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

ГСССД 291 - 2013

Москва – 2013

gost.e-ecolog.ru

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-Пентан. Термодинамические свойства в диапазоне температуры от тройной точки до 700 К при давлениях до 100 МПа

ГСССД 291–2013

Tables of Standard Reference Data

n- Pentane. Thermodynamic properties in the range from the triple point temperature up to 700 K at pressures up to 100 MPa

GSSSD 291–2013

ДЕПОНИРОВАННАЯ РУКОПИСЬ

УДК 547.216:536.7

Таблицы стандартных справочных данных ГСССД 291 – 2013.

н-Пептан. 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, – 54 с.: - Ил. - Библиогр. назв. – Рус. – назв. Депонированы во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» 31.10.2013 г., № 883 – 2013 кк.

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

Авторы: Григорьев Б. А

Герасимов А. А.

И. С. Александров

Таблицы стандартных справочных данных о термодинамических свойствах н-пентана рассчитаны по фундаментальному уравнения состояния ФУС, описывающему свободную энергию Гельмгольца $\alpha(\rho, T)$ в зависимости от температуры T и плотности ρ. Свободная энергия Гельмгольца $a(\rho, T)$ представлена в виде суммы идеально-газовой части $\alpha^0(\delta,\tau)$ и избыточной части $\alpha^r(\delta,\tau)$.

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

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 α^r_{Pol}, экспоненциальными α^r_{Exp} и гауссовыми α^r_{GBS} членами для лучшего описания свойств в критической области.

$$\alpha^r(\tau,\delta) = \alpha^r_{Pol} + \alpha^r_{Exp} + \alpha^r_{GBS} = \sum n_i \tau^{t_i} \delta^{d_i} + \sum n_i \tau^{t_i} \delta^{d_i} \exp(-\gamma_i \delta^{P_i}) + \\ + \sum n_i \tau^{t_i} \delta^{d_i} \exp(-\eta_i (\delta - \varepsilon_i)^2 - \beta_i (\tau - \gamma_i)^2) \qquad (2)$$

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-пентана: $\rho_c = 3{,}2155$ кг/кмоль, $T_c = 469{,}60$ К.

Определение коэффициентов ФУС и оптимизация формы уравнения производились по алгоритму, реализующему метод случайного поиска с возвратом при неудачном шаге [1].

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^0 необходимы данные об изобарной теплоемкости в состоянии идеального газа C_p^0. Были приняты значения, полученные в Термодинамическом Исследовательском Центре [2] 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

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

Значения коэффициентов α_i представлены в табл. 1.

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

I	c_i	α_i
-3	-	-0,2515444
-2	$-0{,}3192613\cdot10^{6}$	3,570695
-1	$0{,}5725909\cdot10^{4}$	-29,89561
0	$-0{,}3124129\cdot10^{2}$	-38,70635
1	0,1273237	41,75795
2	$-0{,}9715112\cdot10^{-4}$	0,7238691
3	$0{,}2914819\cdot10^{-7}$	-32,24129
4	-	-12,19316

Коэффициенты ФУС в форме (2) определялись по отобранным авторами разнородным экспериментальным данным о термодинамических свойствах н-пентана: давление насыщенных паров p_v [3-7], плотность жидкой ρ_l [5, 8-10] и газовой фазы ρ_v [6] на линии насыщения, второй B и третий C вириальные коэффициенты [6], p,v,T-данные [5,6,11], c_p,p,T- и c_v,v,T-данные [12-14], скорость распространения звука w [10,14,15]. Оптимизированная форма уравнения (2) имеет вид (6). Коэффициенты уравнения и степени при температуре и плотности представлены в таблице 2. Более подробно процедура построения ФУС описана в Приложении.

$$\alpha^r(\tau,\delta) = \alpha^r_{Pol} + \alpha^r_{Exp} + \alpha^r_{GBS} = \sum_{i=1}^{6} n_i \tau^{t_i} \delta^{d_i} + \sum_{i=7}^{11} n_i \tau^{t_i} \delta^{d_i} \exp(-\gamma_i \delta^{p_i}) +$$

$$+ \sum_{i=12}^{17} n_i \tau^{t_i} \delta^{d_i} \exp(-\eta_i (\delta - \varepsilon_i)^2 - \beta_i (\tau - \gamma_i)^2) \qquad (6)$$

Таблица 2. Значения коэффициентов и показателей степени ФУС (6)

k	n_k	t_k	d_k	p_k
1	0.03843469943171	1.353	4	-
2	1.416685474406	0.219	1	-
3	-0.8321311024950	0.394	1	-
4	0.4498740983986	1.94	2	-
5	-1.473541352142	1.463	2	-
6	0.1449480544422	0.502	3	-
7	-1.001425083284	1.172	1	1
8	-1.463383940533	2.409	1	2
9	-1.063698400458	3.027	3	2
10	-0.4965197180555	4.092	2	2
11	-0.0008571960893994	2.519	8	1
12	0.7939001246115	2.627	1	-
13	0.2564831077932	2.624	1	-
14	-0.02116009691532	3.173	2	-
15	-0.3201840734624	2.541	3	-
16	0.007046991758369	4.101	3	-
17	0.01771175595068	0.798	2	-

Окончание табл. 2

k	η_k	β_k	γ_k	ε_k
12	-1.066	-1.178	1.214	0.784
13	-0.673	0.172	1.59	0.795
14	-1.325	0.04	0.941	1.932
15	-1.121	-0.464	0.547	0.685
16	-1.721	-0.198	0.1	2.059
17	-1.478	-0.115	1.815	1.271

Термодинамические свойства рассчитывались по ФУС (6) с использованием известных дифференциальных соотношений термодинамики:

плотность

$$\frac{p}{\rho RT} = 1 + \delta\alpha_\delta^r, \tag{7}$$

энтальпия

$$\frac{h}{RT} = 1 + \tau(\alpha_\tau^0 + \alpha_\tau^r) + \delta\alpha_\delta^r, \tag{8}$$

энтропия

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

изохорная теплоемкость

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

изобарная теплоемкость

$$\frac{c_p}{R} = -\tau^2(\alpha_{\tau\tau}^0 + \alpha_{\tau\tau}^r) + \frac{(1 + \delta\alpha_\delta^r - \delta\tau\alpha_{\delta\tau}^r)^2}{1 + 2\delta\alpha_\delta^r + \delta^2\alpha_{\delta\delta}^r}, \tag{11}$$

скорость звука

$$\frac{w^2}{RT} = 1 + 2\delta\alpha_\delta^r + \delta^2\alpha_{\delta\delta}^r - \frac{(1 + \delta\alpha_\delta^r - \delta\tau\alpha_{\delta\tau}^r)^2}{\tau^2(\alpha_{\tau\tau}^0 + \alpha_{\tau\tau}^r)}, \tag{12}$$

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

Конкретные аналитические зависимости различных производных термодинамического потенциала, входящие в уравнения (7) – (12) представлены, в Приложении, а также, например, в [16].

За термодинамическое начало отсчета при составлении таблиц термодинамических свойств н-пентана 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 [13] (h_0 = 541,75 кДж·кг$^{-1}$, s_0 = 3,6516 кДж·кг$^{-1}$·К$^{-1}$).

Таблицы термодинамических свойств н-пентана рассчитаны по ФУС (6) в диапазоне температуры от тройной точки (T_t = 143,47 К) до 700 К при давлениях до 100 МПа. Свойства в однофазной области представлены в табл. 4, свойства на линии насыщения – в табл. 5. Линия плавления описана эмпирическим уравнением Симона – Глатцеля

$$\frac{p}{p_*} = \left(\frac{T}{T_t}\right)^c - 1, \tag{13}$$

где $p_* = 660{,}7$ МПа; $c = 1{,}67$. Значения коэффициентов уравнения (13) приняты по данным работы [17] и они носят оценочный характер.

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

Таблица 3. Оценки неопределенности расчетных значений термодинамических свойств

Свойство	Неопределенность, % в области			
	Ж	*Г*	*Ф*	*К*
p_v	-	0,1 – 0,15	-	0,7
ρ_l	0,1 – 0,15		-	до 1,3
ρ_v	-	1,5 – 2,0	-	до 3,0
p,ρ,T	0,15 – 0,25	0,4 – 0,8	0,5 – 0,7	2,0 – 3,0
C_p	1,0 – 1,5	1,2 – 2,0	1,0 – 1,5	5,0 – 10,0
C_v	2,0 – 5,0	2,0 – 4,0	1,0 – 1,5	8,0 – 12,0
W	1,0 – 1,5	-	-	-

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

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, изохорная c_v и изобарная 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 (А1) использовались известные дифференциальные соотношения термодинамики (6) – (11). Кроме включения в обработку экспериментальных данных о различных термодинамических свойствах н-пентана, также применялась система ограничений, накладываемых в виде неравенств на термодинамическую поверхность. Основными видами ограничений являлись: критические условия, правило Максвелла, контроль кривизны идеальных кривых, положительность теплоемкостей, 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-пентана была применена модификация метода случайного поиска с возвратом при неудачном шаге. Алгоритм модифицирован введением элементов детерминированного поиска на шаге корректировки величины шага поиска и выбора направления.

В используемом алгоритме используется аддитивный критерий оптимальности – минимизируемый функционал (15), 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:

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

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

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

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 (А3) 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 $\alpha \in (-1, 1)$ – 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

Кроме определения коэффициентов и степеней уравнений состояния, посредством вышеописанного алгоритма определено оптимальное количество слагаемых уравнения, удалением тех из них, которые вносят минимальный вклад. Это осуществляется поочередным приравниванием каждого сла-

гаемого уравнения нулю и вычислением функционала. Эта циклическая процедура повторяется на каждой итерации. После анализа вкладов каждого из слагаемых в уравнение осуществляется удаление слагаемого, которому соответствует минимальное значение минимизируемого функционала. После чего повторяется процедура оптимизации, описанная выше. Удаление малозначимых и коррелирующих между собой слагаемых уравнения состояния не сказывается на точности уравнения и существенно улучшает его.



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

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Анализ результатов и оценка точности табличных значений ТДС

Термодинамические свойства н-пентана исследованы весьма подробно и в широком диапазоне парметров состояния. Однако вся предыдущая история разработки УС н-пентана свидетельствует о не слишком хорошей согласованности данных о термических свойствах, в частности p,ρ,T-данных. Такая ситуация, на наш взгляд, объясняется промежуточным положением н-пентана между газом и жидкостью (нормальная температура кипения н-пентана чуть выше комнатной). Поэтому, используя экспериментальные установки, разработанные для жидкостей, экспериментаторы неизбежно вносят дополнительные трудно исключаемые погрешности, связанные с высокой летучестью вещества. Достаточно подробный обзор экспериментальных данных и уравнений состояния, полученных до 1987 года, представлен в [18]. Анализируя, представленные в [18] результаты можно сделать вывод, что на тот момент были разработаны различные уравнения состояния, описывающие термодинамические свойства в той или иной области с различной погрешностью. Однако, несмотря на весьма большой объем экспериментальных данных, отсутствовало фундаментальное уравнение состояния (ФУС), которое описывало бы все термодинамические свойства с погрешностью, близкой к экспериментальной, в диапазоне температуры от тройной точки до начала термической диссоциации н-пентана (~ 700 К).

Среди наиболее поздних исследований, посвященных разработке ФУС, следует выделить работу Ратанаписит и Эли [19], в которой получено модифицированное 32-х константное уравнение состояния Бенедикта – Вебба – Рубина, работу Спана [16], в которой фундаментальное уравнение, описывающее безразмерную свободную энергию Гельмгольца, представлено оптимизированным 12-ти константным уравнением и работу Сона и Эли [20], в которой предлагается оптимизированное, единое для полярных и неполярных веществ 14-ти константное ФУС. Уравнение Ротанаписит и Эли [19] применимо в диапазоне температуры 173 – 573 К, а уравнения Спана [16] и Сона и Эли – в диапазоне температуры [20] от тройной точки до 573 К.

Как показал наш анализ, уравнение Спана [16] является наиболее точным, описывающим с погрешностью, близкой к погрешности эксперимента, все термодинамические свойства в диапазоне температуры от тройной точки до 600 К. Это уравнение включено в известную базу данных REFPROP [21].

Представленное в данной работе ФУС получено на более обширном экспериментальном материале и, благодаря своей структуре, обеспечивает

более высокую точность расчета ТДС в критической области ($0,7 < \rho/\rho_c < 1,3$ и $0,98 < T/T_c < 1,1$), а также обоснованно может применяться до 700 К.

В табл. Б.1 и на рис. Б.1 – Б.8 представлены результаты сравнения экспериментальных данных о ТДС н-пентана с рассчитанными по ФУС (3) значениями. Следует иметь ввиду, что при определении коэффициентов ФУС, использовались только те данные, которые хорошо согласуются между собой.

Давление насыщенных паров исследовано весьма подробно. В обработку включались данные Сейджа и Лейси [11], Битти с соавторами [23], Кратцке с соавторами [5], Курумова [6] и прецизионные данные Эвинга и Охоа [7], полученные в 2006 году. Надежные измерения в низкотемпературной области вблизи тройной точки отсутствую, поэтому были использованы расчетные значения, полученные авторами в [26] на основе данных о калорических свойствах. Погрешность этих данных оценивается величиной от 1,0% в тройной точке до 0,5 % при температуре 240 К.

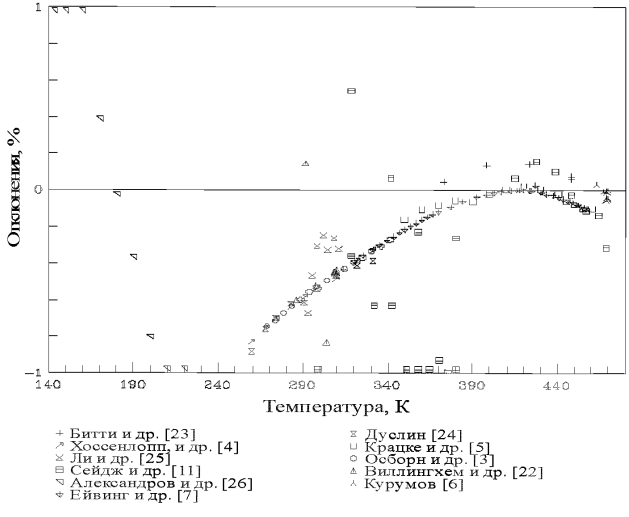

Рис. Б1. Отклонения экспериментальных данных о давлении насыщенных паров от рассчитанных по ФУС (2)

Плотность жидкой фазы на линии насыщения также исследована весьма подробно, однако в табл. Б.1 представлены только те данные, которые включались в обработку. Как видно из табл. Б.1 и рис. Б.2 отклонения не превышают 0,1 %, и только данные Курумова [6] отклоняются до 1,0 %, но они, в основном, относятся к критической области.

Плотность насыщенной газовой фазы исследована значительно менее подробно. Имеющиеся данные плохо согласуются между собой. Поэтому в обработку включались только данные Курумова [6] и накладывалось ограничение, обеспечивающее выполнение правила прямолинейного диаметра.

