. Мамонова.

ПОДГОТОВЛЕНЫ к утверждению Российским научно-техническим центром информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия (ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»)

УТВЕРЖДЕНЫ Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии «31» октября 2013 г. (протокол № 3)

УДК 547.216:536.7

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА
СТАНДАРТНЫХ СПРАВЧНЫХ ДАННЫХ

Таблицы стандартных справочных данных

н-Гептан. Термодинамические свойства
в диапазоне температуры от тройной точки **ГСССД**
до 700 К при давлениях до 100 МПа **292–2013**

Tables of Standard Reference Data

n- Heptane. Thermodynamic properties
in the range from the triple point temperature **GSSSD**
up to 700 K at pressures up to 100 MPa **292–2013**

ДЕПОНИРОВАННАЯ РУКОПИСЬ

УДК 547.216:536.7

Таблицы стандартных справочных данных ГСССД 292 – 2013.

н-Гептан. Термодинамические свойства в диапазоне температуры от тройной точки до 700 К при давлениях до 100 МПа /Григорьев Б.А., Герасимов А. .А., Александрова И. С.. Российский научно-исследовательский центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия (ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ») – М., 2013, – 56 с.: - Ил. - Библиогр. назв. – Рус. – назв. Депонированы во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» 31.10.2013 г., № 884 – 2013 кк.

Таблицы стандартных справочных данных о термодинамических свойствах н-Гептана рассчитаны по фундаментальному уравнения состояния ФУС, описывающему свободную энергию Гельмгольца.

Авторы: Б. А Григорьев

А. А. Герасимов

И. С. Александров

Таблицы стандартных справочных данных о термодинамических свойствах н-гептана рассчитаны по фундаментальному уравнения состояния ФУС, описывающему свободную энергию Гельмгольца в зависимости от температуры T и плотности ρ. Свободная энергия Гельмгольца $a(\rho, T)$ представлена в виде суммы идеально-газовой части $\alpha^{o}(\delta,\tau)$ и избыточной части $\alpha^{r}(\delta,\tau)$ уравнением (1).

$$\frac{a(\rho,T)}{RT} = \alpha(\delta,\tau) = \alpha^{0}(\delta,\tau) + \alpha^{r}(\delta,\tau), \qquad (1)$$

В свою очередь избыточная часть свободной энергии Гельмгольца представлена в виде разложения в ряд по степеням приведенной температуры τ и приведенной плотности δ с полиномиальными и экспоненциальными членами. При этом использовалась оптимизированная форма ФУС, предложенная Соном и Эли [1]

$$\alpha^{r}(\tau,\delta) = \sum_{i=1}^{6} n_i \tau^{t_i} \delta^{d_i} + \sum_{i=7}^{14} n_i \tau^{t_i} \delta^{d_i} \exp(-\delta^{p_i}) \qquad (2)$$

где $\delta = \rho/\rho_c$; $\tau = T_c/T$; ρ_c, T_c – параметры приведения, в качестве которых приняты критические значения. В частности для н-гептана: $\rho_c = 2{,}3153$ кг·кмоль$^{-1}$, $T_c = 540{,}13$ К.

Определение коэффициентов ФУС и производилось по алгоритму, реализующему метод случайного поиска с возвратом при неудачном шаге [2].

Минимизируемый функционал содержал как слагаемые, ответственные за точность аппроксимации результатов измерений разнородных данных о термодинамических свойствах, так и различные ограничения, накладываемые в виде неравенств на термодинамическую поверхность. Основными видами ограничений являлись: критические условия, правило Максвелла, контроль кривизны идеальных кривых, положительность теплоемкости, правило прямолинейного диаметра, контролирование знаков производных различных термодинамических величин и т.д. Эти ограничения обеспечивают «физическую» форму поверхности состояния и улучшают экстраполяционные возможности уравнения.

Безразмерная идеально-газовая часть свободной энергии Гельмгольца определяется по соотношению

$$\alpha^{0} = \frac{h_0^0 \tau}{RT_c} - \frac{s_0^0}{R} - 1 + \ln\frac{\delta\tau_0}{\delta_0\tau} - \frac{\tau}{R}\int_{\tau_0}^{\tau}\frac{C_p^0}{\tau^2}d\tau + \frac{1}{R}\int_{\tau_0}^{\tau}\frac{C_p^0}{\tau}d\tau, \qquad (3)$$

где $\delta_0 = \rho_0/\rho_c$; $\tau_0 = T_c/T_0$; T_0, p_0 – вспомогательная опорная точка ($T_0 = 298{,}15$ К; $p_0 = 101325$ Па); ρ_0 – плотность идеального газа при температуре T_0 и дав-

лении p_0; h_0^0, s_0^0 – соответственно энтальпия и энтропия в идеально-газовом состоянии при температуре T_0.

Для расчета функции α^0необходимы данные об изобарной теплоемкости в состоянии идеального газа C_p^0. Были приняты значения, полученные в Термодинамическом Исследовательском Центре [3] и аппроксимированы уравнением

$$\frac{C_p^0}{R} = \sum_{i=-2}^{3} c_i T^i \qquad (4)$$

где R = 8,314472 Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная. Значения коэффициентов c_i представлены в табл. 1.

Термодинамическое соотношение (3) совместно с эмпирической зависимостью (4) приводят к следующей формуле для расчета α^0

$$\alpha^0 = \sum_{i=-3}^{2} \alpha_i \tau^i + \alpha_3 \ln\tau + \alpha_4 \tau \ln\tau + \ln\delta \qquad (5)$$

Значения коэффициентов α_i представлены в табл. 1.

Таблица 1. Значения коэффициентов уравнений (4) и (5) для идеально-газовых функций н-гептана

i	c_i	α_i
-3	-	-0,80617
-2	$-0{,}8511009\cdot10^{6}$	9,562437
-1	$1{,}338286\cdot10^{4}$	-64,23511
0	-70,47403	-53,7965
1	0,2378506	76,40254
2	$-1{,}966632\cdot10^{-4}$	1,458661
3	$6{,}139216\cdot10^{-8}$	-71,47403
4	-	-24,7771

Коэффициенты и показатели степени при температуре и плотности оптимизированного уравнения (2) представлены в таблице 2. Более подробно процедура построения ФУС описана в Приложении.

Таблица 2. Коэффициенты и показатели степени ФУС (2) н-гептана

i	n_i	t_i	d_i	p_i
1	$0{,}15164248\cdot10^{1}$	1,5	1	0
2	$0{,}11958666\cdot10^{1}$	0,25	1	0
3	$-0{,}36808629\cdot10^{1}$	1,25	1	0
4	0,10056392	0,25	3	0
5	$0{,}27152618\cdot10^{-3}$	0,875	7	0
6	-0,15018688	1,375	2	0
7	$-0{,}17608736\cdot10^{-2}$	0,0	1	1
8	0,19549976	2,375	1	1
9	0,44796479	2,0	2	1
10	$-0{,}19465369\cdot10^{-1}$	2,125	5	1
11	-0,47181525	3,5	1	2
12	$-0{,}28490881\cdot10^{-1}$	6,5	1	2
13	-0,12541599	4,75	4	2
14	$-0{,}44975675\cdot10^{-2}$	12,5	2	3

Термодинамические свойства рассчитывались по ФУС (2) с использованием известных дифференциальных соотношений термодинамики:

плотность

$$\frac{p}{\rho RT} = 1 + \delta\alpha_{\delta}^{r}, \tag{6}$$

энтальпия

$$\frac{h}{RT} = 1 + \tau(\alpha_{\tau}^{0} + \alpha_{\tau}^{r}) + \delta\alpha_{\delta}^{r}, \tag{7}$$

энтропия

$$\frac{s}{R} = \tau(\alpha_{\tau}^{0} + \alpha_{\tau}^{r}) - \alpha^{0} - \alpha^{r}, \tag{8}$$

изохорная теплоемкость

$$\frac{c_v}{R} = -\tau^{2}(\alpha_{\tau\tau}^{0} + \alpha_{\tau\tau}^{r}), \tag{9}$$

изобарная теплоемкость

$$\frac{c_p}{R} = -\tau^{2}(\alpha_{\tau\tau}^{0} + \alpha_{\tau\tau}^{r}) + \frac{(1 + \delta\alpha_{\delta}^{r} - \delta\tau\alpha_{\delta\tau}^{r})^{2}}{1 + 2\delta\alpha_{\delta}^{r} + \delta^{2}\alpha_{\delta\delta}^{r}}, \tag{10}$$

скорость звука

$$\frac{w^2}{RT} = 1 + 2\delta\alpha_\delta^r + \delta^2\alpha_{\delta\delta}^r - \frac{(1+\delta\alpha_\delta^r - \delta\tau\alpha_{\delta\tau}^r)^2}{\tau^2(\alpha_{\tau\tau}^0 + \alpha_{\tau\tau}^r)}, \qquad (11)$$

где нижний индекс при α показывает частную производную по соответствующей переменной.

Конкретные аналитические зависимости различных производных термодинамического потенциала, входящие в уравнения (6) – (11) представлены, в Приложении.

За термодинамическое начало отсчета при составлении таблиц термодинамических свойств н-гептана принято состояние равновесного молекулярного кристалла при температуре 0 К. Значения энтальпии h_0 и энтропии s_0 во вспомогательной точке отсчета на линии насыщения жидкой фазы определены по данным [4] (h_0 = 525,33 кДж·кг$^{-1}$, s_0 = 3,2791 кДж·кг$^{-1}$·К$^{-1}$).

Таблицы термодинамических свойств н-гептана рассчитаны по ФУС (6) в диапазоне температуры от тройной точки (T_t = 182,55 К) до 700 К при давлениях до 100 МПа. Свойства в однофазной области представлены в табл. 5, свойства на линии насыщения – в табл. 6. Линия плавления описана эмпирическим уравнением Симона – Глатцеля

$$\frac{p}{p_*} = \left(\frac{T}{T_t}\right)^c - 1, \qquad (12)$$

где p_* = 351,3 МПа; c = 2,532. Значения коэффициентов уравнения (12) определены по данным работы [5].

Величина неопределенности расчетных значений термодинамических свойств оценена в результате сравнения с наиболее надежными экспериментальными данными и уравнениями. Представленные в табл. 3 оценки даны для жидкой фазы *Ж* ($T < T_c$, $\rho > 1{,}3\rho_c$), для газовой фазы *Г* ($T < T_c$, $\rho < 0{,}7\rho_c$), для сверхкритического флюида *Ф* ($T > T_c$, исключая критическую область *К*: $T_s \le T \le 1{,}05T_c$, $0{,}7\rho_c \le \rho \le 1{,}3\rho_c$). Уравнение в форме (2) не обеспечивает высокую точность расчета термодинамических свойств в критической области.

Более подробные сведения о результатах сравнения расчетных данных со всеми имеющимися экспериментальными данными и поля неопределенностей представлены в Приложении.

Таблица 3. Оценки неопределенности расчетных значений термодинамических свойств н-гептана

Свойство	Неопределенность, % в области			
	Ж	*Г*	*Ф*	*К*
p_v	-	0,1 – 0,15	-	0,7
ρ_l	0,1 – 0,15		-	до 1,0
ρ_v	-	1,5 – 2,5	-	до 3,0
p,ρ,T	0,05 – 0,15	0,3 – 0,8	0,5 – 0,8	-
C_p	0,4 – 0,6	0,6 – 1,0	0,5 – 1,0	-
C_v	1,5 – 2,0	1,5 – 2,5	1,0 – 1,3	-
w	0,3 – 0,6	-	-	-

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Методика разработки уравнения состояния.

При разработке ФУС (2) использовались разнородные экспериментальные данные о термодинамических свойствах н-гептана – p,v,T-данные, данные о втором B и третьем C вириальных коэффициентах, упругость насыщенных паров p_v, плотность насыщенной жидкой ρ_l и газовой фазы ρ_v, теплоемкость насыщенной конденсированной фазы c_s, изохорную c_v и изобарную c_p теплоемкости, энтальпия h, скорость распространения звука w.

В минимизируемый функционал включалось несколько слагаемых, каждое из которых ответственно за определенную категорию обрабатываемых термодинамических величин:

$$\chi^2(n) = \sum_{p=1}^{P} \sum_{m=1}^{M} \left(a_0(x_{p,m}, y_{p,m}) - \sum_{i=1}^{I} n_i a_{p,i}(x_{p,m}) \right)^2 \frac{1}{\sigma_m^2}, \qquad \text{(A1)}$$

где n_i – коэффициенты ФУС, $a_{p,i}$- слагаемые ФУС, определяемые по (14), $\frac{1}{\sigma_m^2}$ - вес опытной точки, a_0 – экспериментальное значение термодинамического свойства.

В данном случае функциональная связь задавалась уравнением

$$a_{p,i} = \tau^{t_i} \delta^{d_i} \exp(-\gamma_i \delta^{p_i}), \qquad \text{(A2)}$$

а коэффициенты n определялись посредством оптимизационного алгоритма, описанного ниже. Для расшифровки правой части формулы (A1) использовались известные дифференциальные соотношения термодинамики (6) – (11). Кроме включения в обработку экспериментальных данных о различных термодинамических свойствах н-гептана, также применялась системы ограничений, накладываемых в виде неравенств на термодинамическую поверхность. Основными видами ограничений являлись: критические условия, правило Максвелла, контроль кривизны идеальных кривых, положительность теплоемкости, правило прямолинейного диаметра, контролирование знаков производных различных термодинамических величин и т.д. Эти ограничения обеспечивают «физическую» форму поверхности состояния и улучшают экстраполяционные возможности уравнения.

При разработке ФУС (2) для н-гептана была применена модификация метода случайного поиска с возвратом при неудачном шаге. Алгоритм моди-

фицирован введением элементов детерминированного поиска на шаге корректировки величины шага поиска и выбора направления.

В используемом алгоритме используется аддитивный критерий оптимальности – минимизируемый функционал (А3), который образуется путем сложения выходных параметров, преобразованных к безразмерным слагаемым. Это осуществляется с помощью введения нормирующих множителей - весовых коэффициентов. Нормирование необходимо для объединения нескольких выходных параметров – термодинамических свойств, имеющих в общем случае различную физическую размерность. Минимизируемый функционал содержит слагаемые, ответственные за точность аппроксимации результатов измерений разнородных данных о термодинамических свойствах, а также различные ограничения, накладываемые в виде неравенств на термодинамическую поверхность и представлен следующей зависимостью:

$$S = \sum W_\rho F_\rho^2 + \sum W_p F_p^2 + \sum W_{Cv} F_{Cv}^2 + ... + \sum W_O F_O^2 \qquad (A3)$$

где: W-весовой коэффициент для каждой опытной точки, F- функция, используемая для минимизации отклонений. Например, для изохорной теплоемкости данных функция определяется как:

$$F_{C_v} = (C_v^{эксп.} - C_v^{расч.}) \Big/ C_v^{эксп.} \qquad (A4)$$

Квадратичные функции для других термодинамических свойств имеют аналогичный вид. F_o – функция, учитывающая различные ограничения на область изменения переменных.

Весовой коэффициент W для каждой выбранной опытной точки назначался индивидуально с учетом типа данных, области состояний и требуемой точности. Типичное значение W для p,ρ,T- данных и давления насыщенных паров составляет 1, для теплоемкости – 0,5, для скорости звука - 1.

Как видно из соотношения (15) ограничения входят в виде дополнительных слагаемых в минимизируемый функционал. Например, для контроля знака производной какой-либо термодинамической величины численно вычисляется производная на основе расчетных значений по уравнению состояния, сохраненных на последних итерациях. После этого вычисленное значение производной по соответствующему свойству в безразмерном виде с соответствующим весовым коэффициентом включается в квадратичный функционал со знаком противоположным заданному. Замена знака на противоположный осуществляется для того, чтобы при правильном знаке производной это ограничение не влияло на функционал (А3)

Ограничения не влияют на критерий оптимальности до тех пор, пока параметры находятся в области допустимых значений. Стоит изменить параметр таким образом, что он пересечет границу, движение по траектории минимизации немедленно прекращается. Эта процедура продолжается плоть до возвращения параметров в область допустимых значений. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке А1.

На шаге 1 задается количество итераций, задается точность, с которой ищется минимум и начальное приближение.

На шаге 2 осуществляется вычисление функционала в новой точке пространства поиска и добавление ограничений (шаг 2А). Это осуществляется изменением начальных значений переменных в соответствии с заданным шагом поиска по следующей итерационной формуле

$$[x_{k+1}] = [x_k] + \lambda_k \cdot [x_k] \qquad (A5)$$

где $[x_k]$ – массив начальных значений переменных, $[x_{k+1}]$ – массив значений переменных на новой итерации, $\lambda_к$ - шаг поиска на *k*-ой итерации.

После этого вычисляется значение функционала (А3) в новой точке пространства поиска $S(x_{k+1})$. В качестве начальных значений переменных могут выступать коэффициенты уравнения состояния, либо коэффициенты и показатели степени при температуре и плотности одновременно. Величина шага поиска возвращается генератором случайных чисел и может варьироваться в диапазоне $10^{-1}<\lambda<10^{-7}$.

На шаге 3 производится сравнение значений минимизируемого функционала на текущей и предыдущей итерациях. Если $S(x_{k+1}) < S(x_k)$, то осуществляется переход к шагу 4. В противном случае на шаге 3А запускается счетчик неудачных попыток и так же осуществляется переход к шагу 4. Если предельное количество неудачных попыток достигло максимума, то осуществляется выход из программы. Негативные шаги необходимы для того, чтобы избежать ловушки локального оптимума.

На шаге 4 информация о поведении минимизируемого функционала, накопленная в процессе поиска, используется для дробления шага поиска

$$\lambda_k = \alpha \cdot \lambda_k \qquad (A6)$$

где α □ (-1, 1) – коэффициент уменьшения шага (свободный параметр метода).

