

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА  
СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ  
(ГСССД)

УДК 547.216:536.7

**ТАБЛИЦЫ СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ**

Н-ДЕКАН. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (ПЛОТНОСТЬ, ТЕПЛОЕМ-  
КОСТЬ, ЭНТАЛЬПИЯ, ЭНТРОПИЯ, СКОРОСТЬ ЗВУКА, КОЭФФИЦИЕНТЫ  
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ВЯЗКОСТИ) В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТ  
ТРОЙНОЙ ТОЧКИ ДО 700 К ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 100 МПА.

**ГСССД 331 - 2017**

(ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ РЕДАКЦИЯ, тема [RU.3.014-2018](#))

РАЗРАБОТАНЫ ФГУП «ВНИИМС» с участием специалистов ООО «ГАЗПРОМ ВНИИГАЗ» (д-р техн. наук Б.А. Григорьев) и ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (д-р техн. наук А.А. Герасимов, канд. техн. наук И.С. Александров)

ОДОБРЕНЫ экспертной комиссией в составе:

д-ра техн. наук А. А. Александрова, канд. техн. наук А. С. Макаровой,  
канд. техн. наук В. К. Матющенкова, канд. техн. наук П. В. Попова

ПОДГОТОВЛЕНЫ к утверждению Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы» (ФГУП «ВНИИМС»)

УТВЕРЖДЕНЫ Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии **«31» октября 2017 г. (протокол № 98 - пр)**

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА  
СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ

---

**Таблицы стандартных справочных данных**

н-Декан. Теплофизические свойства (плотность, теплоемкость, энтальпия, энтропия, скорость звука, коэффициенты теплопроводности и вязкости) в диапазоне температуры от тройной точки до 700 К при давлениях до 100 МПа

**ГСССД**

**331 — 2017**

---

**Tables of Standard Reference Data**

n-DECANE. Thermophysical properties (density, heat capacity, enthalpy, entropy, sound velocity, thermal conductivity and viscosity coefficients) for the temperature range from the triple point to 700K at pressures up to 100 MPa

**GSSSD**

**331—2017**

## ДЕПОНИРУЕМАЯ РУКОПИСЬ

УДК 547.216:536.7

Таблицы стандартных справочных данных ГСССД 331 - 2017. н-Декан. Теплофизические свойства (плотность, теплоемкость, энтальпия, энтропия, скорость звука, коэффициенты теплопроводности и вязкости) в диапазоне температуры от тройной точки до 700 К при давлениях до 100 МПа /д-ра техн. наук Б.А. Григорьев, д-р техн. наук А.А. Герасимов, канд. техн. наук И.С. Александров; Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы, ФГУП «ВНИИМС» – М, 2017 – 61 с. Ил 14. Библиогр. 86 назв. Депонированы в ФГУП «ВНИИМС» 31.10.2017 г, № 100-2017 кк.

Объектом стандартизации являются численные данные о плотности, теплоемкости, энтальпии, энтропии, скорости звука, коэффициентах теплопроводности и вязкости н-Декана в диапазоне температуры от тройной точки до 700К при давлениях до 100МПа.

Для получения значений термодинамических свойств в проекте документа представлен научно-методический аппарат, основанный на закономерностях термодинамики – единое для газовой и жидкой фаз фундаментальное уравнение состояния), для расчета значений вязкости и теплопроводности разработаны отдельные расчетные уравнения. Предварительно проведен обширный критический анализ имеющихся экспериментальных данных.

Представленные справочные данные в таблицах ССД предназначены для применения в технологических процессах химической и нефтехимической промышленности.

Авторы:



Григорьев Б.А.

Александров И. С.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Термодинамические свойства	6
2 Коэффициенты переноса	10
Приложение А Методика разработки уравнения состояния	13
Приложение Б. 1 Анализ результатов и оценка точности табличных значений ТДС	19
Приложение Б.2 Анализ результатов и оценка точности табличных значений свойств переноса	26
Таблица Б.1 Результаты сравнения данных о термодинамических свойствах н-декана со значениями, рассчитанными по ФУС (1) – (3)	22
Таблица Б.2 Результаты сравнения экспериментальных данных о вязкости н-Декана с рассчитанными по уравнению (13) значениями	27
Таблица Б.3. Результаты сравнения экспериментальных данных о теплопроводности н-декана с рассчитанными по уравнению (17) значениями	29
Таблица Б.4. Теплофизические свойства н-декана в однофазной области	32
Таблица Б.5 Теплофизические свойства н-декана на линии насыщения	49
Таблица Б.6 Поля неопределенности расчета плотности	51
Таблица Б.7 Поля неопределенности расчета изобарной теплоемкости	51
Таблица Б.8 Поля неопределенности расчета скорости распространения звука	52
Таблица Б.9 Поля неопределенности расчета коэффициента теплопроводности	52
Таблица Б.10 Поля неопределенности расчета коэффициента динамической вязкости	53
Таблица Б.11 Поля неопределенности расчета теплофизических свойств на линии равновесия «жидкость – газ»	54
3. Список литературы	55