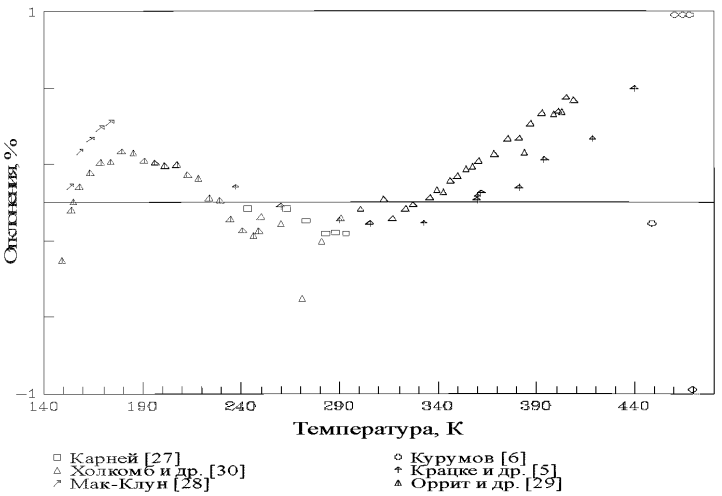

Рис. Б2. Отклонения экспериментальных данных о плотности жидкой фазы на линии насыщения от рассчитанных по ФУС (2)

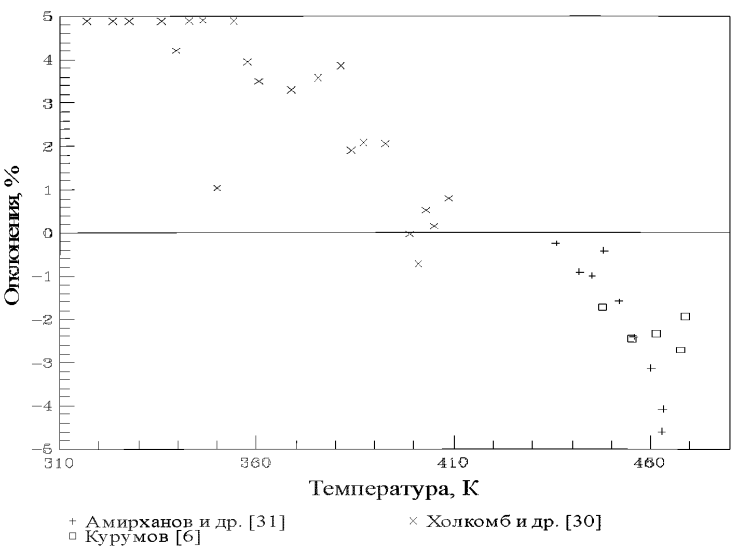

Рис. Б3. Отклонения экспериментальных данных о плотности газовой фазы на линии насыщения от рассчитанных по ФУС (2)

При определении коэффициентов уравнения использовались p,ρ,T-данные Сейджа и Лейси [11] в жидкой фазе, Ли с соавторами [25], Кратцке с соавторами [5], Курумова [6], Афтеньева с соавторами [34]. Данные о втором вири-

альном коэффициенте [6, 39-43] охватывают диапазон 298 – 643 К и описываются с отклонениями 1,0 – 1,5 % и только данные Хоссенлоппа с соавторами [4] отклоняются на ~ 3,0 %.

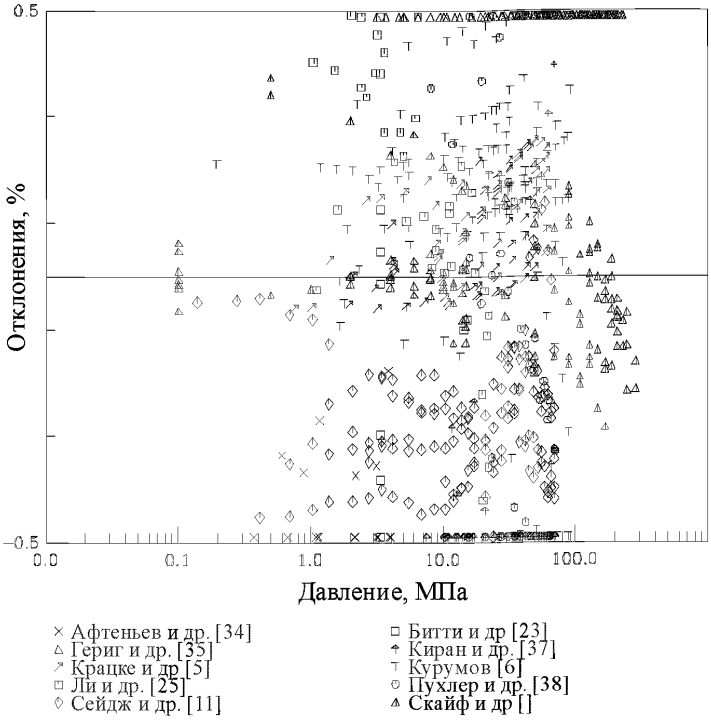

Рис. Б4. Отклонения экспериментальных p,v,T-данных в жидкой фазе от рассчитанных по ФУС (2)

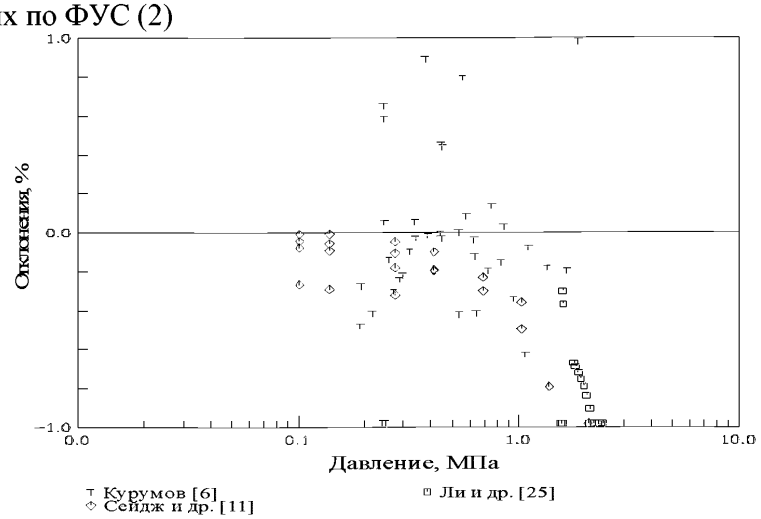

Рис. Б5. Отклонения экспериментальных p,v,T-данных в газовой фазе от рассчитанных по ФУС (2)

Теплоемкость насыщенной жидкой фазы C_s исследована при низких температурах в работах Мессерли с соавторами [13, 44], отклонения не превышают 1,0 %. Подробное и широкодиапазонное исследование изобарной теплоемкости выполнено в работе Харина [12]. Исследована жидкая и газовая фазы, критическая и сверхкритическая области. Отклонения, как правило, не превышают 1,0 % и увеличиваются только вблизи линии насыщения при высоких температурах и в критической области. Следует отметить, что критическая область исследована весьма подробно и данные описываются ФУС со средней погрешностью 6,4 %. Характер отклонений показан на рис Б.8.

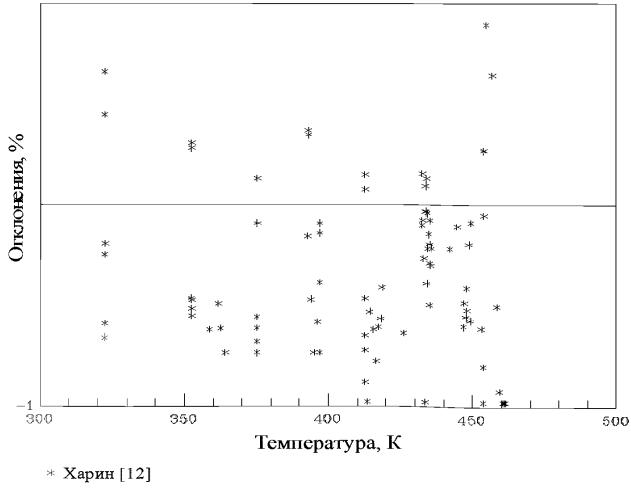

Рис. 6. Отклонения экспериментальных c_p,p,T-данных в жидкой фазе от рассчитанных по ФУС (2)

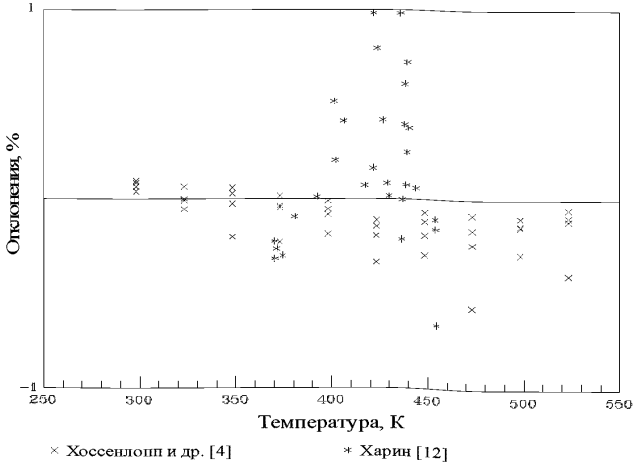

Рис. Б7. Отклонения экспериментальных c_p,p,T-данных в газовой фазе от рассчитанных по ФУС (2)

Изохорная теплоемкость исследована также достаточно подробно в работе Амирханова с сотрудниками [31]. В сверхкритической области отклонения не превышают 1,5 %, в газовой фазе достигают 4,0 %, в жидкой фазе – 7,0 %.

Данные об энтальпии испарения [4, 26, 45-48] охватывают диапазон от тройной точки до 469,44 К и описываются с высокой точностью ~ 0,5 %. Отклонения, превышающие 1,0 наблюдаются только вблизи критической точки.

Скорость звука исследована только в жидкой фазе. Отклонения, как правило, не превышают 1,0 %.

Качество поверхности состояния, описываемой ФУС (2) с коэффициентами из табл. (2), косвенно можно оценить по виду идеальных кривых, показанных на рис. Б.9. Правильный вид идеальных кривых обеспечивает хорошие экстраполяционные возможности уравнения.

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 [19, 32]. 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 [16] и вероятная погрешность 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 [26] и вероятная погрешность табличных данных [26], оцененная в этой же работе.

Таблица Б1

Результаты сравнения данных о термодинамических свойствах н-пентана с рассчитанными по фундаментальному уравнению состояния значениями

Год	Первый автор, Источник	Число точек	Диапазон T, К	Диапазон p, МПа	Отклонения, % САО	Отклонения, % СКО
	Давление насыщенных паров					
1942	Сейдж и др. [11]	4	344 – 444		0,186	0,235
1945	Виллингхем и др. [22]	8	286 – 310		0,619	0,664
1951	Битти и др. [23]	4	373 – 448		0,056	0,065
1970	Дуслин [24]	9	259 – 331		0,803	0,829
1972	Ли и др. [25]	7	293 – 311		0,540	0,560
1974	Осборн и др. [3]	15	268 – 341		0,681	0,706
1981	Хоссенлопп, и др. [4]	9	259 – 331		0,788	0,815
1985	Крацке и др. [5]	14	349 – 460		0,154	0,173
1990	Курумов [6]	12	353 – 469		0,024	0,031
2006	Эвинг и др. [7]	41	309 - 456		0,131	0,182
2010	Александров и др. [26]	9	143 – 220		0,891	0,984
	Плотность насыщенной жидкой фаза					
1942	Карней [27]	6	243 – 293		0,021	0,026
1976	Мак-Клун [28]	5	153 – 173		0,103	0,104
1978	Оррит и др. [29]	21	148 – 246		0,021	0,027
1985	Крацке и др. [5]	13	237 – 440		0,038	0,055
1990	Курумов [6]	5	448 – 469		0,779	0,950
1995	Холкомб и др. [30]	28	250 – 409		0,091	0,100
	Плотность насыщенной газовой фазы					
1981	Амирханов и др. [31]	9	436 – 463		3,350	5,490
1990	Курумов [6]	10	348– 469		2,414	2,477
1995	Холкомб и др. [30]	23	312 – 409		3,558	4,418
2011	Герасимов и др. [32]	20	143 – 330		0,425	0,567
	p,ρ,T-данные					
1942	Сейдж и др. [11]	234	311 – 511	0,1 – 69	0,910	1,825
	Ж.	146			0,160	0,214
	Г	22			3,451	3,477
	Ф	66			1,723	2,769
1951	Битти и др [23], К	100	469 - 470	3,4	3,475	3,995
1952	Битти и др [33]	52	473 – 573	2,6 – 35	0,687	0,956
	Ф	48			0,590	0,743
	К	4			1,849	2,292
1953	Ли и др. [25]	127	373 – 573	1,0 – 22	0,656	1,096
	Ж	38			0,246	0,411
	Г	156			0,622	0,725
	Ф	71			0,722	0,966
	К	4			3,514	4,269

Продолжение табл. Б1

Год	Первый автор, Источник	Число точек	Диапазон T, К	Диапазон p, МПа	Отклонения, % САО	Отклонения, % СКО
1977	Афтеньев и др. [34]	60	353 – 504	4,0 – 0,5	0,735	0,918
1979	Гериг и др. [35]	287	313 – 643	5 – 250	1,745	2,115
1980	Скайф и др [36]	121	248 – 373	7,4 – 284	0,084	0,122
1985	Крацке и др [5]	119	238 – 573	1,4 – 60	0,220	0,380
	Ж	88			0,133	0,290
	Ф	31			0,466	0,560
1991	Курумов [6]	469	173 – 623	0,1 – 140	0,792	1,488
	Ж	140			0,409	0,678
	Г	39			0,429	1,240
	Ф	228			0,692	0,856
	К	62			2,249	3,471
1992	Киран и др. [37]	81	318 – 443	7,5 – 69	1,332	1,520
1997	Пухлер и др. [38]	65	323 – 423	8,1 – 70	0,580	0,651
	Второй вириальный коэффициент					
1962	Макглашен и др. [39]	12	298 – 414		1,010	1,580
1963	Хофф и др. [40]	8	308 – 511		1,332	1,835
1969	Хайяр и др. [41]	11	313 – 473		1,015	1,241
1981	Хоссенлопп и др. [4]	9	260 – 331		2,814	3,568
1989	Эвинг и др. [42]	7	270 – 330		0,942	0,998
1990	Ксекин и др.[43]	5	308 – 348		0,691	0,895
1991	Курумов [6]	13	373 – 648		1,166	1,490
	Теплоемкость насыщенной жидкой фазы					
1940	Мессерли и др. [44]	18	148 – 286		0,565	0,816
1967	Мессерли и др. [13]	25	148 – 303		0,325	0,393
	Изобарная теплоемкость					
1981	Хоссенлопп и др. [4]	40	298 – 323	0,02–0,1	0,132	0,140
1987	Харин [12]	521	293 – 697	0,1 – 60	2,524	4,618
	Ж	134			1,580	2,414
	Г	65			2,170	2,910
	Ф	214			1,190	1,791
	К	108			6,426	9,177
	Изохорная теплоемкость					
1981	Амирханов и др. [31]	410	363 – 673	4 – 53,3	2,258	4,365
	Ж	18			7,121	7,461
	Г	13			3,911	4,077
	Ф	346			1,145	1,483
	К	33			10,62	13,29
	Энтальпия испарения					
1941	Питцер [45]	1	309,1		0,159	0,159
1947	Осборн и др. [46]	1	298,15		0,287	0,287

Окончание табл. Б1

Год	Первый автор, Источник	Число точек	Диапазон T, К	Диапазон p, МПа	Отклонения, % САО	Отклонения, % СКО
1960	Козицкий и др. [47]	11	311 – 428		0,285	0,360
1981	Хоссенлопп и др. [4]	7	259 – 331		0,146	0,164
1997	Григорьев и др. [48]	5	366–451		0,330	0,456
	К	4	462–468,4		5,51	6,15
2009	Александров [26]	9	144 – 240		0,162	0,174
	Скорость звука					
1953	Клинг и др. [49]	13	293 – 433	0,1 – 20	0,586	0,894
1990	Лайнц и др. [10]	220	263 – 433	0,6 – 213	0,706	0,822
1991	Вервейко и др. [50]	16	293 – 313	0,1 – 600	1,100	1,220
1997	Динг и др. [51]	200	293 – 373	5,0 – 100	0,483	0,551

Примечание: 1) Ж – жидкая фаза: $T < T_c$, $\rho > 1{,}3\rho_c$; Г – газовая фаза: $T < T_c$, $\rho < 0{,}7\rho_c$; Ф – сверхкритический флюид (исключая критическую область): $T > T_c$; К – критическая область: $T < 1{,}05T_c$, $0{,}7\rho_c < \rho < 1{,}3\rho_c$.