Параметр α в процессе дробления шага поиска изменяется следующим образом. При сравнении предыдущего и текущего значений функционала, алгоритм выбирает направление поиска и в соответствии с этим направлением определяет первоначальное значение коэффициента α

$$\begin{cases} S_{k-1} > S_k, \alpha = 2 \\ S_{k-1} < S_k, \alpha = -1 \end{cases} \qquad (A7)$$

то есть принимается решение об увеличении, либо об уменьшении шага поиска. После присваивания коэффициенту α соответствующих значений по условию (А7) вычисляется новое значение функционала S_{k+1}. Далее осуществляется дробление шага поиска изменением коэффициента α исходя из следующих условий

$$\begin{cases} S_k > S_{k-1}, \alpha = \dfrac{2 \times \alpha_{k-1} + \alpha_{k+1}}{3} \\ S_{k+1} > S_{k-1}, \alpha = \dfrac{\alpha_{k-1} + 3 \times \alpha_k}{4} \\ S_{k-1} > S_{k+1}, \alpha = \dfrac{4 \times \alpha_{k+1} + \alpha_k}{5} \end{cases} \quad (A8)$$

Если ни одно из группы условий (А8) не выполняется, то для определения нового значения α строится интерполяционная парабола на основе значений минимизируемого функционала S и коэффициента α на последних трех итерациях. Для этого используются следующие соотношения

$$a = -\frac{S_{k-1} \times (\alpha_{k+1} - \alpha_k) + S_{k+1} \times (\alpha_k - \alpha_{k-1}) + S_k \times (\alpha_{k-1} - \alpha_{k+1})}{(\alpha_{k+1} - \alpha_k) \times (\alpha_k - \alpha_{k-1}) \times (\alpha_{k-1} - \alpha_{k+1})} \quad (A9)$$

$$b = \frac{S_{k-1} - S_{k+1}}{\alpha_{k-1} - \alpha_{k+1}} - a(\alpha_{k-1} + \alpha_{k+1}) \quad (A10)$$

где a и b - коэффициенты параболического уравнения. Тогда новое значение коэффициента α определяется как

$$\alpha = -\frac{b}{2a} \quad (A11)$$

Далее после вычисления нового значение функционала в соответствии с новым значением коэффициента уменьшения шага, сохраняются три наилучших значения функционала S и коэффициента α и алгоритм переходит к шагу 5.

На шаге 5 проверяются условия останова. Программа завершает свою работу, если достигнуто максимальное значение неудачных попыток минимизировать функцию или достигнута требуемая точность решения

$$|S_{k+1} - S_k| \le \varepsilon_s \quad (A12)$$

где ε_S - константа, определяющая требуемую точность решения по S.

Если ни одно из условий останова не выполнено, то осуществляется переход к шагу 6, на котором переопределяются границы поиска в соответствии с новыми значениями переменных, предыдущему значению функционала присваивается текущее значение, и алгоритм переходит к следующей итерации.

Таким образом, осуществляется цикл поиска глобального оптимума для разрабатываемого уравнения с учетом заданного количества итераций.

Рис. А1. Блок-схема алгоритма определения коэффициентов и степеней уравнения состояния методом случайного поиска с возвратом при неудачном шаге.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Результаты сравнения расчетных значений термодинамических свойств по ФУС (2) с экспериментальными данными для н-гептана.

Результаты сравнения с экспериментальными данными представлены в табл. Б1 и на рисунках Б1 – Б10.

Термодинамические свойства *н*-гептана исследованы весьма подробно. В работах Бриджмена, в частности в [6], представлены результаты измерения сжимаемости (и соответственно плотности) многих жидких углеводородов, в том числе и исследуемых здесь н-алканов – от *н*-C_5H_{12} до *н*-$C_{10}H_{22}$. Все измерения выполнены на трех изотермах – 273,15; 323,15 и 368,15 К в широком диапазоне давлений – от 0,1 до 1200 МПа, через каждые 100 МПа. Погрешность измерения плотности составляла 1,5 – 2,0 %.

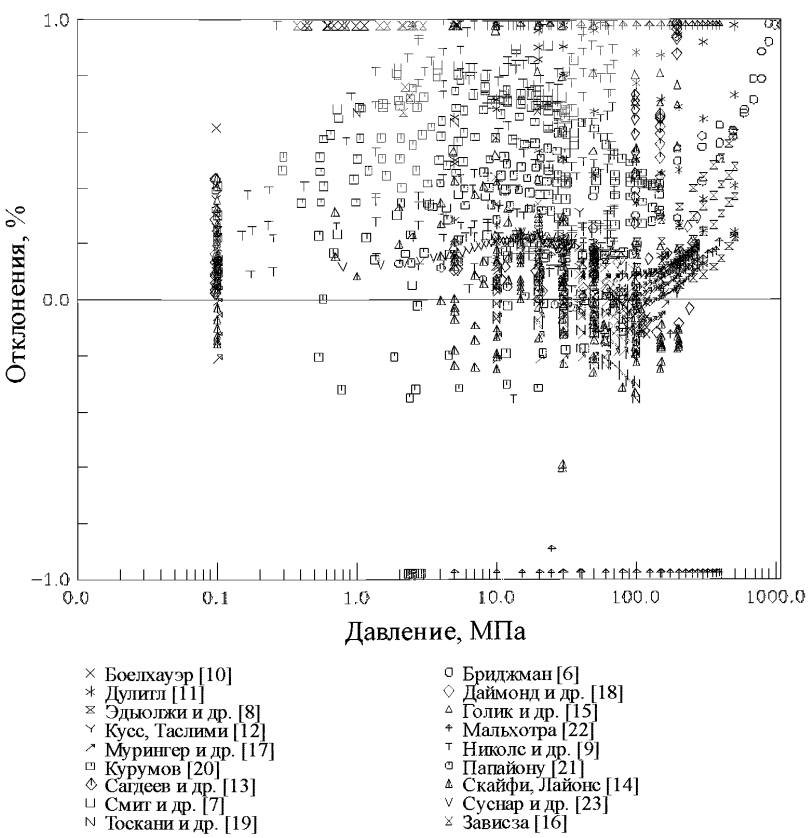

Рис. Б1. Отклонения экспериментальных данных о плотности жидкой фазы н-гептана от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния (2).

В работе Смита с соавторами [7] исследована плотность жидкого н-гептана в диапазоне температуры 303 – 523 К и давления – 0,7 – 35,6 МПа.

Погрешность измерения плотности составляла 0,05 – 0,2 %. Подробно, многими авторами [8, 12, 13, 14], исследована плотность жидкого *н*-гептана в диапазоне температуры 250 – 370 К при давлениях до 200 МПа. Погрешность определения плотности в этих работах составляла 0,05 – 0,1 %. В работе Дулиттла [11] исследована p,v,T-зависимость *н*-гептана в диапазоне температуры 303 – 573 К и давления – 5 – 500 МПа. Погрешность данных составляет 0,1 – 0,2 %. Комплексные исследования термодинамических свойств н-алканов от от *н*-C_5H_{12} до *н*-$C_{13}H_{28}$ выполнены в 70-е – 80-е годы прошлого века в отраслевой теплофизической лаборатории Грозненского нефтяного института (ОТФЛ ГНИ). В собранном виде результаты экспериментальных исследований представлены в диссертациях [20,54]. Плотность углеводородов измерялась методом сферического пьезометра постоянного объема. Погрешность измерения температуры составляла 0,01 – 0,028 К (при $T = 673$ К), давление измерялось грузопоршневыми манометрами с погрешностью 0,055 %. Погрешность измерения плотности составила 0,03 – 0,07 % при $\rho/\rho_c \geq 2$; 0,07 – 0,11% при $0,7 \leq \rho/\rho_c < 2$; 0,1 – 0,22% при $\rho/\rho_c < 0,7$; в критической области – 0,5 – 1,0 %. Плотность при атмосферном давлении измерялась методом гидростатического взвешивания с погрешностью не более 0,03 %. В [20,54] исследован весьма чистый образец н-гептана – содержание основного компонента составляло 99,90%. Измерения плотности выполнены в диапазоне температуры 188 – 623 К при давлениях до 150 МПа. При этом исследована жидкая и газовая фазы, критическая и сверхкритическая области, определены значения плотности на пограничной кривой жидкости и газа, выделены второй и третий вириальные коэффициенты.

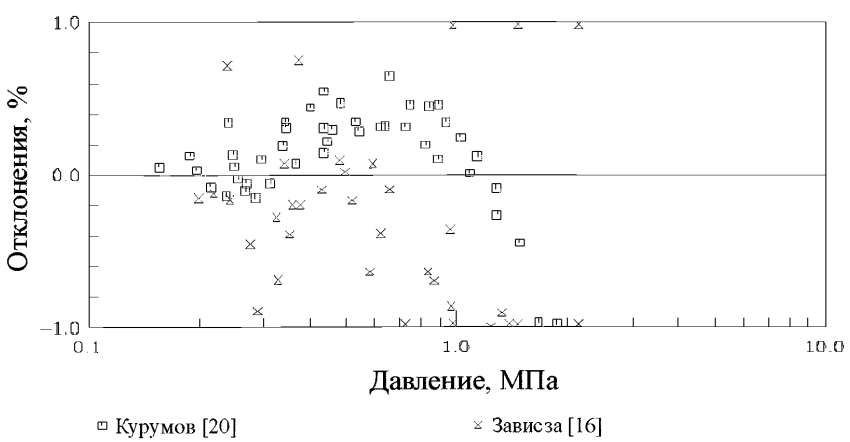

Рис. Б2. Отклонения экспериментальных данных о плотности газовой фазы н-гептана от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния (2).

Таблица Б1. Результаты сравнения экспериментальных данных о термодинамических свойствах н-гептана с расчетными значениями по фундаментальному уравнению состояния (2).

Год	Авторы, Источник	Точки	Интервал по температуре и давлению		Отклонения, %							
					САО				СКО			
			T, К	*p*, МПа	жид.	газ	крит.	над-крит.	жид.	газ	крит.	над-крит.
					***P,V,T* – данные**							
1931	Бриджман [6]	31	273 – 368	0,1 – 1079	0,742				0,835			
1937	Смит и др. [7]	46	303 – 523	0,72 – 35,6	0,192				0,232			
1951	Эдьюлжи и др. [8]	44	273 -333	0,1 – 507	0,395				0,469			
1955	Николс и др. [9]	278	278 - 511	1,38 – 69,1	0,131				0.167			
1960	Боелхауэр [10]	64	273 – 393	0,1 – 117,7	0,093				0,122			
1964	Дулитл [11]	60	303 – 573	5 – 500	0,275				0,343			
1970	Кусс, Таслими [12]	24	298 – 353	0,1 – 196,1	0,08				0,096			
1977	Сагдеев и др. [13]	55	273 – 373	0,1 – 196,1	0,504				0,634			
1980	Скайфи, Лайонс [14]	232	248 – 373	0,1 – 200,1	0,061				0,103			
1982	Голик и др. [15]	33	323 – 453	0,1 – 196,1	0,317				0,468			
1982	Зависза [16]	59	423 – 573	0,2 – 5,45	1,962	1,375		2,129	2,025	3,212		3,235
1985	Мурингер и др. [17]	215	198 – 311	0,1 – 263,4	0,274				0,295			
1988	Даймонд и др. [18]	30	298 – 311	0,1 – 271,1	0,133				0,186			
1989	Тоскани и др. [19]	96	298 – 373	0,1 – 100	0,187				0,209			
1990	Курумов [20]	316	188 – 623	0,1 – 150	0,324	0,452		0,876	0,719	0,533		1,497
1991	Папайону [21]	12	298 - 308	0,1 – 33,81	0,036				0,042			
1991	Мальхотра [22]	134	278 – 338	2,5 – 393,1	2,277				2,790			
1992	Суснар и др. [23]	51	294,3	0,1 – 34,6	0,174				0,180			
1998	Абдулагатов [24]	32	643-648	1,4-4,6				1,057				1,601
					Давление насыщенных паров							
1938	Смит, Матисон [25]	17	367-378			0,032				0,036		
1940	Смит [26]	16	313 – 403			0,107				0,127		
1945	Виллингхэм и др. [27]	40	298 – 372			0,114				0,148		

Продолжение таблицы Б1

Год	Авторы, источник	Точки	Интервал по температуре и давлению		Отклонения, %							
					САО				СКО			
			T, К	p, МПа	жид.	газ	крит.	над-крит.	жид.	газ	крит.	над-крит.
1949	Форциати и др.[28]	20	299 – 372			0,129				0,162		
1952	Браун [29]	8	313 - 371			0,140				0,145		
1980	Сиповска [30,31]	14	278 – 363			0,333				0,369		
1990	Курумов [20]	8	398 – 540			0,172				0,211		
2000	Вебер [32]	59	335 – 503			0,109				0,129		
2005	Эвинг, Охоя [33]	43	372– 537			0,092				0,120		
2010	Расчет по C_s [34]	9	182 – 260			2,041				2,291		
Плотность насыщенной жидкой фазы												
1930	Дорнте [35]	10	183 – 363		0,151				0,166			
1964	Дулитл [11]	8	263 – 373		0,141				0,199			
1967	Рожнов [36]	4	303 – 413		0,112				0,144			
1976	Кристофер и др. [37]	12	298 – 353		0,024				0,032			
1987	Стефан и др. [38]	70	182 - 535		0,229				0,285			
1990	Курумов [20]	20	188 – 539		0,357				0,505			
1995	Ю, Цай [39]	5	293 – 313		0,05				0,052			
1995	Аминабхавит и др. [40,41]	19	298 – 313		0,061				0,097			
1996	Мирская и др. [42]	13	373 – 503		0,213				0,238			
2003	Каль и др. [43]	12	278 – 333		0,063				0,071			
Плотность насыщенной газовой фазы												
1965	Макмикинг, Кэй [44]	17	473 – 540			6,98				9,52		
1987	Стефан и др. [38]	74	182 – 540			2,95				7,15		
1990	Курумов [20]	9	423 – 540			2,34				2,58		

Окончание таблицы Б1

Год	Авторы, источник	Точки	Интервал по температуре и давлению		Отклонения, %							
					САО				СКО			
			T, К	p, МПа	жид.	газ	крит.	над-крит.	жид.	газ	крит.	над-крит.
Энтальпия испарения												
1947	Вэддингтон [45]	3	331-363			0,101				0,134		
1979	Майер [46]	4	298-353			0,036				0,044		
1990	Ивахаши[47]	5	331-370			0,147				0,161		
1997	Григорьев [48]	10	182-519			0,647				0,863		
Изобарная теплоемкость C_p												
1971	Амирханов и др. [49]	21	373 - 539	p_s	4,005				5,361			
1976	Сен Жозе и др. [50]	26	413 – 513	1,0 – 2,0	2,761				2,805			
1980	Калиновска и др. [51]	96	185 – 301	p_s	0,702				0,883			
1991	Сан и др. [52]	84	205 – 310	0,1 – 260	1,318				1,762			
1994	Забрански и др. [53]	32	182 - 480	p_s	0,637				0,845			
2000	Герасимов [54]	276	293 – 623	0,5 – 60	0,458	0,870		0,846	0,575	1,115		1,32
Теплоемкость по линии насыщения C_s												
1947	Осборн, Гиннингс [55]	9	278 – 318		0,420				0,429			
2000	Беккер [56]	8	302 – 337		0,601				0,608			
2002	Парамо и др. [57]	15	288 – 348		0,488				0,512			
Изохорная теплоемкость C_v												
1998	Абдулагатов [24]	349	374 – 673	0,665 – 6,1	1,953	2,466		0,761	2,398	2,564		1,17
2002	Полихрониди [58]	33	324 - 422	5,7 – 6,6	3,498				3,560			
Скорость звука												
1953	Клинг и др. [59]	23	293 – 373	0,1 - 49	0,680				0,725			
1967	Боелхауэр [60]	60	253 – 453	p_s – 140	0,472				0,590			
1969	Неручев [61]	13	293 – 533	p_s	0,601				0,861			
1975	Зотов и др. [62]	10	193 – 513	p_s	0,532				0,640			
1982	Голик и др. [15]	68	313 – 453	0,1 – 196	0,212				0,348			
1985	Мурингер и др. [17]	113	186 – 311	0,1 – 263,4	1,301				1,502			

В газовой фазе, кроме данных Курумова [20], известны только измерения Завизы и Вейросты [16] в непосредственной близости от линии насыщения в диапазоне температуры 423 – 523 К.

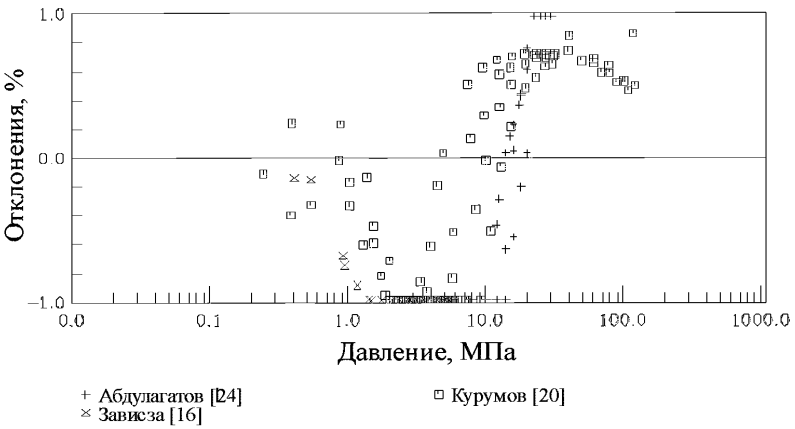

Рис. Б3. Отклонения экспериментальных данных о плотности в сверхкритической области н-гептана от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния (2).

Из табл. 4 и рисунка 2 видно, что плотность жидкой фазы описывается с погрешностью 0,1 – 0,2 %. Несколько большие значения погрешности для довольно точных данных Курумова [20] объясняются большим количеством экспериментальных данных вблизи пограничной кривой, где возрастают как ошибки эксперимента, так и ошибки модели. Это же относится и к данным Завизы и Вейросты [16]. Вдали от пограничной кривой погрешность описания данных [20] составляет 0,05 – 0,015 %.