## 1. Термодинамические свойства

Таблицы стандартных справочных данных о термодинамических свойствах н-декана рассчитаны по фундаментальному уравнения состояния (ФУС), описывающему свободную энергию Гельмгольца  $a(\rho, T)$  в зависимости от температуры  $T$  и плотности  $\rho$ . Безразмерная свободная энергия Гельмгольца  $\alpha(\delta, \tau)$  представлена в виде суммы идеально-газовой части  $\alpha^0(\delta, \tau)$  и избыточной части  $\alpha^r(\delta, \tau)$  уравнением (1).

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

В свою очередь избыточная часть свободной энергии Гельмгольца представлена в виде разложения в ряд по степеням приведенной температуры  $\tau$  и приведенной плотности  $\delta$  с полиномиальными и экспоненциальными членами. При этом использовалась оптимизированная форма ФУС, предложенная Соном и Эли [1], с дополнительно оптимизированными значениями показателей степени при приведенной температуре

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

где  $\delta = \rho/\rho_c$ ;  $\tau = T_c/T$ ;  $\rho_c$ ,  $T_c$  – параметры приведения, в качестве которых приняты критические значения. В частности для н-декана:  $\rho_c = 1,6400$  кмоль/м<sup>3</sup>,  $T_c = 617,70$  К.

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

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

Безразмерная идеально-газовая часть свободной энергии Гельмгольца определяется по соотношению

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

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);  $\rho_0$  – плотность идеального газа при температуре  $T_0$  и давлении  $p_0$ ;  $h_0^0, s_0^0$  – соответственно энтальпия и энтропия в идеально-газовом состоянии при температуре  $T_0$ .

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

$$\frac{c_p^0}{R} = c_0 + \sum_{k=1}^4 v_k \left( \frac{u_k}{T} \right)^2 \frac{\exp(u_k/T)}{[\exp(u_k/T) - 1]^2} \quad (4)$$

где  $R = 8,314472$  Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная. Значения коэффициентов уравнения (4) представлены в табл. 1.

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

$$\alpha^0 = a_1 + a_2 \tau + \ln \delta + (c_0 - 1) \ln \tau + \sum_{k=1}^4 v_k \ln[1 - \exp(-u_k \tau / T_c)] , \quad (5)$$

Значения коэффициентов  $a_i$  представлены в табл. 1.

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

<b><math>c_0</math></b>	<b>19,109</b>	<b><math>u_0</math></b>	<b>-</b>
$v_1$	25,685	$u_1$	1193,0
$v_2$	28,233	$u_2$	2140,0
$v_3$	12,417	$u_3$	4763,0
$v_4$	10,035	$u_4$	10862,0
$a_1$	-54,439	$a_2$	14,591

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

Термодинамические свойства рассчитаны по соотношениям:

ПЛОТНОСТЬ

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

Таблица 2 – Коэффициенты и показатели степени ФУС (2) н-декана

$i$	$n_i$	$t_i$	$d_i$	$p_i$
1	$0,1329955431732 \cdot 10^1$	1,5	1	0
2	$0,1278427500003 \cdot 10^1$	0,25	1	0
3	$-0,3555113699998 \cdot 10^1$	1,25	1	0
4	$0,1213243998020$	0,25	3	0
5	$0,2832711106786 \cdot 10^{-3}$	0,875	7	0
6	$-0,2365765296152$	1,375	2	0
7	$-0,7221859842385 \cdot 10^{-4}$	0,0	1	1
8	$0,4181017968347 \cdot 10^{-1}$	2,375	1	1
9	$0,5813753050047$	2,0	2	1
10	$-0,8693358823228 \cdot 10^{-2}$	2,125	5	1
11	$-0,4708218469969$	3,5	1	2
12	$-0,2188983128876 \cdot 10^{-1}$	6,5	1	2
13	$-0,1211410848728$	4,75	4	2
14	$-0,2038830467936 \cdot 10^{-1}$	12,5	2	3

ЭНТАЛЬПИЯ

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

ЭНТРОПИЯ

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

ИЗОХОРНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ

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

ИЗОБАРНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ

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



скорость звука

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

где нижний индекс при  $\alpha$  показывает частную производную по соответствующей переменной.

За термодинамическое начало отсчета при составлении таблиц термодинамических свойств н-декана 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 при температуре  $T_0 = 298,15$  К определены по данным [4] ( $h_0 = 534,84$  кДж·кг<sup>-1</sup>,  $s_0 = 2,9934$  кДж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>).