2) САО – среднее арифметическое отклонение; СКО – среднее квадратичное отклонение.

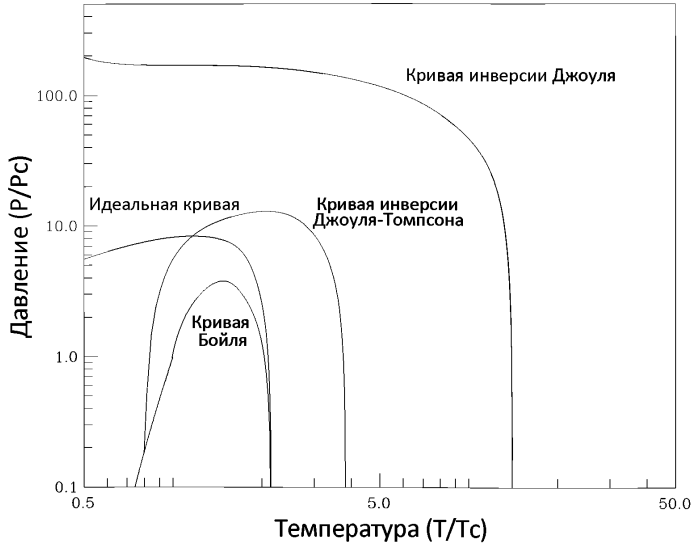

Рис. Б9. Идеальные кривые н-нетана

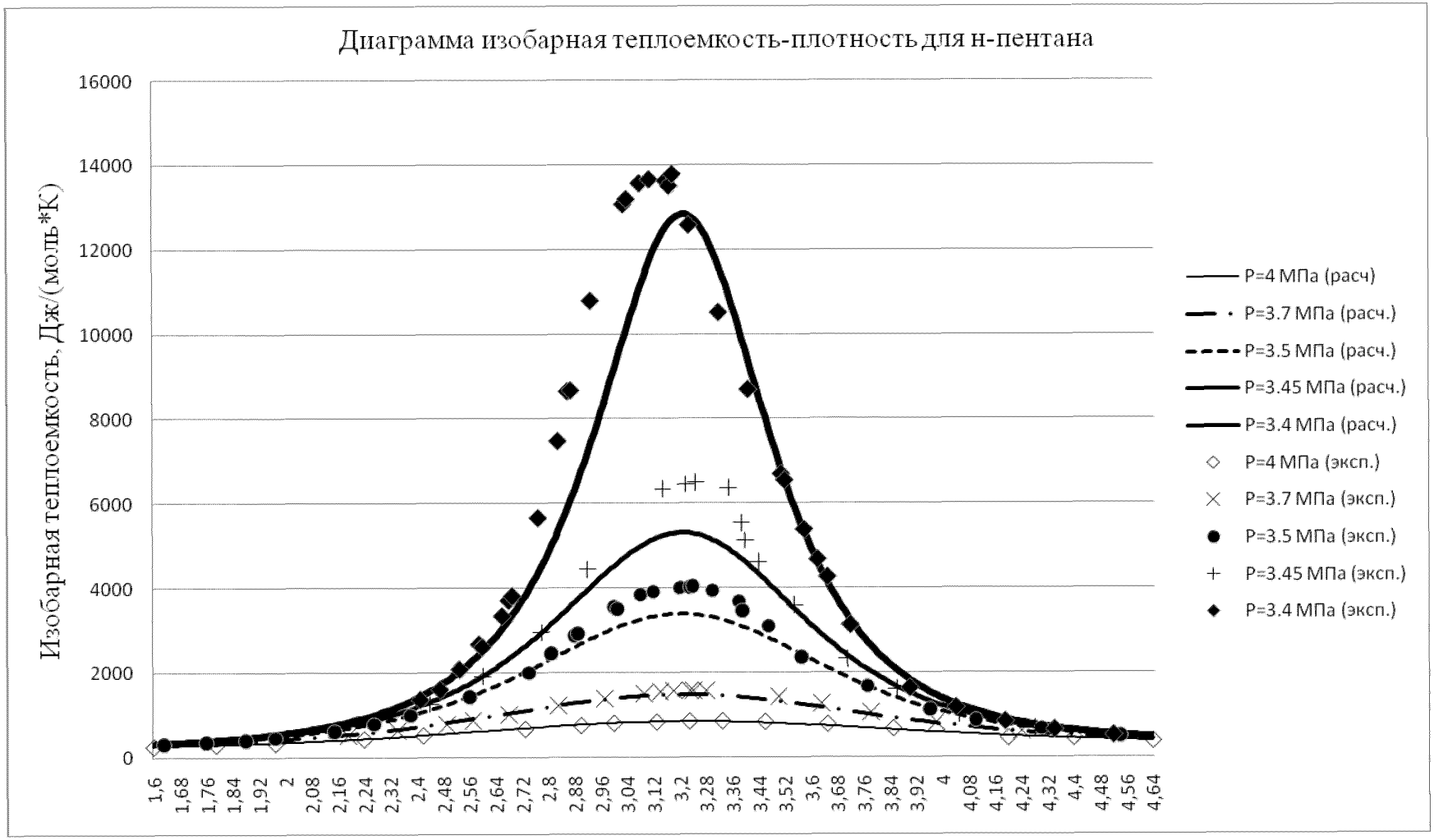

Рис. Б8. Изобарная теплоемкость в критической области.

Таблица Б2

Поля неопределенности расчета плотности

p, МПа	Температура, К													
	150	200	250	300	350	400	450	460	470	480	500	550	600	700
0,5	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20	0,25
2,0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,25	0,25	0,25	0,25	0,20	0,20	0,25	0,30
3,0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,20	0,3	0,45	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
3,5	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,20	0,4	1,0	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
4,0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,2	0,2	0,5	0,8	0,6	0,5	0,4
5,0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,40	0,90	0,70	0,50	0,40
10,0	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,25	0,30	0,80	0,40	0,30
50,0	0,50	0,25	0,25	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30
100,0	-	0,40	0,30	0,25	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,25	0,30

Таблица Б3

Поля неопределенности расчета изобарной теплоемкости

p, МПа	Температура, К													
	150	200	250	300	350	400	450	460	470	480	500	550	600	700
0,5	1,0	1,0	0,7	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
2,0	1,0	1,0	0,7	0,4	0,4	0,6	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3
3,0	1,0	1,0	0,7	0,4	0,4	0,6	0,8	4,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3
3,5	1,0	1,0	0,7	0,4	0,4	0,5	0,8	0,7	1,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3
4,0	1,0	1,0	0,7	0,4	0,4	0,5	0,8	0,9	1,2	1,0	1,0	0,5	0,4	0,4
5,0	1,2	1,0	0,8	0,5	0,4	0,5	1,0	1,1	1,1	2,2	3,2	0,5	0,5	0,5
10,0	1,2	1,0	0,8	0,5	0,4	0,5	0,9	1,0	1,0	1,2	1,7	1,2	1,0	0,7
50,0	1,2	1,2	0,8	0,5	0,4	0,5	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7
100,0	-	1,5	1,0	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Таблица Б4

Поля неопределенности расчета скорости распространения звука

p, МПа	Температура, К													
	150	200	250	300	350	400	450	460	470	480	500	550	600	700
0,5	8,0	5,0	3,0	2,0	2,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
2,0	8,0	5,0	3,0	1,7	1,7	1,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
3,0	8,0	5,0	3,0	1,7	1,7	1,7	2,5	3,2	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7
3,5	8,0	5,0	3,0	1,7	1,7	1,5	1,5	3,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
4,0	8,0	5,0	3,0	1,7	1,7	1,2	1,0	1,0	1,2	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0
5,0	8,0	5,0	3,0	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2
10,0	8,0	5,0	2,0	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
50,0	8,0	5,0	1,5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
100,0		3,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2

Таблица Б5

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

T, K	δp_v, %	$\delta\rho_l$, %	$\delta\rho_v$, %	$\delta C_p'$, %	$\delta C_p''$. %	$\delta h'$, %	$\delta s'$, %	$\delta\Delta h_v$, %
150	1,5	0,1	1,5	0,6	0,2	0,25	0,25	0,5
170	1,3	0,1	1,3	0,6	0,2	0,25	0,25	0,5
200	1,0	0,1	1,0	0,6	0,2	0,25	0,25	0,5
250	0,8	0,1	0,8	0,6	0,2	0,25	0,25	0,5
300	0,3	0,15	0,5	0,6	0,2	0,25	0,25	0,5
350	0,1	0,20	0,5	0,6	0,3	0,25	0,25	0,5
400	0,1	0,25	0,8	0,7	0,4	0,26	0,26	0,6
420	0,1	0,30	0,8	0,7	0,5	0,26	0,26	0,7
440	0,1	0,35	0,9	0,7	0,7	0,26	0,26	0,9
450	0,1	0,50	1,5	0,8	0,9	0,27	0,27	1,1
460	0,1	0,80	2,5	2,0	4,5	0,27	0,27	2,2
465	0,5	1,0	3,0	3,0	6,0	0,28	0,28	6,0
469	0,8	1,5	6,0	5,0	9,0	0,30	0,30	9,0

Таблица 4. Термодинамические свойства н-пентана в однофазной области

T	ρ	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						
150	755.92	234.22	2.2387	1.4647	1.9474	1464.7
160	745.93	253.76	2.3648	1.5375	1.961	1448.5
170	736.78	273.43	2.4841	1.5618	1.9721	1442
180	727.99	293.19	2.597	1.5637	1.9792	1432.5
190	719.36	313.01	2.7042	1.5585	1.986	1416.9
200	710.77	332.92	2.8063	1.554	1.9958	1394.6
210	702.18	352.95	2.904	1.5539	2.0102	1366.4
220	693.53	373.14	2.9979	1.5594	2.0298	1333.3
230	684.81	393.56	3.0887	1.5705	2.0544	1296.4
240	676	414.24	3.1767	1.5865	2.0835	1256.6
250	667.06	435.24	3.2624	1.6067	2.1167	1214.6
260	657.98	456.59	3.3462	1.6305	2.1534	1170.9
270	648.74	478.32	3.4282	1.6573	2.1932	1125.9
280	639.3	500.46	3.5087	1.6865	2.2356	1080
290	629.64	523.04	3.5879	1.7179	2.2805	1033.4
300	619.73	546.08	3.666	1.751	2.3276	986.31
310	2.9264	926.03	4.8978	1.6258	1.7694	188.4
320	2.8209	943.9	4.9545	1.6654	1.8051	192.02
330	2.7239	962.13	5.0106	1.7061	1.8426	195.51
340	2.6343	980.75	5.0662	1.7477	1.8815	198.88
350	2.5512	999.77	5.1213	1.7899	1.9215	202.14
360	2.4737	1019.2	5.176	1.8326	1.9625	205.32
370	2.4012	1039	5.2304	1.8756	2.004	208.41
380	2.3333	1059.3	5.2844	1.9188	2.0459	211.44
390	2.2693	1079.9	5.3381	1.9621	2.088	214.39
400	2.209	1101	5.3914	2.0052	2.1303	217.29
410	2.152	1122.5	5.4446	2.0482	2.1724	220.14
420	2.0981	1144.5	5.4974	2.091	2.2145	222.93
430	2.0469	1166.8	5.55	2.1334	2.2563	225.68
440	1.9983	1189.6	5.6024	2.1754	2.2978	228.38
450	1.952	1212.8	5.6545	2.2171	2.3389	231.05
460	1.9079	1236.4	5.7063	2.2583	2.3797	233.68
470	1.8658	1260.4	5.7579	2.2989	2.42	236.27
480	1.8256	1284.8	5.8093	2.3391	2.4598	238.82
490	1.7872	1309.6	5.8604	2.3788	2.4992	241.34
500	1.7504	1334.8	5.9113	2.4179	2.538	243.84
510	1.7151	1360.3	5.9619	2.4565	2.5763	246.3
520	1.6812	1386.3	6.0123	2.4946	2.6141	248.73
530	1.6487	1412.6	6.0625	2.5321	2.6514	251.14
540	1.6174	1439.3	6.1124	2.569	2.6882	253.52