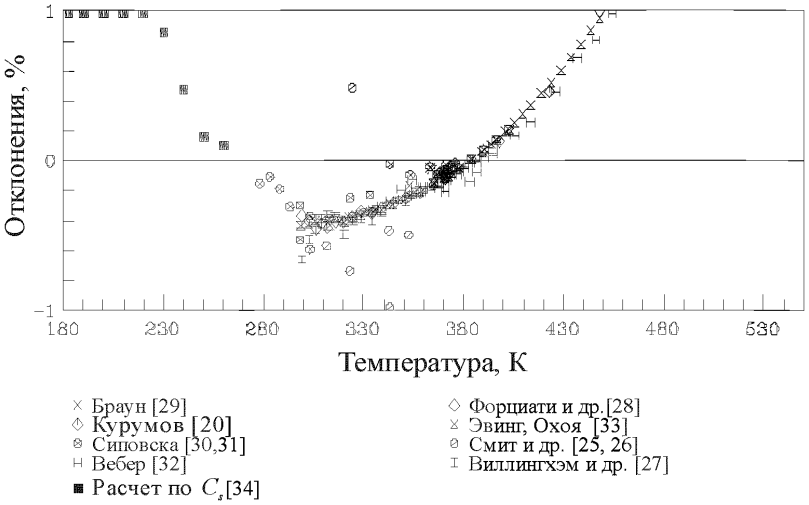

Рис.Б4. Отклонения экспериментальных данных о давлении насыщенных паров н-гептана от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния (2).

Плотность газовой фазы описывается с погрешностью 0,2 – 0,5 %, возрастающей до 0,7-1,0% вблизи пограничной кривой при температурах, свыше 498 К.

Погрешность описания величины p_v составила 0,05 – 0,15 %, несколько возрастая (до 0,3 – 0,4 %) при приближении к критической температуре. Плотность насыщенной жидкой фазы описывается с погрешностью 0,05 – 0,15 % и лишь при температурах свыше 498 К ошибки возрастают до 0,3 – 0,5 %. Именно по этой причине значения отклонений в табл. 4 для данных [20, 38,42] составляют 0,2 – 0,36 %. Плотность насыщенной газовой фазы, традиционно описывается с существенно большими ошибками, что прежде всего связано с точностью её экспериментального определения. Однако следует иметь ввиду, что при температурах $T/T_c < 0{,}8$ точность описания плотности ρ_v будет практически равна точности описания давления p_v.

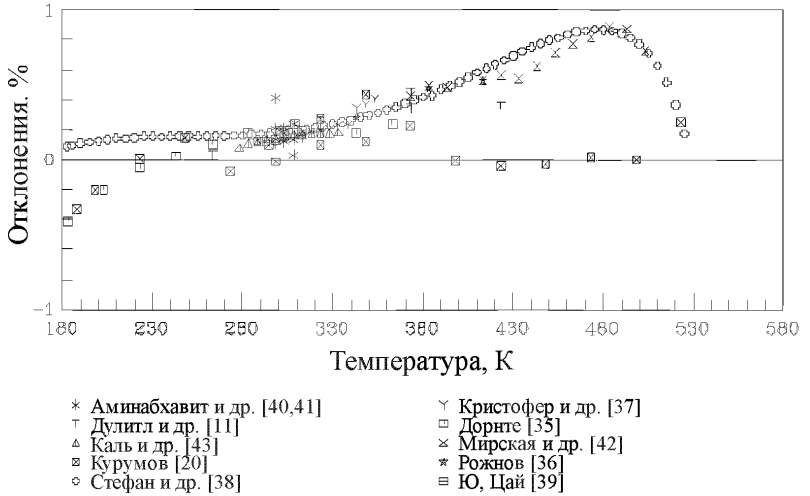

Рис. Б5. Отклонения экспериментальных данных о плотности насыщенной жидкой фазы н-гептана от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния (2).

Изобарная теплоемкость в ОТФЛ ГНИ исследовалась на экспериментальной установке, реализующей метод проточного адиабатического калориметра с замкнутой схемой циркуляции и калориметрическим измерением расхода [54]. Погрешность отдельного измерения изобарной теплоемкости составляла 0,34 % без учета ошибок отнесения. Температура измерялась с погрешностью 0,01 – 0,028 К (при T = 673 К), давление – с погрешностью 0,053 %. Измерения выполнены в диапазоне температуры 293 – 623 К при давлениях 0,5 – 60 МПа. Исследована жидкая и газовая фазы, критическая и сверхкритическая области.

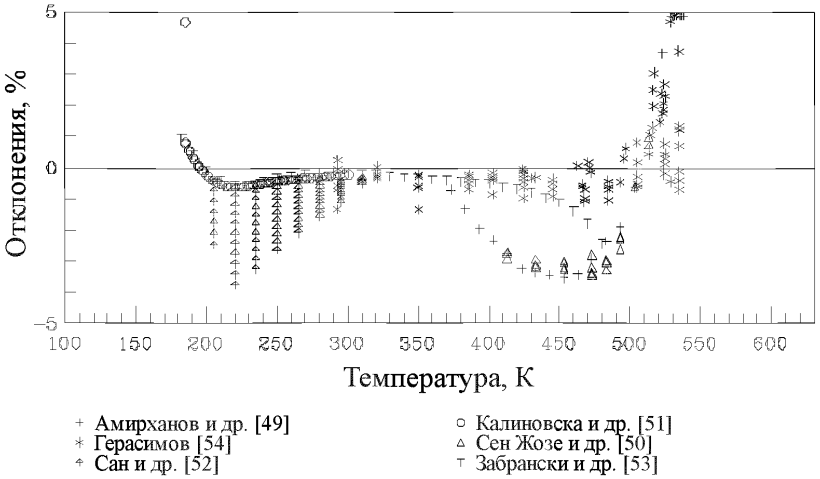

Рис. Б6. Отклонения экспериментальных данных о изобарной теплоемкости жидкой фазы н-гептана от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния (2).

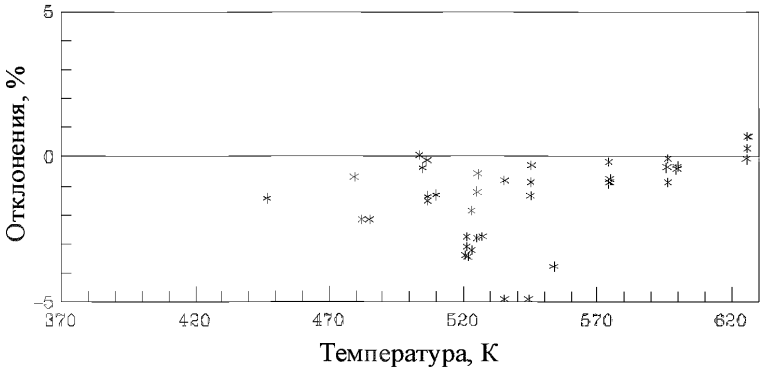

Рис. Б7. Отклонения экспериментальных данных о изобарной теплоемкости газовой фазы н-гептана от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния (2).

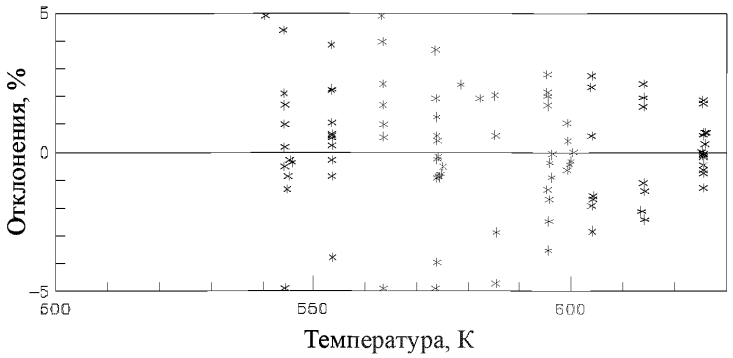

Рис. Б8. Отклонения экспериментальных данных о изобарной теплоемкости в сверхкритической области н-гептана от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния (2).

Экспериментальные измерения C_p в жидкой фазе выполнены также Сен Жозе с соавторами [50] в диапазоне температуры 413 – 513 К при давлениях 1,0 – 2,0 МПа и Саном с соавторами [52] в диапазоне 205 – 310 К при давлениях до 260 МПа. Средняя погрешность описания данных Сана с соавторами [52] не превышает 1 % при давлениях ло 100 МПа и начинает существенно возрастать при низких температурах с дальнейшим повышением давления.

Теплоемкость сосуществующей жидкой фазы C_s традиционно весьма подробно исследована в низкотемпературной области – от температуры тройной точки до 300 – 320 К [57]. Однако, учитывая, что *н*-гептан используется в калориметрии как одно из эталонных веществ, для него, в отличие от других углеводородов, надежные измерения C_s выполнены до более высоких температур. В 1953 году Джиннингс и Фурукава [63] опубликовали экспериментальные данные о C_s *н*-гептана в диапазоне температуры 20 – 520 К. При этом в диапазоне 20 – 370 К измерения проводились в калориметре с адиабатической оболочкой, а в диапазоне 273 – 523 К использовался ледяной калориметр Бунзена. В последующей публикации Дугласа с соавторами, в 1954 году [64], дается детальное изложение методики эксперимента, анализ полученных в [63] данных, а также представлен анализ существующего на тот период литературного материала о C_s *н*-гептана. Погрешность данных [63], полученных в адиабатическом калориметре в диапазоне 50 – 370 К оценивается величиной ± 0,1%. Погрешность измерений в ледяном калориметре составляет ± (0,15 – 0,2)%, без учета погрешности температурной шкалы. Дальнейшее исследование C_s *н*-гептана выполнено в работе Мак Каллафа и Мессерли [65]. Исследован образец по чистоте, соответствующий стандартному. Измерения проведены в диапазоне температуры 13 – 367 К в несколько серий, в трех, различных по конструкции криостатах. Погрешность данных [65] не превышает ± (0,1 – 0,2) %. В работе Ван Милтенбурга с соавторами [66] *н*-гептан исследован как стандартный образец в контрольных опытах. Имеются и более поздние публикации, в которых представлены опытные значения C_s *н*-гептана, однако в этих работах *н*-гептан также использовался для контрольных опытов, как стандартный образец. Из табл. 4 видно, что средняя погрешность описания данных о C_s не превышает 0,5 – 0,7 %. Отклонения несколько возрастают вблизи температуры тройной точки, где *н*-гептан имеет «аномалию» – небольшое увеличение теплоемкости с понижением температуры.

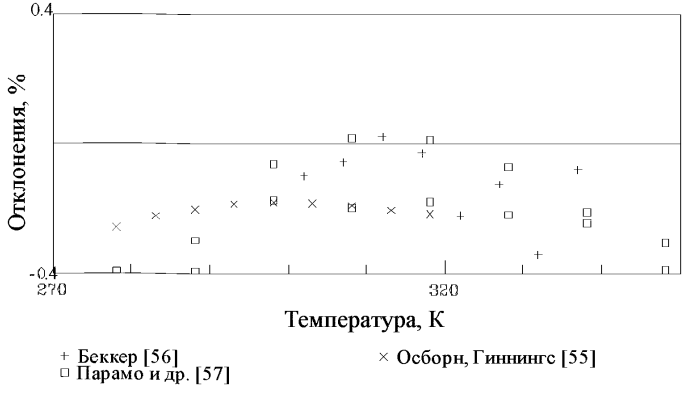

Рис. Б9. Отклонения экспериментальных данных о теплоемкости насыщенной жидкой фазы н-гептана от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния (2).

Широкодиапазонные измерения изохорной теплоемкости C_v *н*-алканов от *н*-C_5H_{12} до *н*-$C_{10}H_{22}$ выполнены в 60-е – 80-е годы прошлого века в институте физики Дагестанского филиала Академии наук СССР под руководством академика Х.И. Амирханова. В собранном виде данные представлены в монографии [49]. Измерения производились в сферическом высокотемпературном калориметре конструкции Амирханова и охватывали жидкую, газовую, двухфазную и сверхкритическую области параметров состояния, включая пограничные кривые. Исследован диапазон температур от нормальной точки кипения до 670 – 720 К и диапазон по плотности 60 – 620 кг/м^3. Погрешность данных, исключая область, близкую к критической точке составляет ± (1,5 – 2,5) %. По результатам экспериментального исследования C_v авторами [49] определены значения теплоемкостей C_v' и C_v'' на левой и правой пограничной кривой, рассчитаны теплоемкости C_p' и C_s. Отклонения рассчитанных значений C_v от экспериментальных данных [49] соответствуют погрешности последних. Более поздние измерения Полихрониди с соавторами [58] выполнены тем же методом на модифицированной экспериментальной установке.

Энтальпия испарения н-гептана исследована в ограниченном диапазоне температуры 298 – 371 К. При высоких температурах данные о h_v рассчитаны на основе экспериментальных данных о C_p [48], а в низкотемпературной области – автором настоящей работы. Экспериментальные данные [45, 46, 47] описываются с погрешностью 0,05 – 0,10 %, расчетные значения в низкотемпературной области - с погрешностью менее 0,5%, а при высоких температурах средняя погрешность не превышает 1%.

Скорость распространения звука исследована в жидкой фазе при высоких давлениях в диапазоне температуры 186 – 453 К в работах [15, 17, 59, 60], и на ли-

нии насыщения – до 533 К, в работах [61, 62]. Как видно из таблицы 4, средние погрешности составляют 0,3 – 0,6 %, и только при давлениях свыше 200 МПа, достигают 1,5% [17].

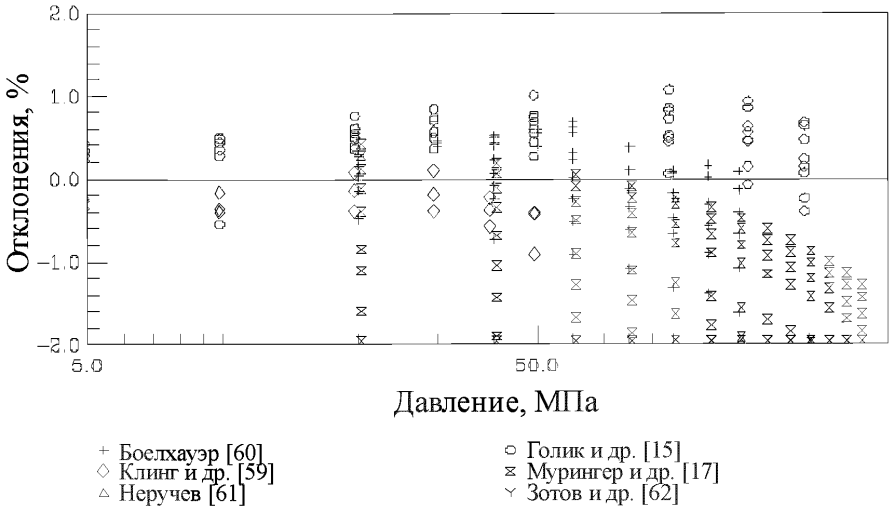

Рис. Б10. Отклонения экспериментальных данных о скорости звука н-гептана от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния (2).

Как было сказано выше, использовалась система ограничений, обеспечивающих «физическую» форму поверхности состояния и улучшающих экстраполяционные возможности уравнения. В частности, контролировался ход идеальных кривых, вид которых показан на рисунке 12.

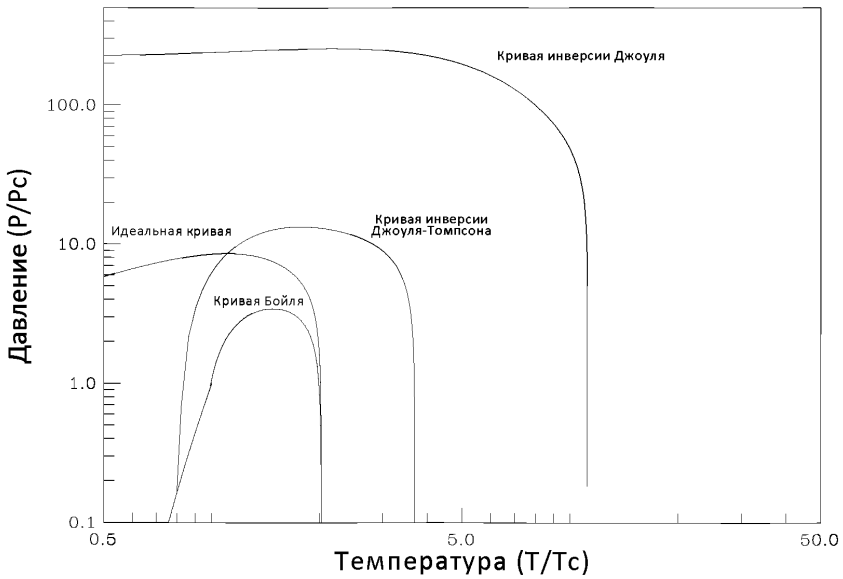

Рис. Б11. Поведение идеальных кривых для н-гептана по ФУС (2).

Оценка достоверности табличных данных проводилась косвенно. Поля неопределенностей для термических свойств на линии насыщения (p_v, ρ_l, ρ_v) определялись величиной отклонений от средних значений, полученных по эмпирическим уравнениям [67,68]. Поля неопределенностей о калорических свойствах определялись как сумма отклонений расчетных значений от табличных [26], полученных на основе прецизионных экспериментальных данных и вероятная погрешность табличных значений, оцененная в той же работе [26].

Неопределенность расчета плотности определялась как сумма отклонений между уравнением данной работы и уравнением Спана [69] и вероятной погрешности экспериментальных данных: в жидкой фазе 0,05 %, в газовой фазе 0,15 %, в сверхкритической области 0,1 %. Аналогично рассчитывалась неопределенность для скорости распространения звука. При этом вероятная погрешность экспериментальных данных принималась 0,2 %.