Таблицы термодинамических свойств н-декана рассчитаны по ФУС (1) – (3) в диапазоне температуры от тройной точки ( $T_t = 243,50$ К) до 700 К при давлениях до 100 МПа. Свойства в однофазной области представлены в табл.Б.4, свойства на линии насыщения – в табл. Б.5. Линия плавления описана эмпирическим уравнением Симона – Глатцеля

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

где  $p_* = 212,5$  МПа;  $c = 4,911$  Значения коэффициентов уравнения (12) определены по экспериментальным данным [5, 6].

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

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

Таблица 3 – Оценки неопределенности расчетных значений термодинамических свойств н-декана

Свойство	Неопределенность, % в области			
	$\mathcal{K}$	$\Gamma$	$\Phi$	$K$
$p_v$	-	0,15 – 1,5	-	0,6
$\rho_l$	0,10 – 0,15	-	-	до 1,5
$\rho_v$	-	1,0 – 3,0	-	до 3,0
$p, \rho, T$	0,10 – 0,20	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0	-
$C_p$	0,4 – 0,8	1,0 – 1,5	0,8 – 1,5	-
$C_v$	1,0 – 1,5	2,0 – 3,0	1,0 – 1,5	-
$W$	0,4 – 0,8	-	-	-

## 2. Коэффициенты переноса

Табличные значения коэффициентов переноса рассчитаны по эмпирическим уравнениям, разработанным на основе наиболее надежных экспериментальных данных.

Для описания коэффициента динамической вязкости использовалась форма уравнения, предложенная Леммоном и Якобсеном [7], которая имеет вид

$$\eta(\rho, T) = \eta^0(T) + \eta^r(\delta, \tau) \quad (13)$$

где  $\eta^0(T)$  – вязкость разреженного газа при нулевой плотности;  $\eta^r(\delta, \tau)$  – избыточная вязкость.

Вязкость разреженного газа  $\eta^0(T)$  определяется по уравнениям

$$\eta^0(T) = \frac{0,021357(MT)^{1/2}}{\sigma^2 S_\eta^*(T^*)} \quad (14)$$

$$\ln S_\eta^* = \sum_{i=0}^2 a_i (\ln T^*)^i \quad (15)$$

где вязкость  $\eta^0$ , мкПа·с;  $M=142,282$ – масса киломоля, кг/кмоль;  $T$  – температура, К;  $\sigma$  – линейный масштабный параметр потенциала Леннарда – Джонса, нм;  $\epsilon/k_B$ – энергетический масштабный параметр, К;  $S_\eta^*$ – приведенный эффективный интеграл столкновений, аппроксимированный уравнением (15);  $T^*$  – приведенная температура  $T^* = k_B T / \epsilon$ .

Избыточная вязкость аппроксимирована уравнением

$$\eta^r(\delta, \tau) = \sum_{i=1}^n N_i \tau^{t_i} \delta^{d_i} \exp(-\delta^{l_i}) \quad (16)$$

где  $\tau = T_c/T$ ;  $\delta = \rho/\rho_c$ . Плотность рассчитывалась по фундаментальному уравнению состояния (2).

Таблица 4 – Параметры уравнений (14) и (15) для расчета вязкости разреженного газа

$a_0$	$a_1$	$a_2$	$\sigma$ (нм)	$\varepsilon/k_B$ (К)
0,61204661	-0,61470709	0,09295513	0,686	490,51

Поиск коэффициентов и показателей степени при температуре и плотности уравнения (16), а также коэффициентов приведенного эффективного интеграла столкновений (15) осуществлялся методом случайного поиска с возвратом при неудачном шаге [2]. При поиске коэффициентов вводились ограничения на форму поверхности состояния, обеспечивающие «правильные» знаки производных и тем самым улучшаются экстраполяционные возможности уравнения. Более подробно метод описан в Приложении А.

Таблица 5 – Коэффициенты и показатели степени уравнения (16)

$i$	$N_i$	$t_i$	$d_i$	$l_i$
1	$0,345881957448 \cdot 10^2$	1,7610	2	0
2	$0,141982654322 \cdot 10^2$	4,2516	5	0
3	$-0,225027428901 \cdot 10^1$	4,2828	9	1
4	$-0,340755697595 \cdot 10^2$	4,2260	6	1
5	$-0,133551276748 \cdot 10^2$	5,3834	9	2
6	$0,341904418151 \cdot 10^2$	7,3102	7	2
7	$-0,880346046709 \cdot 10^2$	7,8042	4	2

Средняя вероятная ошибка определения коэффициента динамической вязкости по уравнению (13) составляет 2,5 %. Уравнение (13) не учитывает критическую аномалию вязкости, которая не исследована для н-декана. Результаты сравнения с имеющимися экспериментальными данными представлены в Приложении Б.