1	2	3	4	5	6	7
550	1.5874	1466.4	6.162	2.6054	2.7244	255.88
560	1.5584	1493.8	6.2115	2.6413	2.7601	258.21
570	1.5305	1521.6	6.2606	2.6767	2.7952	260.52
580	1.5036	1549.7	6.3095	2.7115	2.8299	262.8
590	1.4777	1578.2	6.3582	2.7458	2.8641	265.06
600	1.4526	1607	6.4066	2.7795	2.8977	267.31
610	1.4284	1636.1	6.4548	2.8128	2.9308	269.53
620	1.405	1665.6	6.5027	2.8456	2.9635	271.73
630	1.3824	1695.4	6.5504	2.8779	2.9957	273.91
640	1.3605	1725.5	6.5978	2.9097	3.0274	276.08
650	1.3393	1755.9	6.645	2.941	3.0586	278.22
660	1.3187	1786.7	6.6919	2.9719	3.0894	280.35
670	1.2988	1817.7	6.7386	3.0023	3.1197	282.46
680	1.2794	1849.1	6.7851	3.0322	3.1495	284.55
690	1.2607	1880.7	6.8312	3.0617	3.1789	286.63
700	1.2425	1912.6	6.8772	3.0907	3.2079	288.69
p=0.5 МПа						
150	756.17	234.64	2.238	1.4644	1.9489	1467.7
160	746.18	254.19	2.3641	1.5369	1.9616	1451.3
170	737.02	273.86	2.4834	1.5611	1.9723	1444.6
180	728.24	293.62	2.5963	1.5631	1.9791	1435.1
190	719.61	313.44	2.7035	1.558	1.9858	1419.4
200	711.04	333.35	2.8056	1.5536	1.9954	1397.2
210	702.45	353.37	2.9033	1.5536	2.0098	1369.1
220	693.82	373.56	2.9972	1.5591	2.0292	1336.2
230	685.12	393.97	3.0879	1.5702	2.0537	1299.5
240	676.33	414.65	3.1759	1.5862	2.0828	1259.8
250	667.42	435.64	3.2616	1.6064	2.1159	1217.9
260	658.37	456.98	3.3453	1.6302	2.1524	1174.4
270	649.15	478.7	3.4273	1.657	2.192	1129.7
280	639.75	500.83	3.5078	1.6862	2.2343	1084
290	630.13	523.39	3.5869	1.7175	2.2789	1037.7
300	620.28	546.41	3.665	1.7506	2.3257	990.85
310	610.14	569.91	3.742	1.7852	2.3746	943.66
320	599.7	593.91	3.8182	1.8212	2.4257	896.22
330	588.9	618.43	3.8937	1.8584	2.4791	848.56
340	577.69	643.5	3.9685	1.8966	2.535	800.68
350	566.01	669.14	4.0428	1.9357	2.5941	752.52
360	553.77	695.4	4.1168	1.9756	2.6571	703.91
370	13.468	1023.8	5.015	1.9261	2.1423	187.71
380	12.924	1045.3	5.0724	1.9609	2.1624	192.67
390	12.438	1067	5.1289	1.9973	2.1874	197.27
400	11.999	1089.1	5.1846	2.035	2.216	201.59
410	11.6	1111.4	5.2397	2.0735	2.2471	205.68

1	2	3	4	5	6	7
420	11.234	1134	5.2943	2.1126	2.2802	209.58
430	10.895	1157	5.3483	2.1521	2.3145	213.3
440	10.581	1180.3	5.4019	2.1916	2.3498	216.89
450	10.289	1204	5.4551	2.2312	2.3858	220.34
460	10.015	1228	5.508	2.2707	2.4221	223.69
470	9.7574	1252.4	5.5604	2.3099	2.4586	226.93
480	9.5151	1277.2	5.6126	2.3489	2.4952	230.09
490	9.2864	1302.3	5.6644	2.3876	2.5317	233.17
500	9.0699	1327.8	5.7159	2.4259	2.5681	236.17
510	8.8646	1353.7	5.7671	2.4637	2.6042	239.1
520	8.6695	1379.9	5.8181	2.5012	2.6401	241.97
530	8.4838	1406.5	5.8687	2.5381	2.6757	244.78
540	8.3068	1433.4	5.919	2.5746	2.7109	247.54
550	8.1377	1460.7	5.9691	2.6106	2.7457	250.25
560	7.976	1488.3	6.0189	2.6461	2.7802	252.91
570	7.8212	1516.3	6.0684	2.6812	2.8143	255.53
580	7.6728	1544.6	6.1176	2.7157	2.8479	258.1
590	7.5304	1573.3	6.1666	2.7498	2.8811	260.64
600	7.3936	1602.2	6.2153	2.7833	2.9139	263.14
610	7.262	1631.5	6.2637	2.8164	2.9463	265.6
620	7.1354	1661.2	6.3119	2.849	2.9782	268.03
630	7.0134	1691.1	6.3598	2.8811	3.0097	270.43
640	6.8958	1721.4	6.4074	2.9128	3.0408	272.8
650	6.7823	1751.9	6.4548	2.944	3.0714	275.14
660	6.6728	1782.8	6.5019	2.9747	3.1016	277.45
670	6.5669	1813.9	6.5488	3.005	3.1314	279.73
680	6.4645	1845.4	6.5954	3.0348	3.1608	281.99
690	6.3654	1877.2	6.6418	3.0642	3.1898	284.22
700	6.2695	1909.2	6.6879	3.0932	3.2183	286.43
p=1.0 МПа						
150	756.48	235.16	2.237	1.464	1.9509	1471.5
160	746.48	254.72	2.3633	1.5361	1.9624	1454.7
170	737.32	274.4	2.4826	1.5603	1.9725	1447.8
180	728.54	294.16	2.5955	1.5624	1.979	1438.3
190	719.93	313.98	2.7027	1.5573	1.9855	1422.7
200	711.36	333.88	2.8048	1.553	1.995	1400.5
210	702.8	353.9	2.9024	1.5531	2.0092	1372.5
220	694.19	374.08	2.9963	1.5587	2.0286	1339.8
230	685.51	394.49	3.087	1.5698	2.053	1303.2
240	676.74	415.16	3.175	1.5858	2.0819	1263.7
250	667.86	436.14	3.2606	1.6061	2.1148	1222.1
260	658.84	457.46	3.3443	1.6298	2.1512	1178.8
270	649.67	479.17	3.4262	1.6566	2.1906	1134.3
280	640.31	501.28	3.5066	1.6858	2.2326	1089

1	2	3	4	5	6	7
290	630.75	523.83	3.5857	1.717	2.2769	1042.9
300	620.95	546.83	3.6637	1.7501	2.3234	996.44
310	610.88	570.3	3.7406	1.7847	2.3719	949.63
320	600.52	594.28	3.8167	1.8206	2.4225	902.59
330	589.82	618.76	3.8921	1.8576	2.4753	855.39
340	578.72	643.79	3.9668	1.8957	2.5304	808.03
350	567.18	669.38	4.041	1.9347	2.5884	760.45
360	555.11	695.57	4.1147	1.9745	2.65	712.56
370	542.42	722.4	4.1882	2.015	2.7164	664.11
380	528.94	749.92	4.2616	2.0563	2.7895	614.77
390	514.49	778.22	4.3351	2.0985	2.8724	564.01
400	27.687	1069.9	5.0686	2.0909	2.4333	175.8
410	26.254	1094.2	5.1285	2.1189	2.4188	182.98
420	25.04	1118.3	5.1867	2.1499	2.4199	189.33
430	23.988	1142.6	5.2438	2.1831	2.4309	195.08
440	23.06	1167	5.2999	2.2178	2.4485	200.36
450	22.23	1191.6	5.3551	2.2534	2.4707	205.26
460	21.479	1216.4	5.4097	2.2897	2.4961	209.86
470	20.795	1241.5	5.4637	2.3265	2.5238	214.2
480	20.166	1266.9	5.5171	2.3634	2.5532	218.33
490	19.585	1292.6	5.5701	2.4003	2.5837	222.27
500	19.045	1318.6	5.6226	2.4372	2.6151	226.05
510	18.542	1344.9	5.6747	2.4738	2.647	229.69
520	18.071	1371.5	5.7264	2.5103	2.6792	233.2
530	17.628	1398.5	5.7777	2.5464	2.7116	236.6
540	17.211	1425.7	5.8287	2.5822	2.7441	239.89
550	16.818	1453.3	5.8794	2.6175	2.7766	243.1
560	16.445	1481.3	5.9297	2.6525	2.8089	246.21
570	16.091	1509.5	5.9797	2.6871	2.8411	249.25
580	15.754	1538.1	6.0294	2.7213	2.873	252.22
590	15.434	1567	6.0788	2.755	2.9047	255.12
600	15.128	1596.2	6.1278	2.7882	2.9362	257.96
610	14.835	1625.7	6.1766	2.821	2.9673	260.74
620	14.556	1655.5	6.2251	2.8534	2.9981	263.47
630	14.288	1685.7	6.2734	2.8853	3.0286	266.15
640	14.031	1716.1	6.3213	2.9167	3.0587	268.78
650	13.784	1746.8	6.3689	2.9477	3.0885	271.37
660	13.547	1777.9	6.4163	2.9783	3.1179	273.91
670	13.319	1809.2	6.4634	3.0084	3.1469	276.42
680	13.099	1840.8	6.5103	3.0381	3.1756	278.88
690	12.887	1872.7	6.5568	3.0674	3.2039	281.32
700	12.682	1904.9	6.6031	3.0962	3.2319	283.71
p=1.5 МПа						
150	756.78	235.68	2.2361	1.4637	1.9528	1475.3

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
160	746.78	255.26	2.3624	1.5354	1.9632	1458.1
170	737.62	274.94	2.4818	1.5595	1.9727	1451.1
180	728.85	294.7	2.5947	1.5616	1.9789	1441.5
190	720.24	314.52	2.7019	1.5567	1.9852	1425.9
200	711.69	334.41	2.8039	1.5525	1.9946	1403.8
210	703.14	354.43	2.9016	1.5526	2.0087	1375.9
220	694.55	374.6	2.9954	1.5583	2.0279	1343.3
230	685.89	395	3.0861	1.5694	2.0522	1306.9
240	677.15	415.66	3.174	1.5855	2.081	1267.6
250	668.3	436.63	3.2596	1.6057	2.1138	1226.2
260	659.32	457.95	3.3432	1.6295	2.15	1183.2
270	650.18	479.64	3.4251	1.6562	2.1892	1139
280	640.87	501.74	3.5054	1.6854	2.2309	1093.9
290	631.35	524.27	3.5845	1.7166	2.275	1048.1
300	621.61	547.25	3.6624	1.7496	2.3212	1002
310	611.62	570.7	3.7393	1.7841	2.3693	955.51
320	601.33	594.64	3.8153	1.82	2.4194	908.87
330	590.72	619.1	3.8905	1.8569	2.4716	862.1
340	579.74	644.08	3.9651	1.8949	2.526	815.23
350	568.33	669.62	4.0392	1.9337	2.583	768.22
360	556.42	695.75	4.1128	1.9733	2.6433	720.98
370	543.92	722.51	4.1861	2.0137	2.7079	673.33
380	530.71	749.93	4.2592	2.0547	2.7784	624.98
390	516.6	778.1	4.3324	2.0965	2.8572	575.49
400	501.33	807.12	4.4058	2.1393	2.949	524.17
410	484.46	837.15	4.48	2.1835	3.062	469.96
420	44.139	1097	5.0998	2.2102	2.7679	161.14
430	41.08	1124.1	5.1637	2.2296	2.6741	171.45
440	38.691	1150.6	5.2246	2.2548	2.6312	180
450	36.729	1176.8	5.2835	2.2835	2.6143	187.4
460	35.063	1203	5.3409	2.3146	2.6127	193.97
470	33.616	1229.1	5.3972	2.3473	2.6209	199.93
480	32.338	1255.4	5.4525	2.3811	2.6356	205.41
490	31.194	1281.9	5.5071	2.4155	2.6548	210.51
500	30.16	1308.5	5.5609	2.4504	2.6772	215.29
510	29.217	1335.4	5.6142	2.4855	2.7018	219.8
520	28.35	1362.6	5.6669	2.5205	2.7282	224.08
530	27.55	1390	5.7191	2.5556	2.7557	228.17
540	26.807	1417.7	5.7709	2.5904	2.784	232.08
550	26.114	1445.7	5.8222	2.6251	2.813	235.84
560	25.465	1473.9	5.8732	2.6594	2.8423	239.47
570	24.856	1502.5	5.9238	2.6934	2.8718	242.97
580	24.282	1531.4	5.974	2.7271	2.9015	246.36
590	23.74	1560.5	6.0238	2.7604	2.9312	249.66

1	2	3	4	5	6	7
600	23.227	1590	6.0733	2.7933	2.9609	252.86
610	22.739	1619.7	6.1225	2.8257	2.9904	255.98
620	22.276	1649.8	6.1714	2.8578	3.0198	259.02
630	21.835	1680.1	6.2199	2.8895	3.049	261.99
640	21.414	1710.8	6.2682	2.9207	3.078	264.89
650	21.012	1741.7	6.3161	2.9515	3.1067	267.73
660	20.627	1772.9	6.3638	2.9819	3.1351	270.51
670	20.258	1804.4	6.4111	3.0119	3.1633	273.24
680	19.904	1836.2	6.4582	3.0414	3.1912	275.92
690	19.564	1868.2	6.505	3.0705	3.2188	278.55
700	19.237	1900.6	6.5515	3.0992	3.246	281.13
p=2.0 МПа						
150	757.09	236.2	2.2352	1.4633	1.9547	1479.1
160	747.08	255.79	2.3616	1.5347	1.9641	1461.5
170	737.92	275.48	2.4809	1.5587	1.973	1454.3
180	729.15	295.24	2.5939	1.5609	1.9788	1444.6
190	720.56	315.06	2.701	1.556	1.9849	1429
200	712.02	334.95	2.8031	1.5519	1.9942	1407
210	703.48	354.96	2.9007	1.5522	2.0082	1379.3
220	694.91	375.13	2.9945	1.5579	2.0273	1346.8
230	686.28	395.52	3.0852	1.5691	2.0514	1310.6
240	677.56	416.17	3.1731	1.5851	2.0801	1271.5
250	668.74	437.13	3.2586	1.6054	2.1127	1230.3
260	659.79	458.44	3.3422	1.6291	2.1488	1187.5
270	650.69	480.12	3.424	1.6558	2.1878	1143.5
280	641.42	502.2	3.5043	1.685	2.2293	1098.7
290	631.95	524.71	3.5833	1.7162	2.2731	1053.3
300	622.27	547.67	3.6611	1.7491	2.319	1007.4
310	612.34	571.1	3.7379	1.7836	2.3668	961.31
320	602.13	595.01	3.8139	1.8194	2.4164	915.04
330	591.61	619.43	3.889	1.8563	2.468	868.69
340	580.73	644.38	3.9635	1.8941	2.5217	822.29
350	569.45	669.88	4.0374	1.9328	2.5779	775.82
360	557.69	695.95	4.1108	1.9723	2.637	729.2
370	545.38	722.63	4.1839	2.0125	2.6999	682.29
380	532.41	749.96	4.2568	2.0532	2.768	634.85
390	518.61	778.01	4.3297	2.0947	2.8434	586.51
400	503.77	806.87	4.4027	2.137	2.9295	536.72
410	487.53	836.66	4.4763	2.1804	3.0328	484.66
420	469.3	867.62	4.5509	2.2255	3.1658	428.97
430	447.95	900.18	4.6275	2.2739	3.3604	367.13
440	61.196	1127.7	5.149	2.3155	3.1319	151.58
450	55.944	1157.8	5.2167	2.3281	2.9218	164.63
460	52.138	1186.5	5.2797	2.3491	2.8273	174.88