Поле неопределенности для изобарной теплоемкости определялось как сумма отклонений рассчитанных значений от экспериментально обоснованных табличных данных [54] и вероятная погрешность табличных данных [54], оцененная в этой же работе.

Таблица 4. Термодинамические свойства н-гептана в однофазной области

T	P	h	s	Cv	Cp	w
K	кг/м3	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с
1	2	3	4	5	6	7
p=0.1 МПа						
190	767.91	298.51	2.3369	1.5622	2.0383	1645.8
200	759.53	318.87	2.4413	1.5657	2.0347	1591.6
210	751.24	339.22	2.5406	1.5734	2.0367	1539.1
220	743.02	359.62	2.6355	1.5849	2.0438	1488.2
230	734.86	380.11	2.7266	1.6001	2.0556	1438.7
240	726.72	400.75	2.8144	1.6185	2.0716	1390.4
250	718.6	421.56	2.8994	1.64	2.0916	1343.3
260	710.48	442.59	2.9819	1.6644	2.1153	1297.3
270	702.33	463.88	3.0622	1.6913	2.1423	1252.2
280	694.16	485.45	3.1406	1.7205	2.1723	1208
290	685.92	507.33	3.2174	1.7517	2.205	1164.5
300	677.62	529.56	3.2928	1.7847	2.2403	1121.8
310	669.24	552.14	3.3668	1.8192	2.2777	1079.7
320	660.75	575.12	3.4398	1.8551	2.3172	1038.2
330	652.14	598.49	3.5117	1.892	2.3585	997.13
340	643.38	622.29	3.5827	1.9298	2.4016	956.46
350	634.45	646.53	3.653	1.9684	2.4462	916.11
360	625.33	671.22	3.7225	2.0075	2.4923	875.99
370	615.98	696.38	3.7915	2.0471	2.54	835.99
380	3.3284	1035	4.7035	1.9586	2.0672	173.61
390	3.2271	1055.9	4.7576	1.9989	2.1043	176.56
400	3.1331	1077.1	4.8114	2.0397	2.1424	179.4
410	3.0455	1098.7	4.8648	2.0807	2.1812	182.15
420	2.9634	1120.7	4.9178	2.1217	2.2203	184.81
430	2.8864	1143.1	4.9705	2.1626	2.2596	187.4
440	2.8137	1165.9	5.0229	2.2033	2.2989	189.93
450	2.7451	1189.1	5.075	2.2436	2.3381	192.39
460	2.6801	1212.7	5.1268	2.2836	2.3771	194.8
470	2.6185	1236.7	5.1784	2.3231	2.4157	197.16
480	2.5598	1261	5.2296	2.3622	2.454	199.48
490	2.504	1285.7	5.2806	2.4007	2.4918	201.75
500	2.4507	1310.8	5.3313	2.4387	2.5292	203.99
510	2.3998	1336.3	5.3818	2.4761	2.5661	206.18
520	2.3511	1362.2	5.432	2.513	2.6025	208.35
530	2.3045	1388.4	5.4819	2.5493	2.6384	210.49
540	2.2598	1414.9	5.5315	2.5851	2.6737	212.59
550	2.2169	1441.8	5.5809	2.6203	2.7085	214.67
560	2.1756	1469.1	5.63	2.6549	2.7428	216.72
570	2.136	1496.7	5.6789	2.6889	2.7766	218.75
580	2.0978	1524.6	5.7274	2.7224	2.8098	220.75
590	2.061	1552.9	5.7758	2.7553	2.8425	222.73

1	2	3	4	5	6	7
600	2.0255	1581.5	5.8238	2.7877	2.8746	224.68
610	1.9913	1610.4	5.8716	2.8195	2.9063	226.62
620	1.9582	1639.6	5.9191	2.8509	2.9374	228.53
630	1.9262	1669.1	5.9663	2.8817	2.968	230.43
640	1.8954	1699	6.0133	2.9119	2.9981	232.31
650	1.8655	1729.1	6.06	2.9417	3.0278	234.17
660	1.8365	1759.5	6.1065	2.971	3.0569	236.01
670	1.8085	1790.2	6.1527	2.9998	3.0856	237.84
680	1.7813	1821.2	6.1986	3.0281	3.1137	239.65
690	1.755	1852.5	6.2442	3.0559	3.1415	241.44
700	1.7294	1884.1	6.2896	3.0833	3.1687	243.22
p=0.5 МПа						
190	768.1	298.92	2.3363	1.5625	2.0382	1647.8
200	759.73	319.28	2.4407	1.566	2.0346	1593.7
210	751.46	339.63	2.54	1.5736	2.0366	1541.3
220	743.26	360.03	2.6349	1.5852	2.0436	1490.4
230	735.1	380.52	2.726	1.6003	2.0553	1441
240	726.99	401.15	2.8138	1.6187	2.0713	1392.9
250	718.88	421.96	2.8987	1.6402	2.0913	1345.9
260	710.78	442.99	2.9812	1.6646	2.1149	1300
270	702.66	464.27	3.0615	1.6915	2.1418	1255
280	694.5	485.83	3.14	1.7206	2.1717	1210.9
290	686.29	507.71	3.2167	1.7519	2.2044	1167.6
300	678.02	529.93	3.292	1.7848	2.2395	1125
310	669.67	552.51	3.3661	1.8194	2.2768	1083.1
320	661.21	575.47	3.439	1.8552	2.3162	1041.7
330	652.64	598.84	3.5109	1.8921	2.3574	1000.8
340	643.92	622.63	3.5819	1.9299	2.4002	960.39
350	635.04	646.85	3.6521	1.9685	2.4446	920.27
360	625.97	671.52	3.7216	2.0076	2.4905	880.41
370	616.68	696.66	3.7905	2.0471	2.5379	840.7
380	607.15	722.29	3.8588	2.0869	2.5868	801.06
390	597.31	748.4	3.9267	2.1269	2.6372	761.37
400	587.14	775.04	3.9941	2.1671	2.6896	721.5
410	576.57	802.2	4.0612	2.2074	2.7441	681.32
420	565.52	829.93	4.128	2.2477	2.8013	640.65
430	553.91	858.24	4.1946	2.2881	2.8621	599.28
440	16.128	1149.1	4.8604	2.2607	2.4482	166.43
450	15.509	1173.6	4.9156	2.2929	2.4653	171.05
460	14.959	1198.4	4.97	2.3262	2.4868	175.31
470	14.463	1223.4	5.0238	2.3602	2.5115	179.28
480	14.012	1248.6	5.0769	2.3947	2.5383	183
490	13.598	1274.2	5.1295	2.4294	2.5666	186.52
500	13.217	1300	5.1817	2.4642	2.5961	189.86

1	2	3	4	5	6	7
510	12.863	1326.1	5.2334	2.4989	2.6262	193.06
520	12.533	1352.5	5.2847	2.5334	2.6568	196.12
530	12.225	1379.2	5.3356	2.5676	2.6877	199.07
540	11.935	1406.2	5.3861	2.6016	2.7187	201.92
550	11.661	1433.6	5.4363	2.6352	2.7497	204.67
560	11.403	1461.2	5.4861	2.6684	2.7806	207.35
570	11.158	1489.2	5.5356	2.7012	2.8114	209.95
580	10.926	1517.5	5.5848	2.7336	2.842	212.48
590	10.705	1546	5.6336	2.7656	2.8724	214.94
600	10.494	1574.9	5.6821	2.7972	2.9024	217.36
610	10.292	1604.1	5.7303	2.8282	2.9322	219.72
620	10.1	1633.6	5.7783	2.8589	2.9616	222.03
630	9.9151	1663.3	5.8259	2.8891	2.9907	224.29
640	9.7382	1693.4	5.8732	2.9188	3.0194	226.51
650	9.5682	1723.7	5.9202	2.9481	3.0478	228.7
660	9.4048	1754.3	5.967	2.9769	3.0757	230.85
670	9.2476	1785.2	6.0134	3.0053	3.1033	232.96
680	9.0961	1816.4	6.0596	3.0332	3.1306	235.04
690	8.95	1847.8	6.1055	3.0607	3.1574	237.09
700	8.809	1879.5	6.1511	3.0878	3.1838	239.1
p=1.0 МПа						
190	768.34	299.44	2.3356	1.5628	2.0381	1650.4
200	759.99	319.79	2.44	1.5663	2.0344	1596.3
210	751.73	340.14	2.5393	1.5739	2.0364	1544
220	743.55	360.54	2.6342	1.5855	2.0434	1493.3
230	735.41	381.03	2.7253	1.6006	2.055	1444
240	727.32	401.65	2.813	1.619	2.071	1395.9
250	719.23	422.46	2.898	1.6405	2.0908	1349.1
260	711.15	443.48	2.9804	1.6648	2.1144	1303.3
270	703.06	464.76	3.0607	1.6917	2.1412	1258.4
280	694.93	486.32	3.1391	1.7209	2.171	1214.5
290	686.75	508.19	3.2159	1.7521	2.2036	1171.4
300	678.52	530.4	3.2911	1.7851	2.2386	1129
310	670.2	552.97	3.3651	1.8196	2.2758	1087.2
320	661.78	575.92	3.438	1.8554	2.315	1046.1
330	653.25	599.27	3.5099	1.8923	2.356	1005.4
340	644.59	623.04	3.5808	1.9301	2.3986	965.24
350	635.77	647.25	3.651	1.9686	2.4427	925.41
360	626.77	671.9	3.7204	2.0076	2.4883	885.86
370	617.55	697.02	3.7893	2.0471	2.5353	846.51
380	608.1	722.61	3.8575	2.0869	2.5837	807.26
390	598.37	748.7	3.9253	2.1269	2.6336	768.02
400	588.32	775.29	3.9926	2.167	2.6852	728.67
410	577.89	802.41	4.0596	2.2072	2.7388	689.09

1	2	3	4	5	6	7
420	567.02	830.08	4.1262	2.2474	2.7948	649.12
430	555.62	858.32	4.1927	2.2876	2.8539	608.59
440	543.57	887.17	4.259	2.3279	2.9171	567.25
450	530.73	916.68	4.3253	2.3683	2.9861	524.82
460	516.88	946.92	4.3918	2.4089	3.0636	480.86
470	501.67	977.99	4.4586	2.45	3.1546	434.77
480	33.016	1228.5	4.9867	2.4497	2.7531	154.42
490	31.373	1255.9	5.0433	2.476	2.7398	161.22
500	29.984	1283.3	5.0986	2.5041	2.7396	167.21
510	28.781	1310.8	5.1529	2.5335	2.7476	172.6
520	27.721	1338.3	5.2064	2.5637	2.7612	177.52
530	26.775	1366	5.2591	2.5943	2.7785	182.06
540	25.921	1393.9	5.3113	2.6253	2.7986	186.3
550	25.143	1422	5.3628	2.6563	2.8207	190.27
560	24.429	1450.3	5.4139	2.6874	2.8441	194.02
570	23.769	1478.9	5.4644	2.7183	2.8686	197.59
580	23.157	1507.7	5.5145	2.7491	2.8938	200.98
590	22.587	1536.7	5.5642	2.7796	2.9195	204.24
600	22.053	1566.1	5.6135	2.8099	2.9455	207.36
610	21.55	1595.7	5.6624	2.8399	2.9717	210.37
620	21.077	1625.5	5.7109	2.8696	2.9981	213.28
630	20.63	1655.6	5.7591	2.8989	3.0244	216.1
640	20.206	1686	5.8069	2.9279	3.0507	218.83
650	19.803	1716.6	5.8544	2.9564	3.0769	221.48
660	19.42	1747.5	5.9016	2.9846	3.1029	224.07
670	19.055	1778.7	5.9485	3.0125	3.1287	226.58
680	18.706	1810.1	5.995	3.0399	3.1544	229.04
690	18.372	1841.8	6.0412	3.067	3.1798	231.45
700	18.052	1873.7	6.0872	3.0936	3.2049	233.8
p=1.5 МПа						
190	768.58	299.95	2.3349	1.5631	2.038	1652.9
200	760.24	320.31	2.4393	1.5666	2.0343	1598.9
210	752	340.66	2.5386	1.5742	2.0362	1546.7
220	743.83	361.05	2.6334	1.5858	2.0431	1496.1
230	735.72	381.53	2.7245	1.6009	2.0547	1446.9
240	727.64	402.16	2.8123	1.6193	2.0706	1399
250	719.58	422.96	2.8972	1.6408	2.0904	1352.2
260	711.53	443.98	2.9796	1.6651	2.1139	1306.6
270	703.46	465.25	3.0599	1.692	2.1406	1261.9
280	695.36	486.8	3.1383	1.7211	2.1703	1218.1
290	687.21	508.66	3.215	1.7523	2.2028	1175.1
300	679.01	530.86	3.2902	1.7853	2.2377	1132.9
310	670.73	553.42	3.3642	1.8198	2.2747	1091.3
320	662.35	576.36	3.437	1.8556	2.3138	1050.4

1	2	3	4	5	6	7
330	653.87	599.7	3.5089	1.8924	2.3546	1010
340	645.25	623.46	3.5798	1.9302	2.397	970.04
350	636.49	647.65	3.6499	1.9687	2.4409	930.49
360	627.55	672.28	3.7193	2.0077	2.4862	891.24
370	618.41	697.38	3.788	2.0472	2.5328	852.23
380	609.05	722.95	3.8562	2.0869	2.5808	813.36
390	599.41	749	3.9239	2.1268	2.6302	774.55
400	589.48	775.55	3.9911	2.1669	2.6811	735.69
410	579.18	802.63	4.058	2.207	2.7338	696.67
420	568.48	830.24	4.1245	2.2471	2.7887	657.37
430	557.28	858.41	4.1908	2.2872	2.8463	617.61
440	545.48	887.17	4.2569	2.3273	2.9074	577.21
450	532.97	916.57	4.323	2.3675	2.9734	535.93
460	519.55	946.67	4.3891	2.4078	3.0463	493.45
470	504.95	977.53	4.4555	2.4484	3.1298	449.29
480	488.77	1009.3	4.5224	2.4896	3.2305	402.77
490	470.29	1042.2	4.5903	2.5318	3.3628	352.72
500	55.325	1259.3	5.0257	2.5631	3.1495	132.71
510	51.099	1290.1	5.0867	2.5809	3.0279	143.88
520	47.924	1320.1	5.1449	2.6029	2.9701	152.86
530	45.379	1349.6	5.2012	2.6276	2.9426	160.46
540	43.259	1379	5.2561	2.6539	2.932	167.1
550	41.443	1408.3	5.3099	2.6812	2.9319	173.05
560	39.857	1437.7	5.3628	2.7092	2.9387	178.44
570	38.45	1467.1	5.4149	2.7377	2.9503	183.4
580	37.188	1496.7	5.4663	2.7663	2.9652	188.01
590	36.045	1526.4	5.5171	2.7951	2.9826	192.31
600	35	1556.3	5.5674	2.8239	3.0017	196.37
610	34.039	1586.5	5.6172	2.8525	3.0222	200.2
620	33.151	1616.8	5.6665	2.8811	3.0437	203.85
630	32.324	1647.3	5.7154	2.9094	3.0659	207.33
640	31.553	1678.1	5.7639	2.9374	3.0886	210.67
650	30.83	1709.1	5.8119	2.9652	3.1116	213.87
660	30.15	1740.3	5.8596	2.9927	3.1349	216.96
670	29.508	1771.8	5.9069	3.02	3.1583	219.95
680	28.902	1803.5	5.9539	3.0468	3.1818	222.83
690	28.326	1835.4	6.0005	3.0734	3.2053	225.63
700	27.78	1867.6	6.0468	3.0996	3.2288	228.35
p=2.0 МПа						
190	768.82	300.47	2.3342	1.5634	2.0379	1655.4
200	760.5	320.82	2.4386	1.5669	2.0341	1601.5
210	752.27	341.17	2.5379	1.5745	2.036	1549.4
220	744.12	361.56	2.6327	1.586	2.0429	1498.9
230	736.03	382.04	2.7238	1.6011	2.0544	1449.8

1	2	3	4	5	6	7
240	727.97	402.66	2.8115	1.6195	2.0702	1402
250	719.93	423.46	2.8964	1.641	2.09	1355.4
260	711.9	444.47	2.9788	1.6653	2.1134	1309.8
270	703.85	465.74	3.0591	1.6922	2.14	1265.3
280	695.78	487.28	3.1374	1.7213	2.1697	1221.6
290	687.66	509.14	3.2141	1.7525	2.202	1178.8
300	679.49	531.33	3.2894	1.7855	2.2368	1136.8
310	671.25	553.88	3.3633	1.8199	2.2737	1095.4
320	662.91	576.81	3.4361	1.8557	2.3126	1054.7
330	654.47	600.14	3.5079	1.8926	2.3532	1014.5
340	645.91	623.88	3.5787	1.9303	2.3955	974.8
350	637.2	648.05	3.6488	1.9688	2.4391	935.51
360	628.33	672.67	3.7182	2.0078	2.4841	896.55
370	619.26	697.74	3.7868	2.0472	2.5304	857.87
380	609.97	723.28	3.855	2.0869	2.578	819.37
390	600.43	749.31	3.9225	2.1268	2.6269	780.97
400	590.61	775.82	3.9897	2.1668	2.6772	742.58
410	580.45	802.85	4.0564	2.2068	2.7291	704.09
420	569.89	830.41	4.1228	2.2468	2.7829	665.4
430	558.88	858.52	4.189	2.2868	2.8392	626.37
440	547.32	887.21	4.2549	2.3268	2.8984	586.84
450	535.11	916.5	4.3207	2.3667	2.9618	546.61
460	522.08	946.46	4.3866	2.4068	3.0309	505.42
470	508.02	977.15	4.4526	2.447	3.1084	462.94
480	492.6	1008.7	4.5189	2.4876	3.1989	418.67
490	475.31	1041.2	4.586	2.5289	3.3114	371.84
500	455.22	1075	4.6544	2.5717	3.4662	321.16
510	430.31	1110.8	4.7253	2.6173	3.7233	263.91
520	82.78	1291.2	5.0737	2.665	3.8108	113.64
530	73.219	1326.7	5.1414	2.6738	3.3795	130.28
540	67.155	1359.6	5.2029	2.6908	3.2173	142.25
550	62.7	1391.4	5.2611	2.7117	3.1385	151.84
560	59.185	1422.5	5.3173	2.7351	3.0977	159.95
570	56.286	1453.4	5.3719	2.76	3.0777	167.03
580	53.826	1484.1	5.4253	2.7858	3.0703	173.36
590	51.691	1514.8	5.4778	2.8123	3.0712	179.09
600	49.809	1545.6	5.5295	2.8391	3.0778	184.35
610	48.128	1576.4	5.5804	2.8662	3.0884	189.23
620	46.611	1607.3	5.6308	2.8933	3.1019	193.79
630	45.231	1638.4	5.6805	2.9205	3.1176	198.07
640	43.966	1669.7	5.7298	2.9475	3.1349	202.12
650	42.799	1701.1	5.7785	2.9745	3.1534	205.96
660	41.717	1732.8	5.8268	3.0012	3.1728	209.62
670	40.709	1764.6	5.8747	3.0277	3.1929	213.12