Для описания теплопроводности использовалась форма уравнения, предложенная Леммоном и Якобсеном [7], которая имеет вид

$$\lambda(\rho, T) = \lambda^0(T) + \lambda^r(\delta, \tau) \quad (17)$$

где  $\lambda^0(T)$  – теплопроводность разреженного газа при нулевой плотности;  $\lambda^r(\delta, \tau)$  – избыточная теплопроводность;  $\delta = \rho/\rho_r$ ;  $\tau = T_r/T$ ;  $\rho_r$ ,  $T_r$  – опорные значения

плотности и температуры (принимают критические значения:  $T_c = 617,70$  К;  $\rho_c = 1,6400$  кмоль/м<sup>3</sup>).

Теплопроводность разреженного газа, в свою очередь, определяется как

$$\lambda^0(T) = N_1 \left[ \frac{\eta^0(T)}{1 \text{ мкПа} \cdot \text{с}} \right] + N_2 \tau^{t_2} + N_3 \tau^{t_3} \quad (18)$$

где  $\eta^0(T)$  – вязкость разреженного газа при нулевой плотности, мкПа·с.

Избыточная теплопроводность аппроксимирована уравнением

$$\lambda^r(\delta, \tau) = \sum_{i=4}^n N_i \tau^{t_i} \delta^{d_i} \exp(-\delta^{l_i}) \quad (19)$$

Вязкость разреженного газа  $\eta^0(T)$  определяется по уравнениям (14) и (15).

Поиск коэффициентов и показателей степени при температуре и плотности уравнений (18) и (19) осуществлялся методом случайного поиска с возвратом при неудачном шаге [2]. Также вводились ограничения, обеспечивающие «правильный» знак производных. Коэффициенты и показатели степени уравнений (18) и (19) представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Коэффициенты и показатели степени уравнений (18) и (19)

$i$	$N_i$	$t_i$	$d_i$	$l_i$
1	$0,8309726664 \cdot 10^2$	-	-	-
2	$-0,7200336743 \cdot 10^2$	-1,3948	-	-
3	$0,3061209773 \cdot 10^2$	-1,3282	-	-
4	$-0,394144061789 \cdot 10^2$	1,28636	1	0
5	$0,117507691726 \cdot 10^2$	0,58542	3	0
6	$-0,994641165365 \cdot 10^1$	0,07540	9	1
7	$0,508148809011 \cdot 10^1$	5,58119	6	2
8	$0,398192387568 \cdot 10^2$	1,45622	5	2
9	$0,204835523028 \cdot 10^2$	3,62555	6	3

Средняя вероятная ошибка определения коэффициента теплопроводности н-декана по уравнению (17) составляет 2,0 %. Уравнение (17) не учитывает критическую аномалию теплопроводности, которая экспериментально не исследована для н-декана. Рассчитанные значения коэффициентов динамической вязкости и теплопроводности в однофазной области представлены в табл.Б.4 и на линии насыщения в табл. Б.5.

Более подробные сведения о результатах сравнения расчетных данных со всеми имеющимися экспериментальными данными о теплопроводности и вяз-

кости н-декана, а также поля неопределенностей представлены в Приложении Б.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Методика разработки уравнения состояния

При разработке ФУС (2) использовались разнородные экспериментальные данные о термодинамических свойствах н-декана –  $p, v, T$ -данные, данные о втором  $B$  и третьем  $C$  вириальных коэффициентах, упругость насыщенных паров  $p_v$ , плотность насыщенной жидкой  $\rho_l$  и газовой фазы  $\rho_v$ , 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:

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

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

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

а коэффициенты  $n$  определялись посредством оптимизационного алгоритма, описанного ниже. Для расшифровки правой части формулы (A1) использовались известные дифференциальные соотношения термодинамики (6) – (11). Кроме включения в обработку экспериментальных данных о различных термодинамических свойствах н-декана, 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-декана 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 (A1), 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:

$$S = \sum W_p F_p^2 + \sum W_r F_r^2 + \sum W_{Cv} F_{Cv}^2 + \dots + \sum W_o F_o^2 \quad (A3)$$

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

$$F_{C_v} = (C_{v}^{эксп.} - C_{v}^{расч.}) / C_{v}^{эксп.} \quad (A4)$$

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  $p, \rho, T$ - данных и давления насыщенных паров составляет 1, для теплоемкости – 0,5, для скорости звука - 1.

Как видно из соотношения (A3) 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 (A3).

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 вплоть до возвращения параметров в область допустимых значений. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке A1.