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
470	49.145	1214.6	5.34	2.3748	2.7817	183.49
480	46.677	1242.3	5.3983	2.4036	2.7619	190.99
490	44.578	1269.8	5.4552	2.4342	2.7573	197.69
500	42.754	1297.4	5.511	2.4662	2.7626	203.78
510	41.143	1325.1	5.5658	2.499	2.7744	209.39
520	39.7	1352.9	5.6198	2.5323	2.7908	214.62
530	38.396	1380.9	5.6731	2.5659	2.8105	219.52
540	37.206	1409.2	5.7259	2.5996	2.8325	224.14
550	36.114	1437.6	5.7781	2.6332	2.8563	228.53
560	35.106	1466.3	5.8297	2.6668	2.8813	232.72
570	34.17	1495.2	5.881	2.7001	2.9073	236.73
580	33.297	1524.4	5.9318	2.7332	2.9339	240.58
590	32.481	1553.9	5.9821	2.766	2.9609	244.29
600	31.714	1583.7	6.0321	2.7985	2.9883	247.88
610	30.992	1613.7	6.0818	2.8306	3.0158	251.34
620	30.31	1644	6.131	2.8624	3.0435	254.71
630	29.665	1674.5	6.1799	2.8938	3.0711	257.97
640	29.052	1705.4	6.2285	2.9248	3.0987	261.15
650	28.47	1736.5	6.2768	2.9553	3.1261	264.25
660	27.915	1767.9	6.3247	2.9855	3.1535	267.27
670	27.386	1799.6	6.3723	3.0153	3.1806	270.22
680	26.881	1831.5	6.4197	3.0447	3.2076	273.11
690	26.397	1863.7	6.4667	3.0737	3.2343	275.93
700	25.933	1896.2	6.5134	3.1023	3.2608	278.7
p=2.5 МПа						
150	757.39	236.72	2.2342	1.463	1.9567	1482.9
160	747.38	256.32	2.3607	1.534	1.9649	1464.9
170	738.22	276.02	2.4801	1.5579	1.9732	1457.5
180	729.46	295.78	2.5931	1.5602	1.9788	1447.8
190	720.87	315.59	2.7002	1.5554	1.9847	1432.2
200	712.34	335.48	2.8022	1.5514	1.9938	1410.3
210	703.82	355.48	2.8998	1.5517	2.0077	1382.6
220	695.27	375.65	2.9936	1.5575	2.0267	1350.3
230	686.66	396.04	3.0842	1.5687	2.0507	1314.2
240	677.96	416.68	3.1721	1.5848	2.0793	1275.4
250	669.17	437.63	3.2576	1.6051	2.1117	1234.4
260	660.25	458.93	3.3411	1.6288	2.1476	1191.8
270	651.19	480.6	3.4229	1.6555	2.1864	1148.1
280	641.96	502.66	3.5032	1.6846	2.2278	1103.5
290	632.55	525.16	3.5821	1.7158	2.2713	1058.3
300	622.92	548.1	3.6599	1.7487	2.3169	1012.8
310	613.05	571.5	3.7366	1.7831	2.3643	967.02
320	602.92	595.39	3.8124	1.8188	2.4135	921.12
330	592.48	619.78	3.8875	1.8556	2.4646	875.18

1	2	3	4	5	6	7
340	581.71	644.69	3.9618	1.8934	2.5176	829.23
350	570.54	670.14	4.0356	1.932	2.5729	783.26
360	558.93	696.15	4.1089	1.9713	2.6309	737.23
370	546.8	722.77	4.1818	2.0113	2.6924	691.02
380	534.05	750.02	4.2545	2.0519	2.7584	644.41
390	520.55	777.96	4.327	2.0931	2.8307	597.11
400	506.09	806.66	4.3997	2.1349	2.9121	548.69
410	490.4	836.25	4.4728	2.1777	3.0074	498.48
420	473	866.89	4.5466	2.2218	3.1256	445.5
430	453.08	898.9	4.6219	2.2682	3.2865	388.05
440	428.9	932.93	4.7001	2.3194	3.5457	322.79
450	395.19	970.92	4.7855	2.3834	4.181	240.14
460	76.54	1164	5.2134	2.4033	3.3819	149.71
470	69.418	1196.2	5.2827	2.4138	3.1033	163.62
480	64.399	1226.6	5.3466	2.4333	2.9791	174.47
490	60.516	1256	5.4073	2.4579	2.9168	183.54
500	57.351	1285	5.4659	2.4855	2.8861	191.43
510	54.682	1313.8	5.5229	2.515	2.8737	198.45
520	52.377	1342.5	5.5787	2.5459	2.8729	204.83
530	50.351	1371.3	5.6335	2.5776	2.8798	210.69
540	48.545	1400.1	5.6874	2.6097	2.8921	216.13
550	46.919	1429.1	5.7406	2.6422	2.9083	221.23
560	45.441	1458.3	5.7932	2.6747	2.9272	226.04
570	44.088	1487.7	5.8452	2.7073	2.9482	230.59
580	42.842	1517.3	5.8966	2.7397	2.9707	234.93
590	41.687	1547.1	5.9476	2.7719	2.9943	239.08
600	40.613	1577.2	5.9982	2.8039	3.0187	243.06
610	39.61	1607.5	6.0483	2.8357	3.0437	246.88
620	38.669	1638	6.098	2.8671	3.0692	250.57
630	37.784	1668.9	6.1473	2.8981	3.0949	254.14
640	36.95	1699.9	6.1962	2.9289	3.1208	257.6
650	36.161	1731.3	6.2448	2.9592	3.1468	260.95
660	35.413	1762.9	6.293	2.9892	3.1728	264.21
670	34.703	1794.7	6.3409	3.0188	3.1988	267.39
680	34.027	1826.9	6.3885	3.048	3.2247	270.48
690	33.383	1859.2	6.4358	3.0768	3.2505	273.5
700	32.768	1891.9	6.4827	3.1053	3.2761	276.45
p=3.0 МПа						
150	757.7	237.24	2.2333	1.4627	1.9586	1486.6
160	747.68	256.86	2.3599	1.5332	1.9657	1468.3
170	738.52	276.55	2.4793	1.5571	1.9735	1460.7
180	729.76	296.32	2.5923	1.5594	1.9787	1450.9
190	721.18	316.13	2.6994	1.5548	1.9844	1435.4
200	712.66	336.02	2.8014	1.5509	1.9934	1413.5

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
210	704.16	356.01	2.899	1.5513	2.0072	1385.9
220	695.62	376.18	2.9928	1.5571	2.0261	1353.7
230	687.03	396.55	3.0833	1.5684	2.05	1317.9
240	678.37	417.19	3.1712	1.5845	2.0784	1279.2
250	669.6	438.13	3.2566	1.6047	2.1107	1238.4
260	660.71	459.42	3.3401	1.6285	2.1465	1196
270	651.69	481.07	3.4218	1.6551	2.1851	1152.5
280	642.5	503.13	3.502	1.6842	2.2262	1108.2
290	633.13	525.6	3.5809	1.7154	2.2695	1063.4
300	623.56	548.52	3.6586	1.7482	2.3148	1018.1
310	613.76	571.91	3.7353	1.7826	2.3619	972.66
320	603.69	595.77	3.811	1.8183	2.4107	927.12
330	593.34	620.13	3.886	1.855	2.4613	881.56
340	582.66	645	3.9602	1.8927	2.5137	836.04
350	571.62	670.41	4.0339	1.9312	2.5682	790.56
360	560.15	696.37	4.107	1.9704	2.6252	745.08
370	548.19	722.92	4.1798	2.0103	2.6853	699.52
380	535.65	750.09	4.2522	2.0506	2.7494	653.69
390	522.41	777.93	4.3245	2.0916	2.8191	607.35
400	508.3	806.5	4.3968	2.133	2.8964	560.14
410	493.09	835.89	4.4694	2.1753	2.9852	511.55
420	476.41	866.26	4.5426	2.2185	3.0919	460.84
430	457.63	897.83	4.6169	2.2635	3.2296	406.83
440	435.6	931.05	4.6932	2.3117	3.429	347.52
450	407.58	966.93	4.7739	2.367	3.7924	278.56
460	362.44	1009.5	4.8674	2.4465	5.1607	184.34
470	101.14	1169.3	5.2126	2.4779	4.1254	136.99
480	88.328	1206.4	5.2907	2.4756	3.44	154.77
490	80.484	1239.4	5.3588	2.4889	3.1949	167.68
500	74.813	1270.7	5.422	2.5094	3.0772	178.1
510	70.375	1301.2	5.4823	2.5342	3.0154	186.97
520	66.735	1331.1	5.5405	2.5617	2.9833	194.76
530	63.656	1360.9	5.5972	2.5908	2.969	201.75
540	60.991	1390.6	5.6526	2.621	2.9661	208.13
550	58.646	1420.2	5.7071	2.652	2.971	214.01
560	56.554	1450	5.7607	2.6833	2.9813	219.48
570	54.67	1479.9	5.8136	2.7149	2.9954	224.62
580	52.957	1509.9	5.8658	2.7465	3.0124	229.47
590	51.389	1540.1	5.9175	2.7781	3.0316	234.07
600	49.945	1570.5	5.9686	2.8096	3.0523	238.45
610	48.607	1601.2	6.0193	2.8408	3.0742	242.64
620	47.362	1632	6.0694	2.8718	3.0971	246.66
630	46.2	1663.1	6.1192	2.9026	3.1205	250.53
640	45.11	1694.4	6.1685	2.933	3.1445	254.26

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
650	44.086	1726	6.2174	2.9631	3.1687	257.87
660	43.12	1757.8	6.266	2.9929	3.1932	261.37
670	42.206	1789.9	6.3142	3.0223	3.2179	264.76
680	41.341	1822.2	6.3621	3.0513	3.2426	268.05
690	40.518	1854.7	6.4096	3.08	3.2673	271.26
700	39.736	1887.5	6.4568	3.1083	3.2919	274.38
p=4.0 МПа						
150	758.3	238.28	2.2314	1.4621	1.9625	1494.1
160	748.27	257.92	2.3582	1.5319	1.9674	1475
170	739.11	277.63	2.4777	1.5556	1.974	1467.1
180	730.36	297.39	2.5906	1.558	1.9786	1457.2
190	721.79	317.21	2.6978	1.5535	1.9839	1441.6
200	713.3	337.08	2.7997	1.5498	1.9927	1419.9
210	704.83	357.07	2.8973	1.5504	2.0062	1392.5
220	696.33	377.23	2.991	1.5564	2.0249	1360.6
230	687.78	397.59	3.0815	1.5677	2.0486	1325
240	679.16	418.21	3.1693	1.5839	2.0767	1286.7
250	670.45	439.14	3.2547	1.6041	2.1088	1246.3
260	661.63	460.4	3.3381	1.6279	2.1442	1204.4
270	652.68	482.03	3.4197	1.6545	2.1825	1161.4
280	643.57	504.06	3.4998	1.6835	2.2232	1117.6
290	634.29	526.5	3.5786	1.7146	2.2661	1073.2
300	624.82	549.38	3.6561	1.7474	2.3108	1028.6
310	615.14	572.72	3.7327	1.7817	2.3572	983.72
320	605.22	596.54	3.8083	1.8173	2.4053	938.84
330	595.02	620.83	3.883	1.8539	2.4549	894.02
340	584.53	645.64	3.9571	1.8915	2.5062	849.31
350	573.7	670.97	4.0305	1.9298	2.5593	804.73
360	562.5	696.83	4.1033	1.9688	2.6145	760.29
370	550.85	723.26	4.1758	2.0084	2.6722	715.9
380	538.69	750.29	4.2478	2.0484	2.7331	671.47
390	525.94	777.94	4.3197	2.0889	2.7982	626.82
400	512.45	806.27	4.3914	2.1298	2.869	581.72
410	498.07	835.35	4.4632	2.1712	2.9478	535.83
420	482.54	865.26	4.5353	2.2133	3.0381	488.72
430	465.49	896.17	4.608	2.2563	3.1463	439.81
440	446.33	928.29	4.6818	2.301	3.2839	388.26
450	423.96	962.02	4.7576	2.3485	3.4764	332.83
460	396.17	998.21	4.8371	2.4019	3.7939	271.39
470	356.62	1039.2	4.9253	2.4697	4.5439	199.61
480	264.93	1101.1	5.0555	2.5922	10.082	115.66
490	153.42	1186.5	5.2317	2.591	5.5034	128.91
500	126.36	1232.4	5.3244	2.5782	4.0248	148.31
510	112.21	1270	5.3989	2.585	3.5651	162.65

1	2	3	4	5	6	7
520	102.73	1304.4	5.4659	2.6012	3.3532	174.2
530	95.664	1337.4	5.5286	2.6226	3.2397	183.98
540	90.052	1369.4	5.5885	2.6473	3.1753	192.53
550	85.417	1401	5.6464	2.6742	3.1389	200.16
560	81.481	1432.2	5.7027	2.7024	3.12	207.09
570	78.069	1463.4	5.7579	2.7315	3.1126	213.45
580	75.064	1494.5	5.812	2.7612	3.1132	219.35
590	72.385	1525.7	5.8653	2.7912	3.1195	224.87
600	69.97	1556.9	5.9178	2.8213	3.1299	230.06
610	67.777	1588.3	5.9696	2.8515	3.1435	234.98
620	65.77	1619.8	6.0209	2.8816	3.1593	239.64
630	63.923	1651.5	6.0716	2.9116	3.177	244.1
640	62.213	1683.3	6.1217	2.9414	3.196	248.36
650	60.624	1715.4	6.1714	2.9709	3.2161	252.45
660	59.14	1747.7	6.2207	3.0002	3.2369	256.39
670	57.75	1780.1	6.2695	3.0292	3.2583	260.19
680	56.444	1812.8	6.318	3.0579	3.2802	263.86
690	55.214	1845.7	6.366	3.0862	3.3024	267.42
700	54.051	1878.9	6.4137	3.1142	3.3249	270.87
p=5.0 МПа						
150	758.9	239.32	2.2296	1.4615	1.9665	1501.5
160	748.86	258.99	2.3565	1.5305	1.9691	1481.7
170	739.7	278.71	2.4761	1.5541	1.9746	1473.4
180	730.96	298.47	2.589	1.5566	1.9785	1463.4
190	722.41	318.28	2.6961	1.5524	1.9835	1447.8
200	713.94	338.15	2.7981	1.5488	1.9919	1426.2
210	705.49	358.13	2.8955	1.5496	2.0052	1399.1
220	697.03	378.28	2.9892	1.5556	2.0237	1367.4
230	688.52	398.63	3.0797	1.5671	2.0472	1332.1
240	679.95	419.23	3.1674	1.5833	2.0751	1294.1
250	671.29	440.14	3.2527	1.6036	2.107	1254.1
260	662.53	461.38	3.3361	1.6273	2.1421	1212.6
270	653.65	482.99	3.4176	1.6539	2.18	1170
280	644.62	504.99	3.4976	1.6829	2.2203	1126.7
290	635.43	527.41	3.5763	1.714	2.2628	1082.9
300	626.06	550.25	3.6537	1.7467	2.307	1038.7
310	616.49	573.55	3.7301	1.7809	2.3528	994.5
320	606.7	597.32	3.8055	1.8164	2.4002	950.25
330	596.66	621.56	3.8801	1.8529	2.449	906.11
340	586.34	646.3	3.954	1.8904	2.4993	862.14
350	575.72	671.55	4.0272	1.9286	2.5511	818.4
360	564.75	697.33	4.0998	1.9674	2.6047	774.88
370	553.38	723.65	4.1719	2.0068	2.6603	731.55
380	541.57	750.54	4.2436	2.0465	2.7186	688.34