1	2	3	4	5	6	7
680	39.766	1796.6	5.9221	3.054	3.2135	216.48
690	38.881	1828.9	5.9692	3.08	3.2345	219.71
700	38.047	1861.3	6.0159	3.1057	3.2558	222.83
p=2.5 МПа						
190	769.06	300.98	2.3335	1.5637	2.0378	1657.9
200	760.75	321.34	2.4379	1.5672	2.034	1604.1
210	752.54	341.68	2.5371	1.5748	2.0358	1552
220	744.41	362.07	2.632	1.5863	2.0426	1501.6
230	736.33	382.55	2.723	1.6014	2.0541	1452.7
240	728.29	403.17	2.8108	1.6198	2.0699	1405
250	720.28	423.96	2.8956	1.6413	2.0896	1358.5
260	712.27	444.97	2.978	1.6656	2.1129	1313.1
270	704.25	466.23	3.0583	1.6924	2.1394	1268.7
280	696.2	487.77	3.1366	1.7216	2.169	1225.2
290	688.12	509.62	3.2133	1.7527	2.2012	1182.5
300	679.98	531.8	3.2885	1.7857	2.2359	1140.6
310	671.77	554.34	3.3624	1.8201	2.2727	1099.5
320	663.47	577.26	3.4351	1.8559	2.3115	1058.9
330	655.08	600.58	3.5069	1.8928	2.3519	1019
340	646.56	624.31	3.5777	1.9305	2.394	979.5
350	637.9	648.46	3.6477	1.9689	2.4374	940.47
360	629.09	673.06	3.717	2.0079	2.4821	901.8
370	620.09	698.11	3.7857	2.0473	2.5281	863.43
380	610.89	723.62	3.8537	2.0869	2.5753	825.28
390	601.44	749.62	3.9212	2.1268	2.6237	787.28
400	591.72	776.1	3.9883	2.1667	2.6734	749.33
410	581.68	803.09	4.0549	2.2067	2.7246	711.36
420	571.27	830.6	4.1212	2.2466	2.7775	673.25
430	560.44	858.65	4.1872	2.2865	2.8325	634.9
440	549.1	887.26	4.253	2.3263	2.8902	596.16
450	537.16	916.46	4.3186	2.3661	2.9513	556.89
460	524.48	946.3	4.3842	2.4059	3.0172	516.87
470	510.89	976.83	4.4498	2.4458	3.0898	475.85
480	496.13	1008.1	4.5157	2.4859	3.1724	433.48
490	479.81	1040.3	4.5821	2.5265	3.2709	389.25
500	461.28	1073.6	4.6494	2.5681	3.3972	342.37
510	439.35	1108.5	4.7183	2.6113	3.5794	291.46
520	411.26	1145.7	4.7906	2.6583	3.9086	233.6
530	366.77	1188.8	4.8726	2.7161	5.0132	159.45
540	111.05	1328	5.1334	2.7476	4.4484	106.11
550	95.003	1367.8	5.2063	2.7524	3.6749	124.7
560	85.824	1403.1	5.2699	2.7671	3.4222	137.82
570	79.399	1436.6	5.3293	2.7862	3.3023	148.26
580	74.476	1469.3	5.3862	2.808	3.2381	157.05

1	2	3	4	5	6	7
590	70.501	1501.5	5.4412	2.8313	3.2028	164.7
600	67.178	1533.4	5.4948	2.8558	3.1846	171.5
610	64.33	1565.2	5.5474	2.8809	3.1774	177.65
620	61.844	1597	5.5991	2.9064	3.1775	183.28
630	59.642	1628.8	5.6499	2.9322	3.1828	188.49
640	57.67	1660.7	5.7001	2.9581	3.1919	193.34
650	55.885	1692.6	5.7497	2.984	3.2038	197.89
660	54.258	1724.7	5.7987	3.0099	3.2178	202.18
670	52.764	1757	5.8472	3.0357	3.2333	206.25
680	51.384	1789.4	5.8953	3.0613	3.2501	210.12
690	50.104	1822	5.9428	3.0867	3.2678	213.81
700	48.91	1854.8	5.99	3.1119	3.2862	217.34
p=3.0 МПа						
190	769.29	301.5	2.3328	1.5641	2.0377	1660.3
200	761	321.85	2.4372	1.5675	2.0339	1606.6
210	752.81	342.2	2.5364	1.5751	2.0356	1554.7
220	744.69	362.58	2.6313	1.5866	2.0424	1504.4
230	736.63	383.06	2.7223	1.6017	2.0538	1455.5
240	728.62	403.67	2.81	1.6201	2.0695	1408
250	720.62	424.46	2.8949	1.6416	2.0892	1361.6
260	712.63	445.47	2.9772	1.6659	2.1124	1316.3
270	704.64	466.72	3.0575	1.6927	2.1389	1272
280	696.62	488.25	3.1358	1.7218	2.1684	1228.7
290	688.56	510.1	3.2124	1.753	2.2005	1186.2
300	680.46	532.27	3.2876	1.7859	2.235	1144.5
310	672.28	554.8	3.3615	1.8203	2.2717	1103.5
320	664.02	577.71	3.4342	1.8561	2.3103	1063.1
330	655.67	601.02	3.5059	1.8929	2.3506	1023.4
340	647.2	624.73	3.5767	1.9306	2.3925	984.15
350	638.6	648.87	3.6467	1.969	2.4357	945.37
360	629.85	673.45	3.7159	2.008	2.4802	906.98
370	620.91	698.48	3.7845	2.0473	2.5258	868.92
380	611.78	723.97	3.8525	2.087	2.5726	831.11
390	602.43	749.94	3.9199	2.1268	2.6206	793.48
400	592.81	776.39	3.9869	2.1666	2.6698	755.96
410	582.89	803.34	4.0534	2.2065	2.7203	718.47
420	572.62	830.8	4.1196	2.2464	2.7724	680.91
430	561.96	858.79	4.1854	2.2862	2.8263	643.19
440	550.82	887.33	4.2511	2.3259	2.8825	605.2
450	539.13	916.45	4.3165	2.3655	2.9416	566.8
460	526.78	946.18	4.3818	2.4051	3.0047	527.84
470	513.6	976.56	4.4472	2.4447	3.0733	488.11
480	499.41	1007.7	4.5127	2.4844	3.1497	447.38
490	483.89	1039.6	4.5785	2.5245	3.2379	405.29

1	2	3	4	5	6	7
500	466.58	1072.5	4.6449	2.5651	3.3453	361.35
510	446.71	1106.6	4.7125	2.6068	3.4869	314.83
520	422.78	1142.5	4.7821	2.6506	3.6995	264.45
530	391.24	1181.2	4.8559	2.6987	4.1074	207.65
540	338.34	1227.6	4.9425	2.7592	5.6003	137.76
550	172.58	1322.2	5.116	2.8146	7.2825	91.601
560	129.8	1375	5.2112	2.8084	4.3332	112.89
570	112.43	1415	5.282	2.8175	3.7636	128.01
580	101.7	1451.3	5.3452	2.8332	3.5287	139.91
590	94.036	1485.9	5.4044	2.8524	3.4073	149.84
600	88.12	1519.6	5.461	2.8737	3.3386	158.4
610	83.333	1552.8	5.5158	2.8964	3.2986	165.97
620	79.332	1585.7	5.5693	2.9201	3.2762	172.77
630	75.906	1618.3	5.6216	2.9443	3.2652	178.97
640	72.919	1651	5.673	2.969	3.262	184.67
650	70.279	1683.6	5.7236	2.9938	3.2643	189.95
660	67.916	1716.3	5.7734	3.0188	3.2707	194.9
670	65.782	1749	5.8227	3.0438	3.2801	199.54
680	63.839	1781.9	5.8714	3.0687	3.2919	203.92
690	62.059	1814.9	5.9195	3.0935	3.3053	208.08
700	60.416	1848	5.9672	3.1182	3.3202	212.04
p=4.0 МПа						
190	769.76	302.53	2.3314	1.5647	2.0375	1665.3
200	761.5	322.88	2.4357	1.5681	2.0336	1611.7
210	753.34	343.22	2.535	1.5758	2.0352	1560
220	745.26	363.6	2.6298	1.5872	2.0419	1509.9
230	737.24	384.08	2.7208	1.6023	2.0533	1461.2
240	729.26	404.68	2.8085	1.6207	2.0688	1413.9
250	721.3	425.47	2.8933	1.6421	2.0883	1367.7
260	713.36	446.46	2.9757	1.6664	2.1114	1322.7
270	705.41	467.71	3.0559	1.6932	2.1378	1278.7
280	697.45	489.23	3.1341	1.7223	2.1671	1235.6
290	689.45	511.06	3.2107	1.7534	2.1991	1193.5
300	681.4	533.22	3.2858	1.7863	2.2334	1152.1
310	673.3	555.73	3.3597	1.8208	2.2698	1111.4
320	665.12	578.62	3.4323	1.8565	2.3082	1071.5
330	656.85	601.9	3.504	1.8933	2.3482	1032.1
340	648.47	625.59	3.5747	1.9309	2.3896	993.32
350	639.97	649.7	3.6446	1.9693	2.4324	955.02
360	631.33	674.24	3.7137	2.0082	2.4764	917.16
370	622.53	699.23	3.7822	2.0475	2.5215	879.68
380	613.54	724.67	3.85	2.0871	2.5677	842.51
390	604.35	750.59	3.9173	2.1268	2.6148	805.6

1	2	3	4	5	6	7
400	594.92	776.97	3.9841	2.1666	2.663	768.88
410	585.23	803.85	4.0505	2.2063	2.7123	732.28
420	575.22	831.23	4.1164	2.2461	2.7629	695.73
430	564.87	859.11	4.1821	2.2857	2.8148	659.17
440	554.1	887.53	4.2474	2.3252	2.8686	622.51
450	542.87	916.49	4.3125	2.3645	2.9244	585.66
460	531.07	946.03	4.3774	2.4038	2.9831	548.53
470	518.62	976.17	4.4422	2.4429	3.0454	511
480	505.36	1007	4.507	2.482	3.1128	472.95
490	491.11	1038.4	4.5719	2.5212	3.187	434.21
500	475.61	1070.7	4.6372	2.5606	3.2713	394.61
510	458.47	1103.9	4.7029	2.6003	3.3711	353.93
520	439.1	1138.2	4.7695	2.6408	3.4956	311.89
530	416.51	1174	4.8376	2.6825	3.6639	268.2
540	388.9	1211.8	4.9083	2.7263	3.9177	222.71
550	352.66	1252.9	4.9838	2.7735	4.3572	176.26
560	301.18	1300.1	5.0687	2.8237	5.1201	134.77
570	237.74	1353.7	5.1636	2.8623	5.3509	115.88
580	191.3	1403.7	5.2505	2.8801	4.6285	119.5
590	163.56	1447.1	5.3248	2.8939	4.1152	128.67
600	145.54	1486.7	5.3913	2.9096	3.8269	138.19
610	132.72	1524.1	5.4531	2.9276	3.6574	147.13
620	123	1560.1	5.5116	2.9474	3.5525	155.35
630	115.28	1595.2	5.5679	2.9685	3.4858	162.9
640	108.95	1629.9	5.6224	2.9905	3.443	169.85
650	103.61	1664.1	5.6756	3.0131	3.4161	176.28
660	99.024	1698.2	5.7276	3.0362	3.4003	182.26
670	95.022	1732.2	5.7787	3.0596	3.3923	187.85
680	91.484	1766.1	5.8289	3.0832	3.3902	193.1
690	88.321	1800	5.8784	3.1068	3.3924	198.05
700	85.469	1833.9	5.9273	3.1304	3.3979	202.74
p=5.0 МПа						
190	770.23	303.56	2.33	1.5654	2.0373	1670.2
200	762	323.91	2.4343	1.5688	2.0333	1616.8
210	753.87	344.25	2.5336	1.5764	2.0349	1565.3
220	745.82	364.63	2.6284	1.5878	2.0415	1515.3
230	737.83	385.09	2.7193	1.6028	2.0527	1466.9
240	729.89	405.7	2.807	1.6212	2.0682	1419.8
250	721.98	426.47	2.8918	1.6426	2.0876	1373.8
260	714.08	447.46	2.9741	1.6669	2.1105	1329.1
270	706.18	468.69	3.0543	1.6937	2.1367	1285.3
280	698.27	490.2	3.1325	1.7228	2.1659	1242.5
290	690.32	512.02	3.209	1.7539	2.1977	1200.6

1	2	3	4	5	6	7
300	682.34	534.16	3.2841	1.7868	2.2318	1159.6
310	674.3	556.66	3.3579	1.8212	2.268	1119.2
320	666.19	579.53	3.4305	1.8569	2.3061	1079.6
330	658	602.79	3.502	1.8936	2.3458	1040.7
340	649.71	626.45	3.5727	1.9313	2.3869	1002.3
350	641.31	650.53	3.6425	1.9696	2.4294	964.47
360	632.78	675.04	3.7115	2.0085	2.4729	927.11
370	624.1	699.99	3.7799	2.0477	2.5175	890.17
380	615.25	725.4	3.8476	2.0872	2.563	853.6
390	606.22	751.26	3.9148	2.1269	2.6094	817.35
400	596.97	777.59	3.9815	2.1665	2.6568	781.36
410	587.47	804.4	4.0477	2.2062	2.705	745.58
420	577.71	831.69	4.1134	2.2458	2.7543	709.94
430	567.63	859.48	4.1788	2.2853	2.8046	674.41
440	557.2	887.79	4.2439	2.3246	2.8563	638.92
450	546.36	916.62	4.3087	2.3637	2.9096	603.4
460	535.05	945.99	4.3732	2.4027	2.9649	567.81
470	523.19	975.92	4.4376	2.4415	3.0226	532.08
480	510.68	1006.5	4.5019	2.4801	3.0837	496.15
490	497.4	1037.6	4.5661	2.5187	3.149	459.95
500	483.19	1069.4	4.6304	2.5572	3.2201	423.43
510	467.83	1102	4.695	2.5958	3.2991	386.54
520	451.03	1135.5	4.7599	2.6346	3.3894	349.29
530	432.38	1169.9	4.8254	2.6737	3.496	311.72
540	411.29	1205.5	4.8919	2.7135	3.6265	274.1
550	386.94	1242.5	4.9599	2.7539	3.7918	237.02
560	358.29	1281.5	5.0301	2.7951	4.002	201.96
570	324.5	1322.7	5.103	2.8359	4.2419	171.86
580	286.75	1366.1	5.1785	2.8732	4.413	150.99
590	249.95	1410.2	5.254	2.9035	4.3799	141.63
600	219.24	1453.2	5.3261	2.9271	4.1938	141.09
610	195.58	1494.1	5.3938	2.9475	3.9948	144.97
620	177.49	1533.2	5.4574	2.9673	3.8372	150.6
630	163.37	1571	5.5178	2.9875	3.7225	156.81
640	152.06	1607.8	5.5758	3.0082	3.6408	163.11
650	142.77	1643.9	5.6317	3.0295	3.5832	169.29
660	134.98	1679.5	5.6861	3.0514	3.543	175.26
670	128.34	1714.8	5.7392	3.0736	3.5156	180.98
680	122.59	1749.8	5.7911	3.0961	3.4978	186.46
690	117.55	1784.7	5.8421	3.1187	3.4872	191.68
700	113.08	1819.6	5.8922	3.1414	3.4821	196.67
p=10.0 МПа						
190	772.53	308.73	2.323	1.5686	2.0366	1694.1