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 2A). Это осуществляется изменением начальных значений переменных в соответствии с заданным шагом поиска по следующей итерационной формуле

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

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

После этого вычисляется значение функционала (A3) 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 3A 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

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

где  $\alpha$  находится в диапазоне  $(-1, 1)$  – коэффициент уменьшения шага (свободный параметр метода).

Параметр  $\alpha$  в процессе дробления шага поиска изменяется следующим образом. При сравнении предыдущего и текущего значений функционала, ал-

горитм выбирает направление поиска и в соответствии с этим направлением определяет первоначальное значение коэффициента  $\alpha$

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

то есть принимается решение об увеличении, либо об уменьшении шага поиска. После присваивания коэффициенту  $\alpha$  соответствующих значений по условию (A7) вычисляется новое значение функционала  $S_{k+1}$ . Далее осуществляется дробление шага поиска изменением коэффициента  $\alpha$  исходя из следующих условий

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

Если ни одно из группы условий (A8) не выполняется, то для определения нового значения  $\alpha$  строится интерполяционная парабола на основе значений минимизируемого функционала  $S$  и коэффициента  $\alpha$  на последних трех итерациях. Для этого используются следующие соотношения

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

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

где  $a$  и  $b$  - коэффициенты параболического уравнения. Тогда новое значение коэффициента  $\alpha$  определяется как

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

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

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



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

где  $\varepsilon_s$  – 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 слагаемого 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.1 Анализ результатов и оценка точности табличных значений ТДС

В табл. Б.1 представлены результаты сравнения разнородных экспериментальных данных о термодинамических свойствах *n*-декана с расчетами по фундаментальным уравнениям состояния, а на рис. Б.1 – Б.5 показан характер отклонений. Значения температуры, измеренные по разным температурным шкалам, пересчитаны на Международную температурную шкалу 1990 г. (МТШ-90).

Термодинамические свойства *n*-декана исследованы достаточно подробно в жидкой фазе.  $P, V, T$ -зависимость исследовалась многими авторами в диапазоне температуры 298 – 400 К при давлениях до 100 – 600 МПа (см. табл. Б.1). Наиболее надежные данные Бессьерес с соавторами [42], Кадвела с соавторами [43], Скайфа и Лионса [36], Аудонта и Падуа [44] описываются со средними отклонениями 0,05 – 0,1 %. Широкодиапазонные исследования выполнены Курумовым [12] и Геригом и Лентцем [38]. Однако в [38] погрешность измерения плотности составляла 0,4 – 1,0%. Поэтому при температурах, выше 400 К наиболее надежными могут считаться только данные Курумова [12], погрешность описания которых составляет 0,1 – 0,3 %, и возрастает до 0,4 – 0,6 % вблизи пограничной кривой при температурах свыше 473 К.

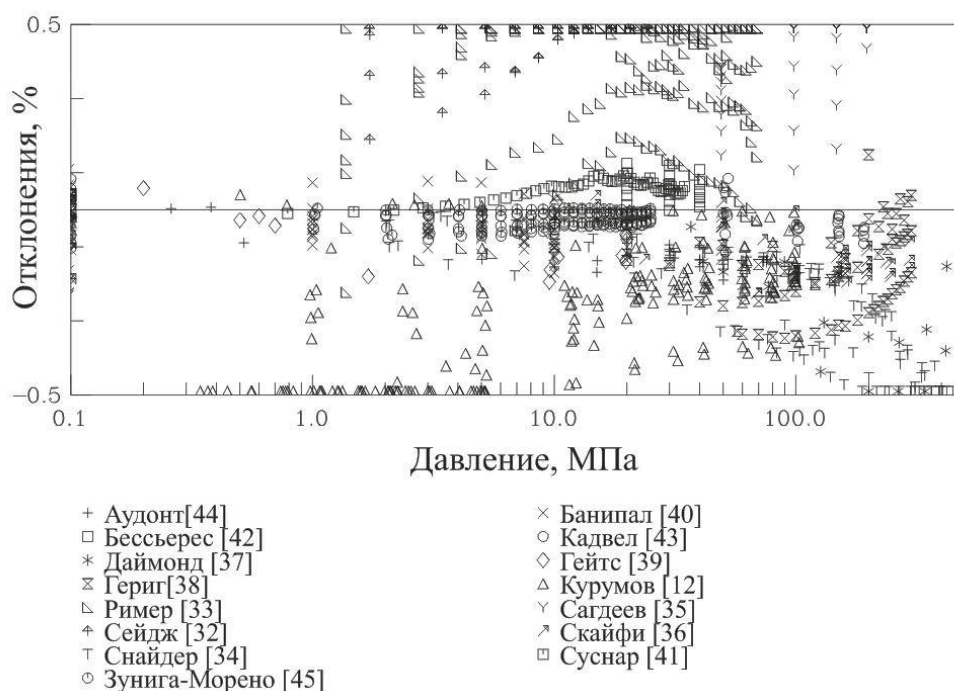


Рис. Б.1. Отклонения экспериментальных данных о плотности жидкой фазы *n*-декана от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния (2).