1	2	3	4	5	6	7
390	529.24	778.03	4.315	2.0867	2.7801	645.14
400	516.29	806.16	4.3862	2.1272	2.8458	601.78
410	502.59	834.97	4.4574	2.168	2.9173	558.06
420	487.97	864.53	4.5286	2.2092	2.9967	513.71
430	472.2	894.94	4.6002	2.251	3.0871	468.43
440	454.91	926.33	4.6723	2.2937	3.1938	421.85
450	435.58	958.9	4.7455	2.3377	3.3258	373.55
460	413.33	992.98	4.8204	2.3842	3.4996	323.14
470	386.64	1029.1	4.8982	2.4349	3.7507	270.33
480	352.54	1068.5	4.9811	2.493	4.1689	215.62
490	304.59	1113.9	5.0746	2.5632	5.015	163.19
500	236.48	1170.2	5.1883	2.6285	6.0299	133.74
510	182.97	1225.7	5.2982	2.6428	4.9234	141.17
520	155.12	1270.3	5.3849	2.6478	4.1045	155.16
530	138.27	1309.2	5.4589	2.6596	3.7123	167.63
540	126.56	1345.1	5.5262	2.6773	3.5033	178.38
550	117.71	1379.5	5.5892	2.6989	3.3823	187.79
560	110.67	1412.9	5.6495	2.7232	3.3093	196.17
570	104.84	1445.8	5.7076	2.7493	3.2651	203.74
580	99.907	1478.3	5.7642	2.7767	3.2394	210.67
590	95.635	1510.6	5.8194	2.8048	3.2262	217.06
600	91.88	1542.9	5.8736	2.8335	3.2217	223.02
610	88.538	1575.1	5.9268	2.8625	3.2236	228.6
620	85.533	1607.3	5.9793	2.8916	3.2301	233.86
630	82.809	1639.7	6.0311	2.9207	3.2401	238.85
640	80.32	1672.2	6.0822	2.9498	3.2528	243.59
650	78.033	1704.8	6.1327	2.9787	3.2676	248.12
660	75.92	1737.5	6.1827	3.0075	3.2839	252.45
670	73.959	1770.4	6.2323	3.036	3.3015	256.62
680	72.131	1803.5	6.2813	3.0643	3.3201	260.63
690	70.421	1836.8	6.3299	3.0923	3.3394	264.49
700	68.815	1870.3	6.3781	3.1199	3.3592	268.23
p=10.0 МПа						
150	761.83	244.49	2.2202	1.4595	1.9863	1538
160	751.73	264.3	2.3481	1.5245	1.978	1514.5
170	742.57	284.08	2.468	1.5473	1.9777	1504.3
180	733.87	303.86	2.581	1.5502	1.9785	1493.5
190	725.4	323.66	2.6881	1.5468	1.9816	1478
200	717.03	343.5	2.7899	1.5442	1.9888	1456.8
210	708.72	363.45	2.8872	1.5457	2.001	1430.5
220	700.42	383.54	2.9806	1.5524	2.0185	1400
230	692.11	403.83	3.0709	1.5642	2.041	1366.1
240	683.75	424.38	3.1583	1.5807	2.0679	1329.7
250	675.34	445.2	3.2433	1.6011	2.0985	1291.4

1	2	3	4	5	6	7
260	666.86	466.36	3.3262	1.6249	2.1323	1251.7
270	658.29	487.86	3.4074	1.6515	2.1688	1211.1
280	649.61	509.74	3.487	1.6804	2.2075	1169.8
290	640.82	532.02	3.5651	1.7113	2.2481	1128.2
300	631.89	554.71	3.6421	1.7439	2.2902	1086.4
310	622.82	577.82	3.7179	1.7779	2.3337	1044.7
320	613.6	601.38	3.7926	1.8132	2.3783	1003.1
330	604.2	625.39	3.8665	1.8494	2.4239	961.77
340	594.61	649.86	3.9396	1.8865	2.4704	920.85
350	584.83	674.8	4.0119	1.9243	2.5177	880.39
360	574.82	700.22	4.0835	1.9627	2.5658	840.47
370	564.58	726.12	4.1544	2.0015	2.6147	801.1
380	554.07	752.52	4.2248	2.0406	2.6645	762.32
390	543.29	779.41	4.2947	2.08	2.7153	724.13
400	532.18	806.83	4.3641	2.1194	2.7672	686.51
410	520.73	834.76	4.4331	2.159	2.8205	649.46
420	508.89	863.24	4.5017	2.1985	2.8752	612.96
430	496.61	892.27	4.57	2.238	2.9316	577.01
440	483.85	921.88	4.6381	2.2774	2.99	541.66
450	470.54	952.08	4.7059	2.3168	3.0502	506.99
460	456.64	982.89	4.7736	2.3561	3.1123	473.12
470	442.08	1014.3	4.8412	2.3954	3.176	440.3
480	426.83	1046.4	4.9088	2.4348	3.2405	408.81
490	410.87	1079.1	4.9763	2.4742	3.305	379.03
500	394.22	1112.5	5.0437	2.5136	3.3683	351.35
510	376.93	1146.5	5.111	2.553	3.4296	326.1
520	359.13	1181.1	5.1782	2.5922	3.4888	303.48
530	340.93	1216.3	5.2452	2.631	3.5463	283.55
540	322.49	1252	5.312	2.6691	3.6023	266.3
550	304.01	1288.3	5.3786	2.7062	3.6547	251.77
560	285.74	1325.1	5.4448	2.7419	3.6981	240.16
570	268.03	1362.2	5.5105	2.7759	3.7249	231.76
580	251.31	1399.5	5.5754	2.8083	3.7295	226.71
590	235.94	1436.7	5.639	2.8391	3.713	224.76
600	222.13	1473.7	5.7012	2.8687	3.6826	225.35
610	209.9	1510.4	5.7618	2.8975	3.6473	227.76
620	199.15	1546.7	5.8208	2.9257	3.6135	231.32
630	189.68	1582.7	5.8784	2.9536	3.5848	235.57
640	181.33	1618.4	5.9347	2.9813	3.5624	240.16
650	173.9	1653.9	5.9898	3.0088	3.5463	244.9
660	167.26	1689.3	6.0438	3.0361	3.5357	249.67
670	161.28	1724.7	6.0969	3.0633	3.5301	254.37
680	155.87	1759.9	6.1492	3.0904	3.5285	258.99
690	150.93	1795.2	6.2007	3.1172	3.5303	263.49

1	2	3	4	5	6	7
700	146.41	1830.6	6.2516	3.1438	3.535	267.86
p=20.0 МПа						
150	767.39	254.78	2.2016	1.4584	2.0269	1607.6
160	757.21	274.87	2.3313	1.5155	1.9974	1577.1
170	748.04	294.78	2.452	1.5362	1.9859	1563
180	739.4	314.61	2.5653	1.5396	1.9804	1550.5
190	731.06	334.41	2.6724	1.5377	1.9797	1534.5
200	722.88	354.22	2.774	1.5367	1.9843	1513.8
210	714.8	374.11	2.8711	1.5396	1.9946	1488.8
220	706.78	394.13	2.9642	1.5474	2.0104	1459.9
230	698.78	414.33	3.054	1.5601	2.0311	1428.1
240	690.79	434.77	3.141	1.5771	2.0563	1394.1
250	682.79	455.47	3.2255	1.598	2.0851	1358.4
260	674.76	476.48	3.3079	1.6221	2.1169	1321.6
270	666.69	497.82	3.3884	1.6488	2.1513	1283.9
280	658.57	519.51	3.4673	1.6779	2.1877	1245.8
290	650.4	541.58	3.5447	1.7089	2.2258	1207.5
300	642.16	564.03	3.6208	1.7416	2.2652	1169.1
310	633.85	586.89	3.6958	1.7756	2.3057	1130.9
320	625.45	610.15	3.7696	1.8109	2.347	1093
330	616.98	633.83	3.8425	1.8471	2.3889	1055.6
340	608.42	657.93	3.9144	1.8842	2.4313	1018.6
350	599.77	682.46	3.9855	1.922	2.474	982.37
360	591.02	707.41	4.0558	1.9603	2.5169	946.82
370	582.18	732.79	4.1254	1.9991	2.5599	912.05
380	573.23	758.61	4.1942	2.0381	2.6029	878.12
390	564.19	784.85	4.2624	2.0773	2.6458	845.07
400	555.04	811.52	4.3299	2.1166	2.6886	812.92
410	545.78	838.62	4.3968	2.1559	2.7313	781.71
420	536.42	866.15	4.4631	2.1952	2.7737	751.44
430	526.95	894.1	4.5289	2.2343	2.8158	722.14
440	517.36	922.47	4.5941	2.2732	2.8576	693.84
450	507.68	951.25	4.6588	2.312	2.899	666.56
460	497.88	980.44	4.7229	2.3504	2.9398	640.34
470	487.99	1010	4.7866	2.3886	2.9799	615.21
480	478.01	1040	4.8498	2.4265	3.0192	591.24
490	467.96	1070.4	4.9124	2.4641	3.0576	568.48
500	457.84	1101.2	4.9746	2.5013	3.095	546.97
510	447.67	1132.3	5.0362	2.5382	3.1311	526.78
520	437.49	1163.8	5.0973	2.5748	3.1659	507.93
530	427.32	1195.6	5.158	2.6111	3.1993	490.43
540	417.18	1227.8	5.2181	2.6469	3.2315	474.29
550	407.1	1260.3	5.2776	2.6824	3.2624	459.47
560	397.12	1293	5.3367	2.7176	3.2923	445.92

1	2	3	4	5	6	7
570	387.25	1326.1	5.3952	2.7523	3.3212	433.55
580	377.52	1359.5	5.4532	2.7866	3.3493	422.3
590	367.95	1393.1	5.5107	2.8204	3.3768	412.07
600	358.55	1427	5.5677	2.8538	3.4037	402.78
610	349.34	1461.2	5.6242	2.8867	3.4301	394.35
620	340.33	1495.6	5.6802	2.9191	3.4559	386.72
630	331.52	1530.3	5.7357	2.951	3.4811	379.85
640	322.94	1565.2	5.7907	2.9824	3.5056	373.69
650	314.58	1600.4	5.8452	3.0132	3.5294	368.23
660	306.46	1635.8	5.8993	3.0434	3.5521	363.43
670	298.59	1671.4	5.9529	3.0732	3.5739	359.3
680	290.97	1707.3	6.006	3.1024	3.5945	355.79
690	283.61	1743.3	6.0586	3.1311	3.6141	352.91
700	276.52	1779.5	6.1107	3.1592	3.6325	350.62
p=40.0 МПа						
150	777.52	275.11	2.1646	1.4665	2.1094	1735.2
160	767.21	295.82	2.2982	1.5074	2.0411	1692
170	758.03	316.05	2.4209	1.5228	2.0079	1670.2
180	749.49	336.03	2.5351	1.526	1.99	1653.4
190	741.35	355.88	2.6424	1.5258	1.9817	1635.6
200	733.45	375.69	2.744	1.5271	1.9814	1614.8
210	725.73	395.53	2.8408	1.5323	1.988	1590.8
220	718.13	415.47	2.9336	1.542	2.0007	1563.9
230	710.62	435.56	3.0229	1.5563	2.0188	1534.6
240	703.17	455.86	3.1093	1.5747	2.0413	1503.6
250	695.76	476.4	3.1931	1.5966	2.0676	1471.3
260	688.39	497.22	3.2748	1.6216	2.0969	1438
270	681.04	518.35	3.3545	1.6491	2.1286	1404.2
280	673.7	539.8	3.4325	1.6789	2.1624	1370.1
290	666.37	561.6	3.509	1.7106	2.1978	1335.9
300	659.04	583.76	3.5842	1.744	2.2344	1301.8
310	651.71	606.29	3.658	1.7787	2.272	1267.9
320	644.38	629.2	3.7308	1.8147	2.3103	1234.4
330	637.05	652.5	3.8025	1.8516	2.3492	1201.4
340	629.72	676.19	3.8732	1.8894	2.3884	1169
350	622.38	700.27	3.943	1.9279	2.4277	1137.3
360	615.04	724.74	4.0119	1.9669	2.4671	1106.4
370	607.7	749.61	4.08	2.0063	2.5064	1076.3
380	600.37	774.87	4.1474	2.046	2.5456	1047
390	593.03	800.52	4.214	2.0859	2.5845	1018.7
400	585.71	826.56	4.28	2.1259	2.623	991.3
410	578.4	852.98	4.3452	2.1659	2.6612	964.83
420	571.11	879.78	4.4098	2.2058	2.699	939.31
430	563.83	906.96	4.4737	2.2455	2.7362	914.75

1	2	3	4	5	6	7
440	556.57	934.51	4.5371	2.2851	2.773	891.14
450	549.34	962.42	4.5998	2.3244	2.8093	868.48
460	542.14	990.69	4.6619	2.3635	2.845	846.75
470	534.97	1019.3	4.7235	2.4022	2.8801	825.96
480	527.83	1048.3	4.7845	2.4406	2.9147	806.07
490	520.74	1077.6	4.8449	2.4785	2.9487	787.1
500	513.7	1107.3	4.9048	2.5161	2.9821	769
510	506.7	1137.2	4.9642	2.5533	3.0149	751.79
520	499.76	1167.6	5.0231	2.5901	3.0472	735.43
530	492.88	1198.2	5.0814	2.6264	3.0788	719.91
540	486.07	1229.1	5.1393	2.6622	3.1099	705.21
550	479.32	1260.4	5.1966	2.6977	3.1404	691.31
560	472.64	1291.9	5.2535	2.7326	3.1703	678.19
570	466.05	1323.8	5.3098	2.7671	3.1997	665.83
580	459.53	1355.9	5.3657	2.8012	3.2286	654.2
590	453.1	1388.4	5.4212	2.8348	3.257	643.26
600	446.76	1421.1	5.4761	2.8679	3.2849	632.99
610	440.51	1454.1	5.5307	2.9005	3.3124	623.37
620	434.35	1487.3	5.5847	2.9327	3.3394	614.34
630	428.29	1520.8	5.6384	2.9644	3.3659	605.9
640	422.32	1554.6	5.6916	2.9957	3.3921	597.99
650	416.46	1588.7	5.7444	3.0265	3.4179	590.59
660	410.69	1623	5.7968	3.0568	3.4433	583.66
670	405.03	1657.5	5.8487	3.0866	3.4684	577.18
680	399.46	1692.4	5.9003	3.116	3.4931	571.12
690	394	1727.4	5.9515	3.145	3.5174	565.45
700	388.63	1762.7	6.0023	3.1734	3.5415	560.15
p=60.0 МПа						
160	776.21	316.54	2.2658	1.5095	2.0888	1795.6
170	767.03	337.14	2.3907	1.5185	2.0352	1766.5
180	758.57	357.33	2.5061	1.5201	2.0051	1745.1
190	750.58	377.29	2.614	1.5205	1.9894	1724.8
200	742.9	397.15	2.7159	1.5232	1.9841	1702.9
210	735.44	417	2.8127	1.53	1.9872	1678.9
220	728.15	436.91	2.9054	1.5412	1.9972	1652.7
230	720.99	456.96	2.9945	1.5568	2.013	1624.8
240	713.93	477.19	3.0806	1.5763	2.0335	1595.4
250	706.95	497.64	3.1641	1.5993	2.0579	1565.1
260	700.05	518.36	3.2453	1.6252	2.0855	1534.1
270	693.19	539.36	3.3246	1.6536	2.1157	1502.6
280	686.39	560.68	3.40	1.68	2.15	1470.90
290	679.63	582.33	3.48	1.72	2.18	1439.30
300	672.91	604.32	3.55	1.75	2.22	1407.80
310	666.22	626.67	3.63	1.79	2.25	1376.60