1	2	3	4	5	6	7
200	764.44	329.07	2.4274	1.572	2.0322	1641.6
210	756.46	349.4	2.5265	1.5795	2.0333	1590.9
220	748.57	369.76	2.6212	1.5908	2.0395	1541.9
230	740.75	390.2	2.7121	1.6058	2.0502	1494.4
240	732.99	410.78	2.7997	1.6241	2.0652	1448.3
250	725.27	431.52	2.8844	1.6454	2.084	1403.4
260	717.58	452.47	2.9665	1.6696	2.1064	1359.8
270	709.9	473.66	3.0465	1.6963	2.132	1317.2
280	702.22	495.12	3.1245	1.7253	2.1604	1275.7
290	694.54	516.87	3.2009	1.7563	2.1914	1235.1
300	686.83	538.95	3.2757	1.7891	2.2246	1195.4
310	679.1	561.37	3.3492	1.8234	2.2599	1156.6
320	671.32	584.16	3.4216	1.859	2.2969	1118.6
330	663.49	607.32	3.4928	1.8956	2.3354	1081.4
340	655.59	630.87	3.5631	1.9331	2.3752	1044.9
350	647.62	654.82	3.6326	1.9713	2.416	1009
360	639.57	679.19	3.7012	2.01	2.4578	973.76
370	631.42	703.98	3.7691	2.049	2.5004	939.12
380	623.16	729.2	3.8364	2.0883	2.5436	905.03
390	614.78	754.86	3.903	2.1277	2.5873	871.47
400	606.26	780.95	3.9691	2.1671	2.6315	838.41
410	597.6	807.49	4.0346	2.2064	2.6761	805.82
420	588.78	834.47	4.0996	2.2456	2.721	773.68
430	579.77	861.91	4.1642	2.2846	2.7661	741.98
440	570.57	889.8	4.2283	2.3233	2.8116	710.71
450	561.16	918.14	4.292	2.3618	2.8573	679.86
460	551.51	946.94	4.3553	2.3999	2.9033	649.43
470	541.61	976.21	4.4182	2.4377	2.9496	619.44
480	531.43	1005.9	4.4808	2.4751	2.9961	589.9
490	520.95	1036.1	4.5431	2.5122	3.043	560.84
500	510.14	1066.8	4.605	2.5488	3.0902	532.31
510	498.98	1097.9	4.6667	2.5851	3.1378	504.37
520	487.44	1129.6	4.7281	2.621	3.1857	477.1
530	475.5	1161.7	4.7892	2.6565	3.2338	450.58
540	463.13	1194.2	4.8501	2.6916	3.282	424.95
550	450.33	1227.3	4.9108	2.7263	3.3301	400.34
560	437.08	1260.8	4.9712	2.7605	3.3777	376.91
570	423.4	1294.8	5.0314	2.7941	3.4244	354.85
580	409.31	1329.3	5.0914	2.8273	3.4694	334.34
590	394.88	1364.2	5.151	2.8597	3.512	315.57
600	380.19	1399.5	5.2104	2.8915	3.5512	298.69
610	365.34	1435.2	5.2694	2.9225	3.586	283.83
620	350.49	1471.2	5.328	2.9525	3.6155	271.04

1	2	3	4	5	6	7
630	335.8	1507.5	5.386	2.9817	3.6391	260.33
640	321.43	1544	5.4435	3.0098	3.6566	251.64
650	307.54	1580.6	5.5002	3.0371	3.6683	244.84
660	294.26	1617.4	5.5563	3.0635	3.6749	239.76
670	281.69	1654.1	5.6116	3.0891	3.6775	236.18
680	269.89	1690.9	5.6661	3.114	3.6773	233.89
690	258.87	1727.7	5.7198	3.1383	3.6755	232.67
700	248.63	1764.4	5.7726	3.1621	3.6732	232.33
p=20.0 МПа						
200	769.09	339.43	2.4139	1.5785	2.0307	1688.5
210	761.38	359.73	2.513	1.5858	2.0311	1639.4
220	753.77	380.07	2.6076	1.597	2.0365	1591.9
230	746.26	400.48	2.6983	1.6118	2.0464	1546.1
240	738.82	421.01	2.7857	1.63	2.0606	1501.7
250	731.43	441.7	2.8702	1.6512	2.0785	1458.6
260	724.1	462.59	2.9521	1.6752	2.0999	1416.8
270	716.8	483.71	3.0318	1.7018	2.1245	1376.2
280	709.54	505.09	3.1096	1.7306	2.1518	1336.7
290	702.28	526.75	3.1856	1.7615	2.1816	1298.3
300	695.04	548.73	3.2601	1.7942	2.2136	1260.9
310	687.8	571.03	3.3332	1.8283	2.2475	1224.4
320	680.55	593.68	3.4051	1.8638	2.283	1188.9
330	673.3	616.7	3.4759	1.9002	2.3199	1154.3
340	666.02	640.09	3.5457	1.9376	2.3579	1120.5
350	658.71	663.86	3.6147	1.9756	2.3968	1087.5
360	651.38	688.02	3.6827	2.014	2.4364	1055.2
370	644	712.59	3.75	2.0529	2.4766	1023.8
380	636.59	737.56	3.8166	2.0919	2.5172	993.05
390	629.12	762.93	3.8825	2.131	2.558	963.02
400	621.61	788.72	3.9478	2.1701	2.599	933.68
410	614.03	814.91	4.0125	2.2091	2.64	905.01
420	606.4	841.52	4.0766	2.2479	2.6809	877.01
430	598.7	868.53	4.1402	2.2864	2.7217	849.66
440	590.93	895.95	4.2032	2.3247	2.7622	822.97
450	583.09	923.77	4.2657	2.3626	2.8025	796.92
460	575.17	952	4.3278	2.4001	2.8424	771.53
470	567.18	980.62	4.3893	2.4373	2.8819	746.8
480	559.1	1009.6	4.4504	2.4739	2.9208	722.74
490	550.95	1039	4.511	2.5102	2.9593	699.36
500	542.73	1068.8	4.5712	2.5459	2.9972	676.68
510	534.42	1099	4.6309	2.5812	3.0344	654.71
520	526.04	1129.5	4.6902	2.616	3.071	633.48
530	517.59	1160.4	4.749	2.6502	3.1068	613.01

1	2	3	4	5	6	7
540	509.07	1191.6	4.8074	2.684	3.1419	593.32
550	500.5	1223.2	4.8654	2.7173	3.1761	574.43
560	491.87	1255.2	4.9229	2.75	3.2094	556.36
570	483.2	1287.4	4.98	2.7823	3.2418	539.14
580	474.5	1320	5.0367	2.814	3.2732	522.78
590	465.78	1352.9	5.0929	2.8452	3.3036	507.29
600	457.06	1386.1	5.1486	2.8759	3.3329	492.68
610	448.36	1419.5	5.204	2.9061	3.3611	478.95
620	439.68	1453.3	5.2588	2.9357	3.3882	466.11
630	431.05	1487.3	5.3133	2.9649	3.4142	454.15
640	422.48	1521.6	5.3672	2.9935	3.4392	443.05
650	414	1556.1	5.4207	3.0216	3.463	432.79
660	405.61	1590.8	5.4738	3.0492	3.4858	423.34
670	397.34	1625.8	5.5264	3.0763	3.5076	414.69
680	389.2	1661	5.5785	3.103	3.5284	406.8
690	381.21	1696.3	5.6301	3.1291	3.5482	399.64
700	373.37	1731.9	5.6813	3.1548	3.5673	393.16
p=40.0 МПа						
210	770.37	380.53	2.4877	1.5988	2.0291	1727.2
220	763.24	400.84	2.5822	1.6097	2.0333	1682.2
230	756.22	421.22	2.6728	1.6243	2.0421	1638.9
240	749.29	441.7	2.7599	1.6421	2.055	1597.1
250	742.45	462.33	2.8442	1.6631	2.0717	1556.8
260	735.68	483.15	2.9258	1.6869	2.0919	1517.7
270	728.97	504.18	3.0052	1.7133	2.1151	1480
280	722.32	525.46	3.0825	1.7419	2.141	1443.4
290	715.72	547.01	3.1582	1.7726	2.1694	1408
300	709.16	568.85	3.2322	1.805	2.1999	1373.7
310	702.64	591.01	3.3049	1.839	2.2321	1340.4
320	696.15	613.5	3.3763	1.8742	2.266	1308.1
330	689.69	636.33	3.4465	1.9105	2.3011	1276.8
340	683.25	659.52	3.5158	1.9477	2.3372	1246.4
350	676.84	683.08	3.584	1.9855	2.3742	1216.9
360	670.43	707.01	3.6515	2.0238	2.4118	1188.3
370	664.05	731.32	3.7181	2.0624	2.4499	1160.5
380	657.67	756.01	3.7839	2.1012	2.4882	1133.6
390	651.3	781.08	3.849	2.1401	2.5267	1107.4
400	644.94	806.54	3.9135	2.179	2.5652	1082
410	638.59	832.39	3.9773	2.2177	2.6036	1057.4
420	632.25	858.61	4.0405	2.2563	2.6419	1033.4
430	625.91	885.22	4.1031	2.2946	2.6798	1010.2
440	619.57	912.21	4.1651	2.3326	2.7175	987.71
450	613.24	939.57	4.2266	2.3702	2.7547	965.88

1	2	3	4	5	6	7
460	606.92	967.3	4.2876	2.4074	2.7915	944.73
470	600.6	995.4	4.348	2.4442	2.8278	924.24
480	594.29	1023.9	4.4079	2.4805	2.8636	904.41
490	587.98	1052.7	4.4673	2.5164	2.8988	885.22
500	581.69	1081.8	4.5262	2.5518	2.9334	866.68
510	575.41	1111.3	4.5847	2.5867	2.9674	848.76
520	569.14	1141.2	4.6426	2.6211	3.0008	831.47
530	562.9	1171.3	4.7001	2.655	3.0335	814.81
540	556.66	1201.8	4.7571	2.6884	3.0656	798.75
550	550.46	1232.7	4.8136	2.7212	3.097	783.3
560	544.27	1263.8	4.8697	2.7536	3.1278	768.44
570	538.12	1295.2	4.9253	2.7854	3.1578	754.18
580	531.99	1326.9	4.9805	2.8168	3.1873	740.5
590	525.9	1359	5.0352	2.8477	3.216	727.39
600	519.85	1391.3	5.0895	2.8781	3.2441	714.84
610	513.84	1423.8	5.1434	2.908	3.2716	702.85
620	507.88	1456.7	5.1968	2.9374	3.2984	691.4
630	501.96	1489.8	5.2498	2.9663	3.3246	680.47
640	496.1	1523.2	5.3023	2.9948	3.3502	670.07
650	490.29	1556.8	5.3545	3.0229	3.3752	660.17
660	484.55	1590.7	5.4062	3.0504	3.3996	650.75
670	478.86	1624.8	5.4575	3.0776	3.4234	641.81
680	473.24	1659.1	5.5084	3.1043	3.4467	633.34
690	467.69	1693.7	5.5589	3.1306	3.4695	625.3
700	462.2	1728.5	5.609	3.1564	3.4917	617.69
p=60.0 МПа						
220	771.72	421.76	2.5589	1.6225	2.0328	1762.7
230	765.09	442.13	2.6494	1.6368	2.0407	1721.3
240	758.56	462.59	2.7365	1.6544	2.0528	1681.4
250	752.13	483.19	2.8206	1.6751	2.0686	1643.1
260	745.79	503.97	2.9021	1.6987	2.0879	1606
270	739.53	524.96	2.9813	1.7248	2.1102	1570.3
280	733.35	546.19	3.0585	1.7533	2.1353	1535.7
290	727.22	567.68	3.1339	1.7838	2.1628	1502.4
300	721.16	589.45	3.2077	1.8161	2.1924	1470.1
310	715.15	611.53	3.2801	1.8499	2.2238	1438.9
320	709.19	633.93	3.3512	1.885	2.2567	1408.7
330	703.27	656.67	3.4212	1.9211	2.2909	1379.5
340	697.4	679.75	3.4901	1.9582	2.3261	1351.3
350	691.57	703.19	3.558	1.9958	2.3621	1323.9
360	685.77	727	3.6251	2.034	2.3988	1297.5
370	680.01	751.17	3.6913	2.0725	2.4359	1271.9
380	674.28	775.72	3.7568	2.1112	2.4732	1247.1

1	2	3	4	5	6	7
390	668.59	800.64	3.8215	2.15	2.5108	1223.1
400	662.92	825.93	3.8855	2.1887	2.5483	1199.8
410	657.28	851.6	3.9489	2.2274	2.5858	1177.3
420	651.67	877.65	4.0117	2.2658	2.6231	1155.5
430	646.09	904.06	4.0738	2.304	2.6601	1134.4
440	640.53	930.85	4.1354	2.3419	2.6968	1114
450	635.01	958	4.1964	2.3794	2.7332	1094.2
460	629.5	985.51	4.2569	2.4166	2.7691	1075
470	624.03	1013.4	4.3168	2.4532	2.8046	1056.5
480	618.58	1041.6	4.3762	2.4895	2.8395	1038.6
490	613.17	1070.2	4.4351	2.5253	2.874	1021.3
500	607.78	1099.1	4.4935	2.5605	2.9079	1004.6
510	602.42	1128.3	4.5515	2.5953	2.9412	988.39
520	597.09	1157.9	4.6089	2.6296	2.974	972.76
530	591.79	1187.8	4.6658	2.6634	3.0062	957.68
540	586.53	1218	4.7223	2.6967	3.0378	943.13
550	581.3	1248.6	4.7784	2.7295	3.0689	929.1
560	576.11	1279.4	4.8339	2.7617	3.0993	915.57
570	570.95	1310.5	4.889	2.7935	3.1292	902.53
580	565.83	1342	4.9437	2.8248	3.1585	889.98
590	560.75	1373.7	4.998	2.8556	3.1872	877.9
600	555.72	1405.7	5.0518	2.8859	3.2154	866.28
610	550.72	1438	5.1051	2.9157	3.243	855.11
620	545.77	1470.6	5.1581	2.9451	3.27	844.37
630	540.86	1503.4	5.2106	2.974	3.2965	834.06
640	536	1536.5	5.2627	3.0024	3.3225	824.17
650	531.18	1569.9	5.3145	3.0304	3.348	814.67
660	526.42	1603.5	5.3658	3.0579	3.373	805.57
670	521.7	1637.3	5.4167	3.085	3.3974	796.85
680	517.03	1671.4	5.4672	3.1117	3.4214	788.49
690	512.42	1705.7	5.5173	3.1379	3.4449	780.49
700	507.86	1740.3	5.567	3.1637	3.468	772.83
p=80.0 МПа						
230	773.12	463.15	2.6277	1.6491	2.0411	1795.9
240	766.92	483.61	2.7148	1.6664	2.0525	1757.6
250	760.83	504.21	2.7989	1.6869	2.0677	1720.8
260	754.84	524.98	2.8803	1.7103	2.0864	1685.3
270	748.93	545.95	2.9595	1.7362	2.1081	1651
280	743.1	567.15	3.0366	1.7645	2.1326	1618
290	737.35	588.61	3.1119	1.7948	2.1595	1586.2
300	731.66	610.34	3.1856	1.8269	2.1885	1555.4
310	726.04	632.38	3.2578	1.8606	2.2193	1525.8
320	720.48	654.73	3.3288	1.8955	2.2516	1497.1

1	2	3	4	5	6	7
330	714.98	677.42	3.3986	1.9316	2.2852	1469.4
340	709.52	700.44	3.4673	1.9684	2.3199	1442.7
350	704.12	723.82	3.5351	2.006	2.3553	1416.8
360.00	698.76	747.55	3.60	2.04	2.39	1391.80
370.00	693.45	771.65	3.67	2.08	2.43	1367.70
380.00	688.18	796.11	3.73	2.12	2.46	1344.30
390.00	682.95	820.95	3.80	2.16	2.50	1321.70
400.00	677.76	846.15	3.86	2.20	2.54	1299.90
410.00	672.61	871.72	3.92	2.24	2.58	1278.70
420.00	667.50	897.67	3.99	2.28	2.61	1258.30
430.00	662.42	923.98	4.05	2.31	2.65	1238.50
440.00	657.38	950.65	4.11	2.35	2.69	1219.40
450.00	652.37	977.69	4.17	2.39	2.72	1200.90
460.00	647.40	1005.10	4.23	2.43	2.76	1183.00
470.00	642.47	1032.80	4.29	2.46	2.79	1165.60
480.00	637.57	1060.90	4.35	2.50	2.83	1148.90
490.00	632.71	1089.40	4.41	2.53	2.86	1132.70
500.00	627.88	1118.10	4.47	2.57	2.89	1117.00
510.00	623.08	1147.30	4.52	2.60	2.93	1101.80
520.00	618.32	1176.70	4.58	2.64	2.96	1087.20
530.00	613.60	1206.50	4.64	2.67	2.99	1073.00
540.00	608.91	1236.50	4.69	2.71	3.02	1059.40
550.00	604.26	1266.90	4.75	2.74	3.05	1046.10
560.00	599.65	1297.60	4.81	2.77	3.09	1033.40
570.00	595.08	1328.60	4.86	2.80	3.12	1021.10
580.00	590.54	1359.90	4.92	2.83	3.14	1009.20
590.00	586.05	1391.50	4.97	2.86	3.17	997.68
600.00	581.59	1423.40	5.02	2.89	3.20	986.61
610.00	577.17	1455.60	5.08	2.92	3.23	975.93
620.00	572.79	1488.00	5.13	2.95	3.26	965.64
630.00	568.46	1520.70	5.18	2.98	3.28	955.71
640.00	564.16	1553.70	5.23	3.01	3.31	946.15
650.00	559.91	1586.90	5.28	3.04	3.34	936.93
660.00	555.70	1620.40	5.34	3.07	3.36	928.06
670.00	551.53	1654.10	5.39	3.09	3.39	919.52
680.00	547.40	1688.10	5.44	3.12	3.41	911.30
690.00	543.32	1722.30	5.49	3.15	3.43	903.38
700.00	539.29	1756.70	5.54	3.17	3.46	895.77
p=100.0 МПа						
240.00	774.56	504.71	2.69	1.68	2.05	1827.50
250.00	768.75	525.32	2.78	1.70	2.07	1791.90
260.00	763.04	546.09	2.86	1.72	2.09	1757.70
270.00	757.42	567.06	2.94	1.75	2.11	1724.70