Наиболее надежные данные о давлении насыщенных паров [8, 10, 14, 15] получены в диапазоне 320 – 460 К и они описываются с погрешностью 0,1 –

0,2 %. При высоких температурах, свыше 500 К, известны только данные Морган и Кобаяши [13] и Курумова [12]. Отклонения составляют 0,3 – 0,7 %.

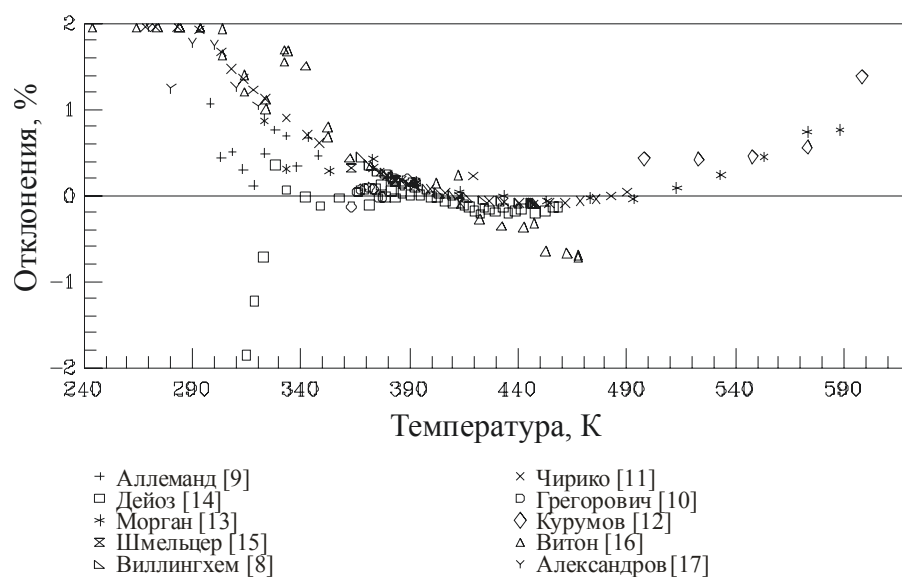


Рис. Б.2. Отклонения экспериментальных данных о давлении насыщенных паров н-декана от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния (2).

Плотность насыщенной жидкой фазы подробно исследована разными авторами в диапазоне температуры 243 – 443 К и описывается с отклонениями 0,05 – 0,1 %. При более высоких температурах имеются только достаточно надежные данные Курумова[12], полученные в прецизионном  $p, v, T$ -эксперименте, а также менее точные данные Амирханова с сотрудниками [24] и Френсиса [20]. Данные Курумова[12] описываются при высоких температурах с отклонениями 0,2 – 0,5% и только при температуре 598,13 К отклонение составляет 1,5%. Экспериментальные данные [12, 24] о плотности насыщенной газовой фазы получены только при высоких температурах и описываются со средней погрешностью 3,0%.

Теплоемкость насыщенной жидкой фазы  $C_s$  в диапазоне температуры от тройной точки до 350 К описывается со средней погрешностью 0,2 – 0,5 %.

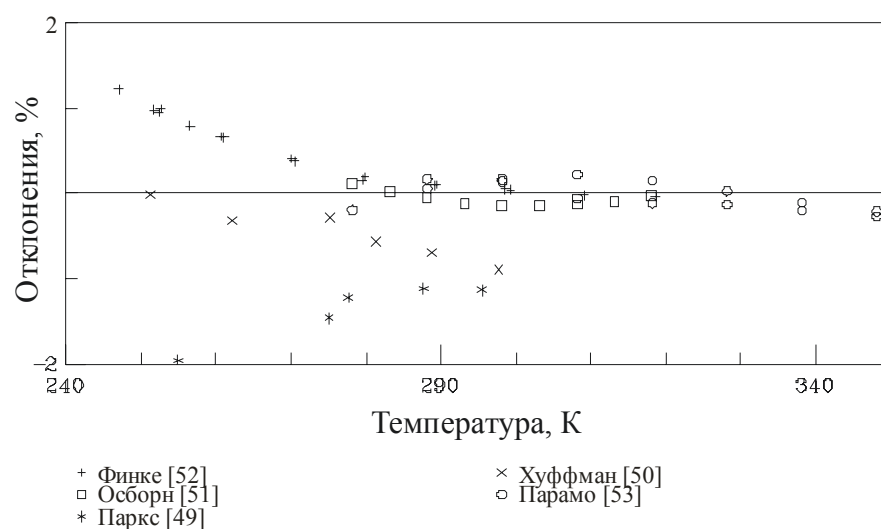


Рис. Б.3. Отклонения экспериментальных данных о теплоемкости насыщенной жидкой фазы н-декана от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния (2).