1	2	3	4	5	6	7
320	659.57	649.39	3.70	1.82	2.29	1345.80
330	652.94	672.48	3.77	1.86	2.33	1315.50
340	646.36	695.95	3.84	1.90	2.37	1285.80
350	639.80	719.80	3.91	1.94	2.40	1256.80
360	633.28	744.04	3.98	1.98	2.44	1228.60
370	626.79	768.66	4.04	2.02	2.48	1201.10
380	620.34	793.66	4.11	2.06	2.52	1174.50
390	613.93	819.04	4.18	2.10	2.56	1148.70
400	607.56	844.80	4.24	2.14	2.59	1123.80
410	601.23	870.94	4.31	2.18	2.63	1099.70
420	594.95	897.44	4.37	2.22	2.67	1076.60
430	588.71	924.32	4.43	2.26	2.71	1054.30
440	582.53	951.56	4.50	2.30	2.74	1032.90
450	576.39	979.15	4.56	2.34	2.78	1012.30
460	570.31	1007.10	4.62	2.38	2.81	992.60
470	564.28	1035.40	4.68	2.42	2.85	973.70
480	558.31	1064.00	4.74	2.46	2.88	955.60
490	552.40	1093.00	4.80	2.50	2.91	938.28
500	546.55	1122.30	4.86	2.53	2.95	921.72
510	540.76	1152.00	4.92	2.57	2.98	905.89
520	535.03	1182.00	4.98	2.61	3.01	890.77
530	529.36	1212.20	5.03	2.64	3.04	876.34
540	523.76	1242.80	5.09	2.68	3.08	862.57
550	518.23	1273.70	5.15	2.72	3.11	849.44
560	512.77	1305.00	5.20	2.75	3.14	836.93
570	507.37	1336.50	5.26	2.78	3.17	825.02
580	502.04	1368.30	5.32	2.82	3.20	813.67
590	496.78	1400.40	5.37	2.85	3.22	802.87
600	491.59	1432.80	5.42	2.89	3.25	792.60
610	486.47	1465.40	5.48	2.92	3.28	782.84
620	481.42	1498.40	5.53	2.95	3.31	773.55
630	476.44	1531.60	5.59	2.98	3.34	764.73
640	471.53	1565.10	5.64	3.01	3.36	756.35
650	466.69	1598.90	5.69	3.04	3.39	748.40
660	461.92	1632.90	5.74	3.07	3.42	740.84
670	457.22	1667.20	5.79	3.10	3.44	733.66
680	452.60	1701.70	5.85	3.13	3.47	726.85
690	448.04	1736.50	5.90	3.16	3.49	720.39
700	443.54	1771.50	5.95	3.19	3.52	714.25
p=80.0 МПа						
160	784.43	337.08	2.23	1.52	2.14	1889.90
170	775.27	358.07	2.36	1.52	2.07	1854.00
180	766.88	378.51	2.48	1.52	2.02	1828.10
190	759.00	398.62	2.59	1.52	2.00	1805.00

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
200	751.49	418.57	2.69	1.52	1.99	1781.70
210	744.24	438.47	2.79	1.53	1.99	1757.10
220	737.20	458.40	2.88	1.54	2.00	1731.00
230	730.31	478.44	2.97	1.56	2.01	1703.60
240	723.55	498.65	3.05	1.58	2.03	1675.30
250	716.90	519.06	3.14	1.60	2.05	1646.20
260	710.35	539.72	3.22	1.63	2.08	1616.50
270	703.87	560.66	3.2974	1.6605	2.1084	1586.7
280	697.47	581.9	3.3747	1.6919	2.1396	1556.7
290	691.13	603.46	3.4503	1.7251	2.1726	1526.8
300	684.85	625.35	3.5245	1.76	2.207	1497.1
310	678.62	647.6	3.5975	1.7962	2.2426	1467.8
320	672.45	670.21	3.6693	1.8337	2.279	1438.9
330	666.33	693.18	3.74	1.872	2.316	1410.6
340	660.26	716.53	3.8096	1.9112	2.3536	1382.8
350	654.24	740.26	3.8784	1.951	2.3914	1355.7
360	648.27	764.36	3.9463	1.9912	2.4293	1329.4
370	642.36	788.84	4.0134	2.0319	2.4673	1303.7
380	636.49	813.71	4.0797	2.0727	2.5052	1278.9
390	630.68	838.95	4.1453	2.1136	2.543	1254.9
400	624.92	864.56	4.2101	2.1546	2.5805	1231.7
410	619.22	890.56	4.2743	2.1954	2.6177	1209.3
420	613.58	916.92	4.3378	2.2361	2.6546	1187.7
430	607.99	943.64	4.4007	2.2766	2.691	1166.9
440	602.45	970.74	4.463	2.3168	2.7271	1147
450	596.98	998.19	4.5247	2.3567	2.7627	1127.8
460	591.57	1026	4.5858	2.3963	2.7978	1109.4
470	586.21	1054.1	4.6463	2.4354	2.8325	1091.7
480	580.92	1082.6	4.7063	2.4741	2.8667	1074.7
490	575.69	1111.5	4.7658	2.5123	2.9004	1058.5
500	570.52	1140.6	4.8247	2.5501	2.9337	1042.9
510	565.41	1170.1	4.8831	2.5874	2.9664	1028
520	560.36	1200	4.941	2.6242	2.9987	1013.8
530	555.38	1230.1	4.9985	2.6605	3.0305	1000.1
540	550.46	1260.6	5.0554	2.6963	3.0618	987.01
550	545.6	1291.4	5.1119	2.7316	3.0927	974.48
560	540.8	1322.4	5.1679	2.7663	3.1231	962.5
570	536.07	1353.8	5.2234	2.8006	3.1531	951.03
580	531.4	1385.5	5.2785	2.8344	3.1826	940.06
590	526.79	1417.5	5.3332	2.8676	3.2118	929.56
600	522.24	1449.7	5.3874	2.9004	3.2404	919.51
610	517.75	1482.3	5.4412	2.9327	3.2687	909.9
620	513.32	1515.1	5.4946	2.9644	3.2965	900.7
630	508.95	1548.2	5.5475	2.9957	3.324	891.9

1	2	3	4	5	6	7
640	504.64	1581.6	5.6001	3.0265	3.3511	883.48
650	500.39	1615.2	5.6522	3.0568	3.3777	875.42
660	496.2	1649.1	5.704	3.0867	3.404	867.71
670	492.06	1683.3	5.7554	3.1161	3.4299	860.33
680	487.98	1717.7	5.8064	3.145	3.4555	853.27
690	483.96	1752.4	5.857	3.1735	3.4807	846.51
700	479.99	1787.3	5.9073	3.2016	3.5055	840.04
p=100.0 МПа						
160	792.02	357.47	2.2028	1.5352	2.1896	1976.1
170	782.88	378.87	2.3326	1.5295	2.099	1934.4
180	774.55	399.57	2.451	1.5252	2.046	1904.2
190	766.78	419.86	2.5607	1.5241	2.0155	1878.2
200	759.41	439.93	2.6636	1.5275	2.0004	1853.2
210	752.33	459.91	2.7611	1.5356	1.9965	1827.6
220	745.49	479.89	2.854	1.5486	2.0013	1801.3
230	738.82	499.96	2.9432	1.5658	2.013	1774.2
240	732.31	520.17	3.0293	1.587	2.0302	1746.3
250	725.92	540.58	3.1126	1.6115	2.0518	1718
260	719.65	561.22	3.1935	1.6388	2.0769	1689.4
270	713.47	582.13	3.2724	1.6687	2.1049	1660.6
280	707.38	603.33	3.3495	1.7007	2.1353	1631.9
290	701.37	624.84	3.425	1.7346	2.1676	1603.3
300	695.43	646.68	3.499	1.7701	2.2015	1575
310	689.56	668.87	3.5718	1.8069	2.2365	1547.1
320	683.75	691.42	3.6434	1.8449	2.2725	1519.7
330	678.01	714.32	3.7139	1.8838	2.3092	1492.8
340	672.33	737.6	3.7834	1.9234	2.3465	1466.5
350	666.71	761.26	3.8519	1.9636	2.3841	1440.9
360	661.15	785.29	3.9196	2.0043	2.4219	1416
370	655.66	809.69	3.9865	2.0453	2.4598	1391.8
380	650.22	834.48	4.0526	2.0865	2.4976	1368.3
390	644.84	859.65	4.1179	2.1277	2.5354	1345.6
400	639.52	885.19	4.1826	2.1689	2.5729	1323.7
410	634.26	911.1	4.2466	2.2099	2.6101	1302.6
420	629.06	937.39	4.3099	2.2508	2.6471	1282.2
430	623.93	964.04	4.3727	2.2914	2.6836	1262.6
440	618.85	991.06	4.4348	2.3317	2.7198	1243.7
450	613.83	1018.4	4.4963	2.3717	2.7555	1225.6
460	608.88	1046.2	4.5572	2.4112	2.7908	1208.1
470	603.98	1074.3	4.6176	2.4504	2.8256	1191.4
480	599.15	1102.7	4.6775	2.489	2.86	1175.3
490	594.37	1131.4	4.7368	2.5272	2.8939	1159.9
500	589.66	1160.6	4.7956	2.5649	2.9272	1145.1
510	585.01	1190	4.8539	2.6021	2.9602	1130.9

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
520	580.42	1219.8	4.9117	2.6388	2.9926	1117.2
530	575.88	1249.8	4.969	2.675	3.0246	1104.2
540	571.41	1280.2	5.0258	2.7107	3.0561	1091.6
550	566.99	1311	5.0822	2.7458	3.0871	1079.6
560	562.63	1342	5.1381	2.7804	3.1177	1068.1
570	558.33	1373.3	5.1935	2.8145	3.1478	1057
580	554.09	1404.9	5.2485	2.8481	3.1775	1046.4
590	549.9	1436.9	5.3031	2.8812	3.2067	1036.2
600	545.77	1469.1	5.3572	2.9138	3.2355	1026.4
610	541.7	1501.6	5.411	2.9458	3.2639	1017
620	537.68	1534.4	5.4643	2.9774	3.2919	1008
630	533.71	1567.4	5.5172	3.0085	3.3195	999.31
640	529.79	1600.7	5.5696	3.0391	3.3467	990.99
650	525.93	1634.3	5.6217	3.0692	3.3735	982.99
660	522.12	1668.2	5.6734	3.0989	3.3999	975.3
670	518.36	1702.3	5.7248	3.1281	3.4259	967.92
680	514.64	1736.7	5.7757	3.1569	3.4516	960.81
690	510.98	1771.4	5.8263	3.1852	3.4769	953.98
700	507.37	1806.3	5.8765	3.213	3.5018	947.41

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

T	P_s	ρ'	ρ''	h'	h''	s'	s''	C_p'	C_p''	w'	w''	r
K	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
150	2.8068*10^{-7}	755.86	1.62E-05	234.12	706.42	2.2389	5.3876	1.947	1.1214	1463.9	138.8	472.3
155	6.7508*10^{-7}	750.72	3.78E-05	243.87	712.08	2.3029	5.3236	1.9535	1.1412	1453.2	140.96	468.21
160	1.5261*10^{-6}	745.87	8.28E-05	253.65	717.83	2.365	5.2661	1.9608	1.1602	1447.8	143.08	464.18
165	0.000003262	741.23	0.000172	263.47	723.68	2.4254	5.2145	1.9672	1.1785	1444.5	145.17	460.2
170	6.6272E-06	736.72	0.000338	273.32	729.62	2.4842	5.1683	1.9721	1.1963	1441.3	147.24	456.29
175	0.000012857	732.29	0.000638	283.19	735.64	2.5415	5.1269	1.9759	1.2136	1437.3	149.27	452.45
180	0.000023915	727.93	0.001153	293.08	741.75	2.5972	5.0898	1.9792	1.2306	1431.9	151.27	448.67
185	0.000042809	723.6	0.002008	302.99	747.94	2.6514	5.0566	1.9824	1.2473	1424.9	153.25	444.95
190	0.000073982	719.3	0.00338	312.91	754.21	2.7043	5.027	1.9861	1.2639	1416.2	155.2	441.3
195	0.0001238	715	0.005511	322.85	760.56	2.756	5.0007	1.9905	1.2804	1405.9	157.11	437.72
200	0.0002011	710.71	0.008729	332.81	766.99	2.8065	4.9774	1.9959	1.297	1393.9	159	434.18
205	0.00031788	706.41	0.013464	342.81	773.5	2.8558	4.9567	2.0025	1.3136	1380.5	160.85	430.69
210	0.00048997	702.11	0.020263	352.84	780.08	2.9042	4.9386	2.0103	1.3305	1365.7	162.67	427.24
215	0.00073782	697.79	0.029814	362.91	786.74	2.9516	4.9229	2.0195	1.3475	1349.7	164.46	423.83
220	0.0010873	693.46	0.042956	373.04	793.47	2.9981	4.9092	2.0299	1.3649	1332.6	166.21	420.44
225	0.0015706	689.11	0.060702	383.22	800.28	3.0439	4.8975	2.0416	1.3827	1314.6	167.92	417.06
230	0.0022269	684.74	0.084251	393.46	807.15	3.0889	4.8875	2.0545	1.4009	1295.7	169.59	413.7
235	0.0031033	680.34	0.115	403.76	814.1	3.1332	4.8793	2.0686	1.4196	1276.1	171.22	410.33
240	0.0042553	675.92	0.15455	414.15	821.12	3.1769	4.8726	2.0837	1.4388	1255.9	172.8	406.97
245	0.0057478	671.47	0.20473	424.61	828.2	3.22	4.8673	2.0998	1.4586	1235.1	174.33	403.59
250	0.0076555	666.98	0.26759	435.15	835.35	3.2626	4.8634	2.1169	1.4789	1213.8	175.81	400.2
255	0.010063	662.46	0.34539	445.78	842.56	3.3047	4.8607	2.1349	1.4999	1192.1	177.24	396.78
260	0.013066	657.9	0.44064	456.5	849.84	3.3463	4.8592	2.1537	1.5215	1170.1	178.6	393.34
265	0.016771	653.3	0.55607	467.33	857.18	3.3875	4.8587	2.1732	1.5437	1147.8	179.9	389.86
270	0.021295	648.65	0.69462	478.25	864.58	3.4283	4.8592	2.1934	1.5665	1125.2	181.13	386.34
275	0.026766	643.96	0.8595	489.27	872.05	3.4688	4.8607	2.2143	1.59	1102.3	182.29	382.78
280	0.033322	639.22	1.0541	500.4	879.56	3.5088	4.863	2.2359	1.6142	1079.3	183.38	379.16