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
280.00	751.89	588.25	3.02	1.78	2.13	1692.90
290.00	746.44	609.70	3.09	1.81	2.16	1662.20
300.00	741.06	631.42	3.17	1.84	2.19	1632.70
310.00	735.75	653.44	3.24	1.87	2.22	1604.20
320.00	730.51	675.77	3.31	1.91	2.25	1576.70
330.00	725.32	698.43	3.38	1.94	2.28	1550.10
340.00	720.20	721.42	3.45	1.98	2.32	1524.50
350.00	715.12	744.76	3.51	2.02	2.35	1499.80
360.00	710.10	768.46	3.58	2.05	2.39	1475.90
370.00	705.14	792.51	3.65	2.09	2.42	1452.80
380.00	700.21	816.93	3.71	2.13	2.46	1430.50
390.00	695.34	841.71	3.78	2.17	2.50	1408.90
400.00	690.51	866.86	3.84	2.21	2.53	1388.10
410.00	685.72	892.38	3.90	2.25	2.57	1368.00
420.00	680.97	918.27	3.97	2.28	2.61	1348.50
430	676.27	944.52	4.0274	2.3224	2.6431	1329.6
440	671.6	971.13	4.0885	2.3602	2.6791	1311.4
450	666.97	998.1	4.1492	2.3975	2.7149	1293.8
460	662.39	1025.4	4.2092	2.4345	2.7502	1276.7
470	657.84	1053.1	4.2687	2.4711	2.7851	1260.2
480	653.33	1081.1	4.3277	2.5072	2.8196	1244.2
490	648.85	1109.5	4.3862	2.5428	2.8536	1228.8
500	644.41	1138.2	4.4442	2.578	2.8872	1213.8
510	640.01	1167.2	4.5017	2.6126	2.9202	1199.4
520	635.65	1196.6	4.5587	2.6468	2.9527	1185.4
530	631.33	1226.3	4.6153	2.6805	2.9847	1171.9
540	627.04	1256.3	4.6714	2.7136	3.0162	1158.8
550	622.79	1286.6	4.727	2.7463	3.0471	1146.1
560	618.57	1317.2	4.7822	2.7784	3.0776	1133.8
570	614.39	1348.2	4.8369	2.8101	3.1075	1122
580	610.25	1379.4	4.8912	2.8413	3.1369	1110.6
590	606.15	1410.9	4.9451	2.8719	3.1657	1099.5
600	602.08	1442.7	4.9985	2.9021	3.1941	1088.8
610	598.05	1474.8	5.0515	2.9319	3.222	1078.4
620	594.06	1507.1	5.1042	2.9611	3.2494	1068.4
630	590.11	1539.8	5.1564	2.9899	3.2763	1058.8
640	586.2	1572.7	5.2082	3.0182	3.3027	1049.5
650	582.32	1605.8	5.2596	3.0461	3.3286	1040.4
660	578.48	1639.2	5.3106	3.0736	3.3541	1031.7
670	574.68	1672.9	5.3612	3.1006	3.3792	1023.3
680	570.92	1706.8	5.4115	3.1271	3.4038	1015.2
690	567.2	1741	5.4613	3.1533	3.4279	1007.4
700	563.51	1775.4	5.5108	3.179	3.4516	999.84

Таблица 5. Термодинамические свойства н-гептана на линии равновесия «жидкость – газ»

T	P_s	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	C_p'	C_p''	w'	w''	R
К	МПа	кг/м^3	кг/м^3	кДж/кг	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	м/с	кДж/кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
190	$5.415*10^{-7}$	767.86	3.43E-05	298.41	735.84	2.337	4.6393	2.0383	1.2401	1645.3	129.99	437.43
195	$1.099*10^{-6}$	763.66	6.79E-05	308.59	742.08	2.3899	4.613	2.0358	1.2571	1618	131.62	433.49
200	$2.142*10^{-6}$	759.48	0.000129	318.77	748.41	2.4415	4.5897	2.0347	1.274	1591.1	133.23	429.64
205	$4.016*10^{-6}$	755.32	0.000236	328.94	754.82	2.4917	4.5692	2.0351	1.2909	1564.6	134.83	425.88
210	$7.271*10^{-6}$	751.19	0.000417	339.12	761.31	2.5408	4.5512	2.0368	1.308	1538.6	136.4	422.19
215	$1.274*10^{-5}$	747.07	0.000714	349.31	767.89	2.5887	4.5356	2.0397	1.3252	1512.9	137.95	418.58
220	$2.167*10^{-5}$	742.96	0.001187	359.52	774.56	2.6357	4.5222	2.0439	1.3427	1487.6	139.48	415.04
225	$3.585*10^{-5}$	738.87	0.00192	369.75	781.31	2.6817	4.5108	2.0492	1.3603	1462.7	140.99	411.55
230	$5.777*10^{-5}$	734.79	0.003028	380.01	788.14	2.7268	4.5012	2.0556	1.3783	1438.1	142.48	408.13
235	$9.09*10^{-5}$	730.72	0.004663	390.31	795.06	2.771	4.4934	2.0632	1.3966	1413.8	143.95	404.76
240	0.0001399	726.66	0.007026	400.65	802.08	2.8146	4.4872	2.0717	1.4152	1389.8	145.4	401.43
245	0.0002107	722.59	0.010372	411.03	809.18	2.8574	4.4825	2.0812	1.4341	1366.1	146.82	398.15
250	0.0003114	718.53	0.015023	421.46	816.36	2.8995	4.4791	2.0917	1.4535	1342.7	148.23	394.9
255	0.0004518	714.47	0.021374	431.95	823.64	2.9411	4.4771	2.1031	1.4732	1319.5	149.61	391.69
260	0.0006443	710.4	0.029909	442.49	831.01	2.982	4.4763	2.1154	1.4933	1296.6	150.97	388.52
265	0.0009043	706.33	0.041203	453.1	838.47	3.0224	4.4766	2.1285	1.5138	1274	152.3	385.36
270	0.0012503	702.25	0.05594	463.78	846.01	3.0624	4.478	2.1424	1.5347	1251.5	153.61	382.23
275	0.0017043	698.17	0.074914	474.53	853.65	3.1018	4.4804	2.1571	1.5561	1229.3	154.88	379.12
280	0.0022926	694.07	0.099043	485.35	861.38	3.1408	4.4837	2.1724	1.5778	1207.3	156.13	376.03
285	0.0030455	689.96	0.12937	496.26	869.2	3.1794	4.488	2.1885	1.5999	1185.4	157.35	372.94
290	0.0039983	685.84	0.16708	507.24	877.1	3.2176	4.493	2.2052	1.6224	1163.8	158.53	369.86
295	0.0051913	681.69	0.2135	518.31	885.1	3.2554	4.4988	2.2225	1.6453	1142.4	159.68	366.78
300	0.0066698	677.53	0.27009	529.47	893.18	3.2929	4.5053	2.2404	1.6686	1121.1	160.79	363.71
305	0.008485	673.35	0.33847	540.72	901.35	3.3301	4.5125	2.2589	1.6922	1099.9	161.86	360.63
310	0.010694	669.14	0.4204	552.06	909.6	3.367	4.5203	2.2779	1.7162	1079	162.88	357.54
315	0.013359	664.91	0.51782	563.5	917.94	3.4036	4.5288	2.2974	1.7406	1058.1	163.86	354.43

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
320	0.016549	660.65	0.63279	575.04	926.36	3.4399	4.5378	2.3174	1.7653	1037.4	164.79	351.32
325	0.020338	656.36	0.76756	586.68	934.86	3.476	4.5473	2.3379	1.7903	1016.9	165.67	348.18
330	0.024809	652.04	0.92452	598.43	943.44	3.5118	4.5573	2.3588	1.8156	996.42	166.5	345.01
335	0.030048	647.68	1.1062	610.28	952.11	3.5475	4.5678	2.3801	1.8413	976.08	167.27	341.82
340	0.036148	643.29	1.3154	622.24	960.84	3.5829	4.5788	2.4018	1.8673	955.83	167.98	338.6
345	0.043209	638.86	1.555	634.31	969.65	3.6181	4.5901	2.4239	1.8935	935.68	168.63	335.34
350	0.051336	634.38	1.828	646.49	978.54	3.6531	4.6018	2.4464	1.9201	915.61	169.21	332.05
355	0.060639	629.85	2.1376	658.79	987.49	3.6879	4.6139	2.4692	1.947	895.61	169.72	328.7
360	0.071236	625.28	2.4874	671.2	996.52	3.7226	4.6263	2.4925	1.9741	875.67	170.16	325.32
365	0.083248	620.65	2.8809	683.73	1005.6	3.7571	4.639	2.5161	2.0016	855.79	170.53	321.87
370	0.096803	615.97	3.322	696.38	1014.8	3.7915	4.652	2.54	2.0294	835.96	170.82	318.37
375	0.11203	611.23	3.8147	709.15	1024	3.8257	4.6652	2.5644	2.0574	816.16	171.02	314.81
380	0.12908	606.42	4.3634	722.05	1033.2	3.8598	4.6787	2.5891	2.0858	796.39	171.14	311.19
385	0.14807	601.55	4.9725	735.07	1042.6	3.8938	4.6924	2.6142	2.1146	776.64	171.17	307.49
390	0.16917	596.6	5.6471	748.21	1051.9	3.9276	4.7063	2.6397	2.1437	756.9	171.1	303.72
395	0.19252	591.58	6.3921	761.49	1061.3	3.9613	4.7205	2.6657	2.1732	737.15	170.94	299.86
400	0.21828	586.47	7.2133	774.9	1070.8	3.9949	4.7347	2.6921	2.2031	717.4	170.67	295.92
405	0.2466	581.27	8.1165	788.44	1080.3	4.0285	4.7491	2.719	2.2336	697.62	170.3	291.88
410	0.27766	575.97	9.1083	802.11	1089.9	4.0619	4.7637	2.7465	2.2645	677.81	169.81	287.74
415	0.31161	570.57	10.195	815.93	1099.4	4.0952	4.7783	2.7746	2.296	657.96	169.21	283.49
420	0.34863	565.06	11.386	829.89	1109	4.1285	4.7931	2.8033	2.3282	638.05	168.48	279.13
425	0.38889	559.43	12.687	843.98	1118.6	4.1617	4.8079	2.8328	2.3612	618.06	167.62	274.65
430	0.43258	553.67	14.11	858.23	1128.3	4.1948	4.8228	2.8632	2.395	598	166.62	270.03
435	0.47988	547.77	15.663	872.63	1137.9	4.2279	4.8377	2.8945	2.4298	577.84	165.47	265.26
440	0.53097	541.71	17.358	887.18	1147.5	4.261	4.8527	2.927	2.4659	557.57	164.17	260.34
445	0.58604	535.49	19.208	901.89	1157.1	4.294	4.8676	2.9607	2.5033	537.17	162.7	255.25
450	0.64531	529.08	21.228	916.77	1166.8	4.327	4.8825	2.9959	2.5424	516.63	161.06	249.98
455	0.70896	522.47	23.433	931.82	1176.3	4.36	4.8974	3.0329	2.5834	495.93	159.22	244.51

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
460	0.77722	515.63	25.845	947.05	1185.9	4.393	4.9122	3.0721	2.6268	475.04	157.19	238.82
465	0.8503	508.55	28.484	962.46	1195.3	4.426	4.9268	3.1137	2.6732	453.94	154.93	232.88
470	0.92842	501.18	31.379	978.07	1204.7	4.4591	4.9414	3.1585	2.7231	432.61	152.43	226.68
475	1.0118	493.5	34.561	993.88	1214.1	4.4922	4.9557	3.2072	2.7774	411.01	149.68	220.18
480	1.1008	485.46	38.07	1009.9	1223.3	4.5254	4.9698	3.2607	2.8375	389.13	146.64	213.34
485	1.1955	477	41.954	1026.2	1232.3	4.5587	4.9837	3.3203	2.9049	366.91	143.3	206.12
490	1.2964	468.06	46.275	1042.7	1241.2	4.5922	4.9972	3.3881	2.9821	344.31	139.61	198.45
495	1.4036	458.54	51.113	1059.6	1249.8	4.6259	5.0103	3.4667	3.0724	321.29	135.54	190.27
500	1.5176	448.35	56.574	1076.7	1258.2	4.6599	5.0228	3.5604	3.1813	297.78	131.04	181.47
505	1.6387	437.31	62.805	1094.3	1266.2	4.6942	5.0347	3.6758	3.317	273.7	126.06	171.93
510	1.7675	425.22	70.012	1112.3	1273.7	4.7291	5.0457	3.8243	3.4941	248.97	120.54	161.46
515	1.9043	411.74	78.511	1130.8	1280.6	4.7647	5.0555	4.0263	3.7387	223.46	114.4	149.79
520	2.0499	396.36	88.805	1150.1	1286.6	4.8012	5.0637	4.3241	4.1043	197.02	107.58	136.5
525	2.205	378.2	101.79	1170.4	1291.2	4.8393	5.0695	4.8186	4.7177	169.49	99.998	120.86
530	2.3709	355.47	119.27	1192.3	1293.8	4.8801	5.0714	5.8215	5.9613	140.66	91.659	101.41
535	2.5491	323.47	146.01	1217.6	1292	4.9265	5.0657	8.9381	9.7085	110.44	82.782	74.425
540	2.7422	247.23	216.92	1259.6	1272	5.0034	5.0262	282.72	293.22	78.312	75.557	12.314

Таблица Б2

Поля неопределенности расчета плотности

p, МПа	Температура, К														
	190	230	280	330	380	420	470	500	520	530	540	550	570	600	700
0,5	0,30	0,25	0,15	0,10	0,10	0,10	0,35	0,35	0,30	0,25	0,25	0,25	0,25	0,20	0,20
2,0	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,10	0,15	0,15	1,0	0,8	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
2,5	0,30	0,25	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,8	0,4	0,4	0,3	0,2
3,0	0,30	0,25	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,25	0,40	0,60	0,6	0,7	0,60	0,30
3,5	0,30	0,25	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,2	0,5	0,7	0,8	1,0	1,0	0,5
4,0	0,30	0,25	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,2	0,4	0,7	1,0	2,0	0,8	0,6
5,0	0,30	0,25	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,40	0,60	0,6	1,0	1,5	0,6
10,0	0,30	0,25	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,25	0,30	0,30	0,30	0,50	0,9	0,5
50,0	0,30	0,30	0,25	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,20	0,20	0,25	0,25	0,30	0,4
100,0	-	0,35	0,30	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30

Таблица Б3

Поля неопределенности расчета изобарной теплоемкости

p, МПа	Температура, К														
	190	230	280	330	380	420	470	500	520	530	540	550	570	600	700
0,5	1,5	1,0	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
2,0	1,5	1,0	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,7	2,0	1,5	1,2	1,0	0,8	0,5	0,3
2,5	1,7	1,2	0,6	0,6	0,6	0,5	1,0	0,6	1,5	1,5	1,5	1,2	1,0	0,6	0,4
3,0	2,0	1,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	1,0	2,0	2,0	1,5	0,9	0,8	0,6
3,5	2,0	1,5	0,6	0,6	0,6	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	0,9	0,6
4,0	2,0	1,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,8	1,3	1,4	1,7	2,0	1,5	1,2	0,6
5,0	2,0	1,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,7	1,2	1,7	2,2	2,7	2,2	1,5	0,6
10,0	2,0	1,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,0
50,0	2,0	1,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6	0,4	0,4
100,0		1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4

Таблица Б4

Поля неопределенности расчета скорости распространения звука

p, МПа	Температура, К														
	190	230	280	330	380	420	470	500	520	530	540	550	570	600	700
0,5	1,2	1,0	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
2,0	1,2	0,9	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	1,2	1,2	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
2,5	1,2	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	1,0	1,5	3,0	1,5	1,2	1,0	1,0	1,0
3,0	1,2	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	1,2	1,8	2,2	2,0	1,8	1,5	1,0
3,5	1,2	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	1,0	1,2	1,5	1,8	1,5	1,4	1,0
4,0	1,2	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	1,0	1,5	1,7	1,5	1,3	1,3	1,0
5,0	1,4	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	1,2	2,2	1,7	1,2
10,0	1,4	1,2	0,9	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	1,0	1,5	1,2
50,0	1,5	1,5	1,2	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2
100,0	-	1,5	1,2	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	1,2

Таблица Б5

Поля неопределенности расчета термодинамических свойств на линии равновесия «жидкость – газ»

T, K	δp_v, %	$\delta\rho_l$, %	$\delta\rho_v$, %	$\delta C_p'$, %	$\delta C_p''$. %	$\delta h'$, %	$\delta s'$, %	$\delta\Delta h_v$, %
190	1,5	0,2	1,5	1,5	0,2	0,3	0,3	0,5
220	1,0	0,15	1,0	1,0	0,2	0,3	0,3	0,5
250	0,5	0,1	0,5	0,6	0,2	0,3	0,3	0,5
280	0,3	0,1	0,3	0,6	0,2	0,3	0,3	0,5
310	0,2	0,1	0,3	0,6	0,2	0,3	0,3	0,6
340	0,15	0,1	0,3	0,6	0,4	0,3	0,3	0,7
370	0,15	0,1	0,4	0,6	0,6	0,3	0,3	0,8
400	0,15	0,1	0,4	0,8	0,8	0,31	0,31	0,9
430	0,15	0,15	0,5	1,0	1,0	0,31	0,31	1,0
460	0,15	0,2	0,8	1,2	1,2	0,32	0,32	1,2
490	0,1	0,2	1,2	1,5	1,5	0,32	0,32	1,3
510	0,1	0,3	2,0	2,0	2,0	0,32	0,32	1,5
520	0,1	0,8	3,0	2,5	3,0	0,33	0,33	3,0
530	0,15	2,0	4,0	3,0	4,0	0,33	0,33	5,0
535	0,30	3,2	5,0	5,0	7,0	0,33	0,33	8,0
540	0,50	5,5	7,0	-	-	0,34	0,34	-

ЛИТЕРАТУРА

1. Sun L. Universal equation of state for engineering application: algorithm and application / L. Sun, J.E. Ely // Fluid Phase Equilibria. – 2004. – V.222-223. – P. 107 – 118.
2. Александров И.С. Современный подход к разработке фундаментальных уравнений состояния технически важных рабочих веществ / И.С. Александров, Б.А. Григорьев, А.А. Герасимов // в сб. научн. статей: Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов в 2-х ч. Ч.1. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2011. – С. 124-137.
3. Marsh K.N. TRC Thermodynamic Properties of Substances in the Ideal Gas State / K.N. Marsh, R.C. Wilhoit, M. Frenkel, D. Yin // Thermodynamics Research Center. – 1994.
4. Messerly J.F. Low-Temperature Thermal Data for *n*-Pentane, *n*-Heptadecane, and *n*-Octadecane. Revised Thermodynamic Functions for the *n*-Alkanes, C_5 – C_{18} / J.F. Messerly, G.B. Guthrie, S.S. Tood, H.L. Finke // J. Chem. Eng. Data. – 1967. – V.12, No.3. – P.338 – 346.
5. Назиев Я.М., Фарзалиев Б.И., Алиев Н.Ф. Экспериментальное определение кривой плавления некоторых парафиновых углеводородов // Республиканская научно-техническая конференция по теплофизическим свойствам веществ: Тезисы докладов.- Баку, 1992.- С.40.
6. Bridgman, P.W. The Volume of Eighteen Liquids as a Function of Pressure and Temperature / P.W. Bridgman // Proc. Am. Acad. Arts Sci. – 1931. - Vol. 66. - P. 185-233.
7. Smith, L.B. The Compressibilities of Liquid and Gaseous Normal Heptane and an Equation of State for Gaseous Normal Heptane / L.B. Smith, J.A. Beattie, W.C. Kay // J. Am. Chem. Soc. – 1937. – Vol. 59. - P. 1587.
8. Eduljee, H.E. Pressure-Volume-Temperature Relations in Liquids and Liquid Mixtures. Part I. The Compression of n-Hexane, n-Heptane, n-Octane and of their Binary and Ternary Mixtures, up to 5000 Atmospheres / H.E. Eduljee, D.M. Newitt, K.E. Weale // J. Chem. Soc. – 1951. - P. 3086-3091.
9. Nichols, W.B. Phase Equilibria in Hydrocarbon Systems, Volumetric Behavior of n-Heptane / W.B. Nichols, H.H. Reamer, B.H. Sage // Ind. Eng. Chem. – 1955. – Vol. 47, № 10. - P. 2219.
10. Boelhouwer, J.W.M. PVT Relations of Five Liquid n-Alkanes / J.W.M. Boelhouwer // Physica. – Vol. 26, № 11. – P. 1021 – 1028.
11. Doolittle, A.K. Specific volumes of n-alkanes / A.K. Doolittle // J. Chem. Eng. Data. – 1964. – Vol. 9, № 2. – P. 275 – 279.
12. Kuss, E. PVT measurements on twenty organic liquids / E. Kuss, M. Taslimi //Chemie. Ing. Techn. – 1970. – Vol. 42, № 17. – P. 1073 – 1081.