Изобарная теплоемкость в жидкой фазе также описывается с погрешностью 0,5 %, возрастающей до 1,0 – 1,5 % вблизи пограничной кривой при высоких температурах. В газовой фазе, вдали от пограничной кривой погрешность также невысока – 0,4 – 0,7 % и возрастает до 1,0 – 2,0 % вблизи температуры перехода.

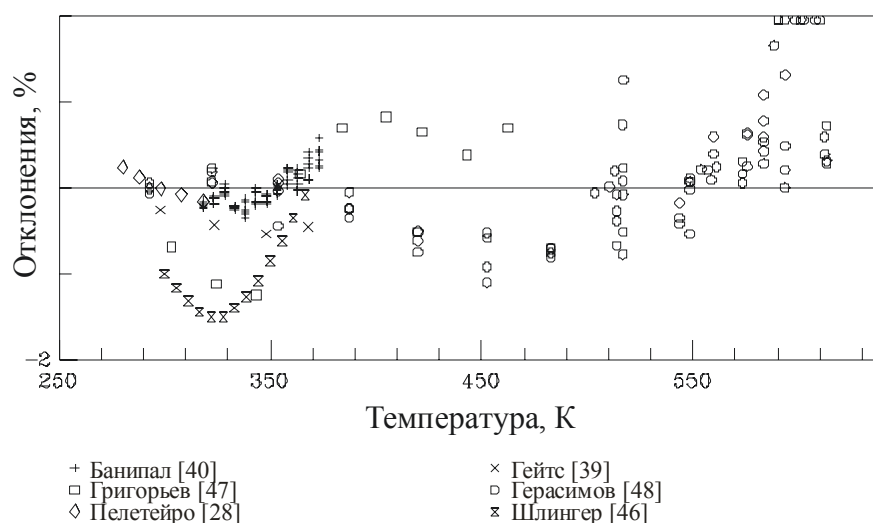


Рис. Б.4. Отклонения экспериментальных данных о изобарной теплоемкости жидкой фазы н-декана от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния (1) – (3).

Имеющиеся данные разных авторов о скорости распространения звука в жидкой фазе описываются со средними отклонениями, не превышающими 0,5 %. На линии насыщения жидкой фазы данные Неручева с соавторами [54] также описываются весьма точно – отклонения 0,1 – 0,6 % и только при высоких температурах, выше 553 К, отклонения начинают существенно возрастать.

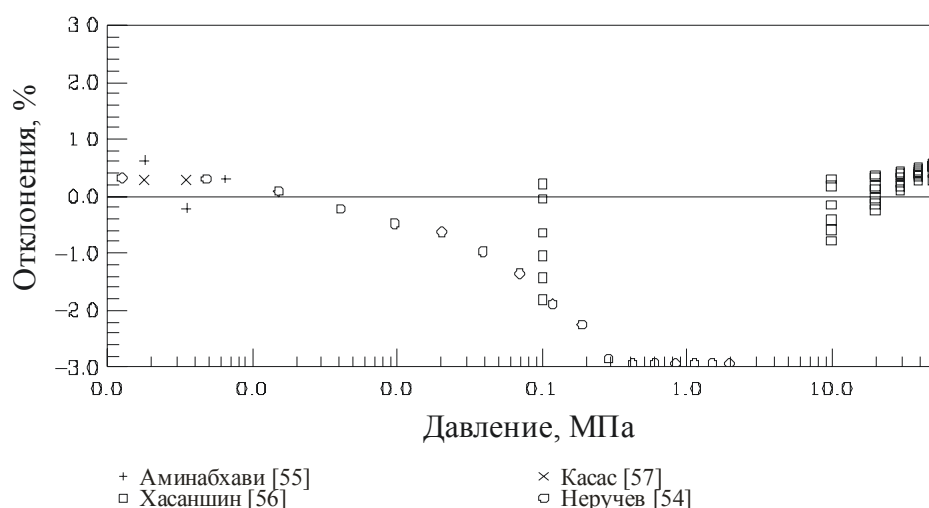


Рис. Б.5. Отклонения экспериментальных данных о скорости звука н-декана от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния (1) – (3).