Продолжение табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
285	0.041115	634.43	1.2821	511.64	887.14	3.5486	4.8661	2.258	1.6389	1056.2	184.38	375.5
290	0.050304	629.58	1.5473	523	894.77	3.588	4.87	2.2807	1.6643	1032.9	185.3	371.77
295	0.061058	624.67	1.8539	534.47	902.44	3.6272	4.8746	2.3039	1.6904	1009.5	186.13	367.98
300	0.073559	619.7	2.2062	546.06	910.17	3.6661	4.8798	2.3277	1.717	986.01	186.87	364.11
305	0.087996	614.66	2.6089	557.77	917.95	3.7047	4.8856	2.352	1.7443	962.47	187.51	360.18
310	0.10457	609.55	3.0667	569.6	925.76	3.7431	4.892	2.3768	1.7722	938.88	188.04	356.16
315	0.12348	604.37	3.585	581.56	933.62	3.7813	4.8989	2.4022	1.8008	915.27	188.47	352.06
320	0.14495	599.11	4.1691	593.66	941.51	3.8193	4.9063	2.428	1.83	891.63	188.78	347.86
325	0.16919	593.76	4.825	605.88	949.44	3.857	4.9142	2.4545	1.8599	867.99	188.98	343.56
330	0.19645	588.33	5.5589	618.24	957.4	3.8946	4.9224	2.4815	1.8905	844.36	189.05	339.16
335	0.22695	582.81	6.3774	630.73	965.38	3.9321	4.931	2.509	1.9219	820.73	188.99	334.65
340	0.26094	577.19	7.2878	643.37	973.38	3.9693	4.9399	2.5373	1.9541	797.12	188.8	330.01
345	0.29868	571.47	8.2979	656.15	981.39	4.0064	4.9492	2.5662	1.9872	773.52	188.46	325.25
350	0.34041	565.63	9.416	669.07	989.41	4.0434	4.9587	2.5959	2.0212	749.94	187.98	320.34
355	0.3864	559.68	10.651	682.15	997.43	4.0803	4.9684	2.6265	2.0564	726.38	187.34	315.29
360	0.43693	553.6	12.014	695.38	1005.4	4.117	4.9783	2.658	2.0927	702.81	186.54	310.07
365	0.49228	547.39	13.516	708.76	1013.4	4.1537	4.9884	2.6906	2.1306	679.23	185.58	304.69
370	0.55271	541.03	15.169	722.31	1021.4	4.1903	4.9987	2.7245	2.17	655.63	184.43	299.11
375	0.61853	534.51	16.986	736.03	1029.4	4.2268	5.009	2.7598	2.2114	631.98	183.1	293.33
380	0.69004	527.82	18.985	749.92	1037.3	4.2632	5.0193	2.7968	2.255	608.27	181.58	287.34
385	0.76755	520.94	21.183	764	1045.1	4.2996	5.0297	2.8358	2.3012	584.45	179.84	281.1
390	0.85137	513.85	23.6	778.26	1052.9	4.336	5.0401	2.8772	2.3507	560.5	177.89	274.6
395	0.94182	506.53	26.261	792.72	1060.5	4.3724	5.0504	2.9214	2.4041	536.37	175.7	267.81
400	1.0393	498.95	29.194	807.39	1068.1	4.4088	5.0605	2.969	2.4624	512.02	173.27	260.69
405	1.144	491.09	32.432	822.29	1075.5	4.4453	5.0705	3.0209	2.5267	487.4	170.57	253.22
410	1.2565	482.89	36.017	837.42	1082.8	4.4819	5.0803	3.078	2.5987	462.44	167.59	245.35
415	1.3771	474.31	39.997	852.81	1089.8	4.5185	5.0897	3.1419	2.6807	437.06	164.31	237.02

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
420	1.5061	465.29	44.435	868.48	1096.7	4.5554	5.0987	3.2144	2.7758	411.2	160.7	228.18
425	1.6441	455.76	49.409	884.46	1103.2	4.5925	5.1072	3.2986	2.8888	384.74	156.73	218.72
430	1.7915	445.59	55.022	900.79	1109.4	4.63	5.115	3.3985	3.027	357.59	152.37	208.56
435	1.9487	434.66	61.411	917.53	1115.1	4.6678	5.122	3.5212	3.2018	329.61	147.58	197.55
440	2.1164	422.77	68.771	934.74	1120.2	4.7063	5.1278	3.6778	3.4327	300.63	142.33	185.48
445	2.2952	409.62	77.387	952.53	1124.6	4.7455	5.1322	3.8894	3.7559	270.45	136.56	172.08
450	2.4857	394.75	87.709	971.06	1128	4.7859	5.1346	4.1987	4.2449	238.82	130.21	156.91
455	2.6887	377.35	100.53	990.64	1129.8	4.828	5.1339	4.7096	5.0777	205.4	123.2	139.19
460	2.9052	355.75	117.49	1011.9	1129.2	4.8731	5.1282	5.7575	6.8143	169.7	115.43	117.36
465	3.1368	325.10	143.35	1036.5	1123.5	4.9249	5.1119	9.3016	12.555	131.15	106.65	86.996
469	3.3349	272.12	192.34	1067.3	1103.9	4.9894	5.0675	69.936	94.273	98.875	97.669	36.654

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

2. 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.

3. Osborn A.G. Vapor-Pressure Relations for 15 Hydrocarbons / A.G. Osborn, D.R. Douslin // J. Chem. Eng. Data. – 1974. – V.19, No.2. – P.114 – 117.

4. Hossenlopp I.A. Vapor heat capacities and enthalpies of vaporization of five alkane hydrocarbons / I.A. Hossenlopp, D.W. Scott // J. Chem. Thermodyn. – 1981. – V.13, No.5. – P.415 – 421.

5. Kratzke H. Thermodynamic Properties of Saturated and Compressed Liquid n-Pentane / H. Kratzke, S. Muller, M. Bohn, R. Kohlen // J. Chem. Thermodyn. – 1985. – V.17. – P.283 – 294.

6. 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.

7. Ewing M. B. Vapour pressures of n-pentane determined by comparative ebulliometry / M.B. Ewing, J.C.S. Ochoa // J. Chem. Thermodynamics. – 2006. – V.38 – P. 289 – 295.

8. Carney B.R. Density of Liquefied Petroleum Gas Hydrocarbons, their Mixtures and three Natural Gasolines / B.R. Carney // Pet. Ref. – 1942. – V.21, No.9. – P.84 – 92.

9. 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. – V.52. – P.3546 – 3552.

10. Lainez A., Zollweg J.A., Streett W.B. Speed-of-sound measurements for liquid n-pentane and 2, 2-dimethylpropane under pressure // J. Chem. Thermodyn. – 1990. – V.22,No.10. – P.937 – 948.

11. Sage B.H. Phase Equilibria in Hydrocarbon Systems. Thermodynamic Properties of n-Pentane / B.H. Sage, W.N. Lacey // Ind. Eng. Chem. – 1942. – V.34, No.6. – P.730 – 737.

12. Харин В.Е. Калорические свойства н-пентана в жидкой и газовой фазах, включая критическую область: Дис. ... канд. физ-мат. наук: 01.04.14 – Теплофизика и молекулярная физика: В.Е. Харин, ГНИ: Грозный, 1987.– 249 с.

13. 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.

14. Verveiko V.N., Melnikov G.A., Melikhov Ya.F. Acoustic and PVT studies of benzene and toluene in the wide temperature and pressure ranges (up to 600 MPa) // Teplofizicheskiye svoystva veshchestv i materialov (Thermophysical Properties of Substances and Materials). – 1991. – V. 30. – P.5 – 16.
15. Ding Z.S., Alliez J., Boned C., Xans P. Automation of an ultrasound velocity measurement system in high-pressure liquids // Meas. Sci. Technol. – 1997. – V.8. – P.154 – 161.
16. Span R. Multiparameter Equation of State: An Accurate Source of Thermodynamic Property Data/ R.Span.- Berlin: Springer, 2000.- 367 p.
17. Файзуллин М.З. Термодинамическое подобие при фазовых переходах первого рода: автореф. дис. докт. физ-мат. Наук: 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника: М.З. Файзуллин, ин-т теплофиз. УО РАН: Екатеринбург, 2002. – 47 с.

18. Термодинамические свойства н-пентана: Обзор. информ / И.М. Абдулагатов, Д.И. Вихров, В.А. Мирская // Госстандарт СССР; ВНИЦ МВ; АН СССР; Дагестанский филиал; Ин-т проблем геотермии. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 56 с.
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.
20. Sun L., Ely J.E. 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.
21. Lemmon E. W. NIST Standard Reference Database 23: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, Version 8.0 / E.W. Lemmon, M.L. Huber, M.O. McLinden // National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Data Program, Gaithersburg, 2007.
22. 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.
23. Beattie J.A. The Vapour Pressure and Critical Constants of Normal Pentane / J.A. Beattie, S.W. Levine, D.R. Douslin // J. Am. Chem. Soc. – 1951. – V.73. – P.4431 – 4432.
24. Douslin D.R. Thermodynamics Research under Project 62 / D.R. Douslin // Proc. Div. Ref., Am. Petrol. Inst. – 1970. – V.50. – P.189 – 211.
25. Li I.P.C. Vapor-Liquid Equilibria in Systems n-Hexane-Benzene and n-pentane-Toluene / I.P.C. Li, Y.-W. Wong, S.-D. Chang, B.C.-Y. Lu // J. Chem. Eng. Data. – 1972. – V.17, No.4. – P.492 – 498.

26. Александров И.С. Термодинамические свойства н-алканов на линии насыщения. 1. 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.
27. Carney B.R. Density of Liquefied Petroleum Gas Hydrocarbons, their Mixtures and three Natural Gasolines / B.R. Carney // Pet. Ref. – 1942. – V.21, No.9. – P.84 – 92.
28. McClune C.R. Measurement of the Densities of Liquefied Hydrocarbons from 93 to 173 K / C.R. McClune // Cryogenics. – 1976. – V. 16, N. 5. – P. 289-295.
29. Orrit J.E. Density of liquefied natural gas components / J.E. Orrit, J.M. Laupretre // Adv. In Cryog. Eng. – 1978. – V.23. – P. 573 – 579.
30. Holcomb C.D. Density Measurements on Natural Gas Liquids / C.D. Holcomb, J.W. Magee, W.M. Haynes // Research Report RR-147, Gas Processors Association, 1995.
31. Амирханов Х.И. Изохорная теплоемкость и другие калорические свойства углеводородов метанового ряда / Х.И. Амирханов, Б.Г. Алибеков, Д.И. Вихров, В.А. Мирская – Махачкала: Даг. книж. изд-во, 1981. – 254 с.
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.
33. Beattie J.A. The compressibility of and an equation of state for gaseous normal pentane / J.A. Beattie, S.W. Levine, D.R. Douslin // J. Amer. Chem. Soc. – 1952. – V.74, No.10. – P.4778 – 4779.
34. Aftienjew J. M. High-Pressure Liquid-Vapour-Equilibria, Critical State and p(V,T,x) up to 503.15 and 4.560 MPa for n-Pentane + n-Perfluoropentane / J.M. Aftienjew, A. Zawisza // J. Chem. Thermodyn. – 1977. – V. 9. – P. 153-165.
35. Gehrig M. Values of p(V,T) for n-Pentane in the Range 5 to 250 MPa and 313 to 643 K / M. Gehrig, H. Lentz // J. Chem. Thermodyn. – 1979. – V. 11. – P. 291-300.
36. 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. A370. – P. 193-211.
37. Kiran E. High-Pressure Viscosity and Density of n-Alkanes / E. Kiran, Y.L. Sen // Int. J. Thermophys. – 1992. – V.13, N. 3. – P. 411-441.
38. Poehler H. Volumetric properties of sulfur hexafluoride + pentane and sulfur hexafluoride + toluene at high pressures / H. Poehler, E. Kiran // J. Chem. Eng. Data. – 1997. – V. 42. – P. 389-394.
39. McGlashan M.L. An apparatus for the measurement of the second virial coefficients of vapours; the second virial coefficients of some n-alkanes and of some mix-

tures of n-alkanes / M.L. McGlashan, D.J.B. Potter // Proc. R. Soc. London. – 1962. - Ser. A 267. – P.478-500.
40. Huff J.A. III Second Virial Coefficients of Mixtures of Nonpolar Molecules from Correlations on Pure Components / J.A. Huff, T.M. Reed // J. Chem. Eng. Data. – 1963. – V. 8, N. 3. – P. 306-311.
41. Hajjar F. Second Virial Coefficients of Eight Compounds in the Range 40° to 200° C / F. Hajjar, W.B. Kay, G.F. Leverett // J. Chem. Eng. Data. – 1969. – V. 14, N. 3. – P. 377-380.
42. Ewing M.B. Thermophysical Properties of Alkanes from Speeds of Sound Determined Using a Spherical Resonator 3. n-Pentane / M.B. Ewing, A.R.H. Goodwin, J.P.M. Trusler // J. Chem. Thermodyn. – 1989. – V. 21. – P. 867-877.
43. Xueqin A. Accurate Second Virial Coefficients of n-Alkanes," / A. Xueqin, P.J. McElroy, R. Malhotra, S. Weiguo, A.G. Williamson // J. Chem. Thermodyn. – 1990. – V. 22. – P. 487.
44. Messerly G. H. The heat capacity and entropy, heats of fussion and. vaporization and. vpor pressure of n-pentane / G.H. Messerly, R.M. Kennedy // J. Am. Chem. Soc. – 1940. – V.62. – P. 2988-2991.
45. Pitzer K. S. The heat capacity of gaseous paraffin hydrocarbons, including experimental values for n-pentane and. 2,2- dimethylbutane // J. Am. Chem. Soc. — 1941. — V.63. — P.2413 - 2418.
46. Osborne N. S. Measurements of heat capasity of a number of hydrocarbons / N.S. Osborne, D.C. Ginnings // J. Research NBS. – 1947. – V. 39, No.5. – P.453 - 477.
47. Kozicki W. Latent heat of vaporization of n-pentane / W. Kozicki, B.H. Sage // J. Chem. Eng. Data. – 1960. – V.5, No. 3. – P. 331 - 333.
48. Григорьев Б.А. Энтальпия и энтропия нормальных алканов / Б.А. Григорьев, А. А. Герасимов // Теплофиз. высок. темпер. – 1997. – Т.35, №4. – С. 538 - 546.
49. Kling R., Nicolini E., Tissot J. Application of ultransonics in the study of the elastic properties of hydrocarbons over a wide field of temperature and pressure // Rech. Aeronaut. – 1953. – V.31. – P.31 – 36.
50. Verveiko V.N., Melnikov G.A., Melikhov Ya.F. Acoustic and PVT studies of benzene and toluene in the wide temperature and pressure ranges (up to 600 MPa) // Teplofizicheskiye svoystva veshchestv i materialov (Thermophysical Properties of Substances and Materials). – 1991. – V. 30. – P.5 – 16.
51. Ding Z.S., Alliez J., Boned C., Xans P. Automation of an ultrasound velocity measurement system in high-pressure liquids // Meas. Sci. Technol. – 1997. – V.8. – P.154 – 161.

gost.e-ecolog.ru