13. Sagdeev, D.I. Experimental setup for density measurements for liquids at high parameters / D.I. Sagdeev, G.Kh. Mukhamedzyanov // TeploMassoobmen Khim.Tekhnol. – 1977. – Vol. 5. – P. 21-24.
14. Scaife, W.G.S. Dielectric permittivity and pvT data of some n-alkanes / W.G.S. Scaife, C.G.R. Lyons // Proc. R. Soc. London. – 1980. - Ser. A. – Vol. 370. – P. 193-211.
15. Golik, A.Z. Complex apparatus for studying the density and ultrasonic velocity of liquids in a wide interval of temperature and pressure (in Russian) / A.Z. Golik, I.I. Adamenko, M.G. Makhno // Fiz. Zhidk. Sostoyaniya. – 1982. – Vol. 10. – P. 3-7.
16. Zawisza, A. // High-Pressure Liquid-Vapour Equilibria, Critical State and p(V,T,x) up to 573.15 K and 5.066 MPa for (Heptane + Propan-1-ol) / A. Zawisza, J. Vejrosta // J. Chem. Thermodyn. – 1982. – Vol. 14. - P. 239-249.
17. Muringer, M.J.P. The Effect of Pressure on the Sound Velocity and Density of Toluene and n-Heptane up to 2600 bar / M.J.P. Muringer, N.J. Trappeniers, S.N. Biswas // Phys. Chem. Liq. – Vol. 14, № 4. - P. 273-296.
18. Dymond, J.H. (p, rho, T) of n-heptane, toluene, and oct-1-ene in the range 298 to 373 K and 0.1 to 400 MPa and representation by the Tait equation / J.H. Dymond [et al.] // J. Chem. Thermodyn. – 1988. – Vol. 20, №5. – P. 603-614.
19. Toscani, S. A magnetic-suspension apparatus to measure densities of liquids as a function of temperature at pressures up to 100 MPa. Application to n-heptane / S. Toscani, P. Figuiere, H. Szwarc // J. Chem. Thermodyn. – 1989. – Vol. 21, № 12. – P. 1263-1277.
20. Курумов Д.С. Термические свойства н-алканов и фракций Мангышлакской нефти в жидком и газообразном состояниях: Дис. ... докт. техн. наук: 05.14.05 – Теоретические основы теплотехники: Д.С. Курумов, ГНИ: Грозный, 1991. – 440 с.
21. Papaioannou, D. Volumetric Properties of Binary Mixtures. 1. 2-Propanone + 2,2,4-Trimethylpentane and n-Heptane + Ethanol Mixtures / D. Papaioannou, D. Ziakas, C. Panayiotou // J. Chem. Eng. Data. – 1991. – Vol. 36. - P. 35-39.
22. Malhotra, R.Thermodynamic properties and excess volumes of 2, 2,4-trimethylpentane + n-heptane mixtures from 298 to 338 K for pressures up to 400 MPa / R. Malhotra, L.A. Woolf // Int. J. Thermophys. – 1991. – Vol. 12, № 1. – P. 163-70.
23. Susnar, S.S. Pressure Dependence of the Density of n-Alkanes / S.S. Susnar [et al.] // Int. J. Thermophys. – 1992. – Vol. 13, № 3. - P. 443-452.
24. Abdulagatov, I.M. PVTx measurements and partial molar volumes for water-hydrocarbon mixtures in the near-critical and supercritical conditions / I.M. Abdulagatov, A.R. Bazaev, E.A. Bazaev et. al. // Fluid Phase Equilibria. – 1998. – Vol. 150-151. – P. 537-547.

25. Smith, E.R. Boiling Points of Benzene, Ethylene Chloride, n-Heptane, and 2,2,4-Trimethylpentane over the Range of 660 to 860 mm Pressure / E.R. Smith, H. Matheson // J. Res. Natl. Bur. Stand. – 1938. - Vol. 20, № RP1097. – P. 641 – 650.
26. Smith, E.R. Boiling Points of n-Heptane and 2,2,4-Trimethyl-Pentane over the Range 100 to 1500 Millimeter Pressure / E.R. Smith // J. Res. Natl. Bur. Stand. – 1940. – Vol. 24 – P. 229 – 234.
27. Willingham, C.B. Vapor pressures and boiling points of some paraffin, alkylcyclopentane, alkylcyclohexane, and alkylbenzene hydrocarbons / C.B. Willingham, W.J. Taylor, J.M. Pignocco, et. al. // J. Res. Natl. Bur. Stand. – 1945. – V.35. – P. 219 – 244.
28. Forziati, A.F. Vapor pressures and boiling points of sixty API-NBS hydrocarbons / A.F. Forziati, W.R. Norris, F.D. Rossini // J. Res. Natl. Bur. Stand. – 1949. – Vol. 43. – P. 555 – 563.
29. Brown, I. Liquid-Vapour Equilibria. III. The Systems Benzene-n-Heptane, n-Hexane-Chlorobenzene, and Cyclohexane-Nitrobenzene / I. Brown // Aust. J. Sci. Res. – 1952. – Vol. A5. – P. 530 – 540.
30. Sipowska, J.T. Vapour Pressures and Excess Gibbs Free Energies of (Propan-1-ol + n-Heptane) between 278.164 and 303.147 K / J.T. Sipowska, S.A. Wieczorek // J. Chem. Thermodyn. – 1980. – Vol. 12. – P. 459 – 464.
31. Sipowska, J.T. Vapour Pressures and Excess Gibbs Free Energies of (Cyclohexanol + n-Heptane) between 303.147 and 373.278 K / J.T. Sipowska, S.A. Wieczorek // J. Chem. Thermodyn. – 1984. – Vol. 16. – P. 693 – 699.
32. Weber, L.A. Vapor Pressure of Heptane from the Triple Point to the Critical Point / L.A. Weber // J. Chem. Eng. Data. – 2000. – Vol. 45. – P. 173 – 176.
33. Ewing M.B. Vapor Pressures of n-Heptane Determined by Comparative Ebulliometry / M.B. Ewing, J.C.S. Ochoa // J. Chem. Eng. Data. – 2005. – Vol. 50, № 5. – P. 1543 – 1547.
34. Александров И.С. Энтальпия испарения и давление насыщенных паров н-алканов $C_5 – C_{18}$ вблизи тройной точки / И.С. Александров, А.А. Герасимов, Е.Б. Григорьев // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2010. - №4. – С. 56-61.
35. Dornte, R.W. The dielectric polarization of liquids. X. The polarization and refraction of the normal paraffins / R.W. Dornte, C.P. Smyth // J. Am. Chem. Soc. – 1930. – Vol. 52. – P. 3546 – 3552.
36. Rozhnov, M.S. Phase and volume parameters in the butadiene hydrocarbon systems / M.S. Rozhnov // Khim. Prom-st. – 1967. - Vol. 43, № 4. – P. 48 – 50.

37. Christopher, P.M. The densities of methylcyclohexane-n-heptane mixtures / P.M. Christopher, W.L.S. Laukhuf, C.A. Plank // J. Chem. Eng. Data. – 1976. – Vol. 21, № 4. – P. 443-445.
38. Stephan, K. Recommended Data of Selected Compounds and Binary Mixtures (Chemistry Data Series) / K. Stephan, H. Hildwein // Dechema. - 1987. – Vol. 4. - Parts 1 and 2.
39. Yu, C.-H. Excess volumes of binary mixtures of tetralin with n-alkanes from 293.15 to 313.15 K / C.-H. Yu, F.-N. Tsai // J. Chem. Eng. Data. – 1995. – Vol. 40. – P. 601 – 604.
40. Aminabhavi, T.M. Density, viscosity, and refractive index of the binary mixtures of cyclohexane with hexane, heptane, octane, nonane, and decane at (298.15, 303.15, and 308.15) K / T.M. Aminabhavi, V.B. Patil, M.I. Aralaguppi, H.T.S. Phayde // J. Chem. Eng. Data. – 1996. V.41. – P.521 – 525.
41. Aminabhavi, T.M. Density, viscosity, refractive index, and speed of sound in binary mixtures of 2-ethoxyethanol with n-alkanes (C6 to C12), 2,2,4-trimethylpentane, and cyclohexane in the temperature interval 298.15-313.15 K / T.M. Aminabhavi, B. Gopalakrishna // J. Chem. Eng. Data. – 1995. – Vol. 40. – P. 632 – 641.
42. Mirskaya, V.A. The isochoric heat capacity and coexistence curve of binary mixtures of hydrocarbons / V.A. Mirskaya, I.K. Kamilov // Fluid Phase Equilib. – 1996. – Vol. 125. – P. 169 – 175.
43. Kahl, H. Surface tension of pure liquids and binary liquid mixtures / H. Kahl, T. Wadewitz, J. Winkelmann J. // J. Chem. Eng. Data. – 2003. – Vol. 48, № 3. – P. 580 – 586.
44. McMicking, J.H. Vapor Pressures and Saturated Liquid and Vapor Densities of the Isomeric Heptanes and Isomeric Octanes / J.H. McMicking, W.B. Kay // Proc. Am. Pet. Inst., Sect. 3. – 1965. – Vol. 45. – P. 75 – 90.
45. Waddington G. An improved flow calorimeter experimental vapor heat capacities and heats of vaporization of n-heptane and 2,2,3-trimetylbutane / G. Waddington, S.S. Todd, H.M. Huffman // J. Am. Chem. Soc.- 1947.- Vol.69. – P. 22-30.
46. Majer, V. Temperature Dependence of Heats of Vaporization of Saturated Hydrocarbons C5-C8; Experimental Data and Estimation Method / V. Majer, B. Svoboda, K.S. Hala, et.al. // Coll. Czech. Chem. Commun. – 1979. – Vol. – 44. - P. 637-651.
47. Iwahashi, M. Dynamical structures of normal alkanes, alcohols, and fatty acids in the liquid state as determined by viscosity, self-diffusion coefficient, infrared spectra, and CNMR spin-lattice relaxation time measurements / M. Iwahashi, Y. Yamagughi, Y. Ogura // J Bull. Chim. Soc. Japan. – 1990.- Vol. 63, № 8. – P. 2154-2158.

48. Григорьев, Б.А. Энтальпия и энтропия нормальных алканов / Б.А. Григорьев, А.А. Герасимов // Теплофизика высоких температур. – 1997. – Т. 35, № 4. – С. 538 – 546.
49. Изохорная теплоемкость и другие калорические свойства углеводородов метанового ряда / Х.И. Амирханов [и др.]. – Махачкала : Даг. книж. изд-во, 1981. – 254 с.
50. San Jose, J.L. Measurement of the isobaric heat capacity of liquids and certain mixtures above the normal boiling point / J.L. San Jose, G. Mellinger, R.C. Reid // J. Chem. Eng. Data. – 1976. – Vol. 21, № 4. – P. 414-417.
51. Heat Capacities of Liquids at Temperatures Between 90 and 300 K and at Atmospheric Pressure. I. Method and Apparatus, and the Heat Capacities of n-Heptane, n-Hexane, and n-Propanol / B. Kalinowska [et al.] // J. Chem. Thermodyn. – 1980. – Vol. 12. - P. 891-896.
52. Evaluation of the Thermophysical Properties of Toluene and n-Heptane from 180 to 320 K and up to 260 MPa from Speed-of-Sound Data / T.F. Sun [et al.] // Ber. Bunsenges. Phys. Chem. – 1991. – Vol. 95, № 6. – P. 696.
53. Zabransky, M. Heat Capacity of Liquid n-Heptane Converted to the International Temperature Scale of 1990 / M. Zabransky, V.Jr. Ruzicka // J. Phys. Chem. Ref. Data. – 1994. – Vol. 23, № 1. - P. 55-61.
54. Герасимов А.А. Калорические свойства нормальных алканов и многокомпонентных углеводородных смесей в жидкой и газовой фазах , включая критическую область: Дис. ... докт. техн. наук.- Калининград, 2000. – 434 с.
55. Osborne, N. S. Measurements of heat capasity of a number of hydrocarbons / N. S. Osborne, D. C. Ginnings // J. Research NBS. — 1947. — Vol. 39, № 5. — P. 453 - 477.
56. Becker, L. Measurement of heat capacities for nine organic substances by Tian-Calvet calorimetry / L. Becker,O. Aufderhaar, J. Gmehling // J. Chem. Eng. Data.- 2000. - Vol. 45, № 4. – P. 661-664.
57. Paramo, R. New batch cells adapted to measure saturated heat capacities of liquids / R. Paramo, M. Zouine, C. Casanova // J. Chem. Eng. Data. – 2002. – Vol. 47. – P. 441-448.
58. Polikhronidi, N.G. Features of isochoric heat capacity measurements near the phase transition points / N.G. Polikhronidi, I.M. Abdulagatov, R.G. Batyrova // Fluid Phase Equilib. – 2002. – Vol. 201. – P. 269-286.
59. Kling, R. Application of ultransonics in the study of the elastic properties of hydrocarbons over a wide field of temperature and pressure. Application des ultransons a l'etude des proprietes elastiques d'hydrocarbures dans un domaine etendu de temperatre et de pression / R. Kling, E. Nicolini, J. Tissot // Rech. Aeronaut. – 1953. – Vol. 31. – P. 31-36.
60. Boelhouwer, J.W.M. Sound velocities in and adiabatic compressibilities of liquid alkanes at various temperatures and pressures / J.W.M. Boelhouwer // Physica. – 1967. – Vol. 34, № 3. – P. 484-492.

61. Neruchev, Yu.A. Velocity of sound in the homologous series of n-alkanes / Yu.A. Neruchev, V.V. Zotov, N.F. Otpushchennikov // Russ. J. Phys. Chem. – 1969. – Vol. 43, № 11. – P. 1597-1599.
62. Zotov, V.V. Study of the equilibrium properties of hydrocarbons on the saturation line by an acoustic method / V.V. Zotov, B.N. Kireev, Yu.A. Neruchev // J. Appl. Mech. Tech. Phys. – 1975. – Vol. 15, № 2. – P. 282-284.
63. Ginnings, D. C. Heat capacity standards for the range 14 to 1200 K / D. C. Ginnings, G. T. Furukawa // J. Am. Chem. Soc. — 1953. — Vol. 75, № 3. — P. 522 - 527.
64. Calorimetric properties of normal heptane from 0o to 520 oK / T.B. Douglas [et al.] // J. Research NBS. - 1954. - Vol. 53, № 3. - P. 139 - 153.
65. Mc Collough, J. P. The use of n-heptane as a reference substance for low-temperature calorimetric / J. P. Mc Collough, J.F. Messerly // U.S. Bur. Mines. — 1961. — Bull. 596. — P.1- 15.
66. Van Miltenburg, J. C. Construction of anadiabatic calorimeter. Measurements of the molar heat capacity of synthetic sapphire and n-pentane / J. C. Van Miltenburg, G. J. K.Van Den Berg , M. J.Van Bommel // J. Chem. Thermodyn. — 1987. — V. 19, № 11. — P. 1129 - 1137.
67. 19. Ratanapisit J. Application of New, Modified BWR Equations of State to the Corresponding-States Prediction of Natural Gas Properties / J. Ratanapisit, J.F. Ely // Int. Journal of Thermophysics. – 1999. – V.20, No. 6. – P.1721 – 1735.
68. 32. Герасимов А.А. Термические свойства н-алканов $C_5 - C_{13}$ в диапазоне температуры от тройной точки до критической / А.А. Герасимов, Б.А. Григорьев, И.С. Александров, Е.Б. Григорьев // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2011. - №1. – С.
69. Span R. Multiparameter Equation of State: An Accurate Source of Thermodynamic Property Data/ R.Span.- Berlin: Springer, 2000.- 367 p.