Таблица Б.1– Результаты сравнения данных о термодинамических свойствах н-декана со значениями, рассчитанными по ФУС (1) – (3)

Год	Первый автор, источник	Число Точек	Диапазон		Отклонения, %			
			<i>T</i> , К	<i>p</i> , МПа	Жидк.	Газ	Флюид	Крит.
Давление насыщенных паров								
1945	Виллингхем[8]	19	368 – 448		0,138			
1986	Аллеманд[9]	11	298–348		0,534			
1987	Грегорович [10]	15	363–393		0,117			
1989	Чирико [11]	33	268–490		0,685			
1991	Курумов [12]	12	498–618		0,648		3,161	
1994	Морган [13]	16	323 – 588		0,29			
1996	Дейоз[14]	37	315-458		0,205			
1995	Шмельцер[15]	4	363-413		0,185			
1996	Витон[16]	33	244-467		1,582			
2010	Александров[17]	6	243-320		1,704			
Плотность насыщенной жидкой фазы								
1930	Бингхем[18]	16	273-373		0,201			
1930	Дорнте [19]	11	243-443		0,115			
1957	Фрэнсис [20]	24	373-598		0,734			
1967	Бедойн [21]	7	248-423		0,044			
1981	Эйкарт [22]	4	298-333		0,052			
1981	Даймонд [23]	8	283-393		0,035			
1991	Амирханов [24]	24	274-618		0,722		4,042	
1991	Курумов [12]	25	248-598		0,335			
1995	Ю[25]	5	293-313		0,039			
2001	Трензадо [26]	5	283-313		0,035			
2002	Гарсия [27]	5	278-318		0,065			
2002	Пелетейро[28]	5	280-318		0,017			
2004	Тоджо[29]	4	298-318		0,012			

## Окончание Таблицы Б.1

Год	Первый автор, источник	Число Точек	Диапазон		Отклонения, %			
			<i>T</i> , К	<i>p</i> , МПа	Жидк.	Газ	Флюид	Крит.
Плотность насыщенной газовой фазы								
1981	Амирханов [24]	11	578-618		2,967			1,826
1991	Курумов [12]	5	498-598		3,408			
Энтальпия испарения								
1963	Коуч[30]	10	344-444		1,044			
1968	Моравец[31]	5	298		1,699			
2010	Александров[17]	19	243-593		1,297			
<i>p,p,T</i> -данные								
1940	Сейдж[32]	55	294-394	1,72-24,1	0,556			
1942	Ример[33]	217	311-511	1,38-68,9	0,464			
1970	Снайдер[34]	116	298-358	0,101-656	0,296			
1977	Сагдеев [35]	55	273-373	0,098-196	0,449			
1980	Скайфи[36]	77	248-373	0,1-294	0,114			
1982	Даймонд [37]	19	298-373	0,1-420	0,26			
1983	Гериг[38]	395	298-673	0-302	0,702	5,981	1,644	13,49
1986	Гейтс[39]	18	298-400	0,2-20,5	0,079			
1991	Банипал [40]	72	313-373	0,1-10	0,062			
1991	Курумов [12]	263	248-623	0,1-103	0,421	0,626	1,169	8,352
1992	Суснар [41]	51	294	0,1-34,6	0,056			
2001	Бессьерес[42]	21	308-368	20-40	0,056			
2004	Кадвел[43]	34	298-373	0,1-192	0,054			
2004	Аудонт[44]	40	303-393	0,1-76,2	0,105			
2005	Зунига-Морено [45]	148	313-363	1,01-25,1	0,027			
Изобарная теплоемкость <i>C<sub>p</sub></i>								
1952	Шлингер[46]	13	300–366	0,1	1,046			
1975	Григорьев [47]	9	303–462	0,1 –0,3	0,72			
1986	Гейтс [39]	4	298–368	0,14	0,421			
1991	Банипал [40]	72	318 – 373	0,1–10	0,168			
2000	Герасимов [48]	135	293-635	0,5–60	0,728	1,435	1,208	
2002	Пелетейро [28]	5	280-318	0,1	0,119			
Теплоемкость по линии насыщения <i>C<sub>s</sub></i>								
1930	Паркс [49]	5	255-295		1,407			
1931	Хуффман[50]	6	251-298		0,464			
1947	Осборн [51]	9	278-318		0,095			
1954	Финке [52]	17	247-319		0,452			
2002	Парамо [53]	15	278-348		0,147			
Изохорная теплоемкость <i>C<sub>v</sub></i>								
1981	Амирханов [24]	122	453-693	1,68-8,08	0,844	5,283	1,205	8,822
Скорость звука								
1969	Неручев [54]	17	293-613	<i>p<sub>v</sub></i>	2,841			
1994	Аминабхави[55]	3	298-318	0,1	0,378			
2001	Хасаншин [56]	40	298-433	0,1-49,1	0,423			
2002	Касас[57]	3	288-308	0,14	0,273			

На рис Б.6 показан ход идеальных кривых н-декана, а на рис. Б.7 – Б.9 показаны поверхности состояния основных термодинамических свойств, построенные по фундаментальному УС. Вид поверхностей свидетельствует о хороших интерполяционных и экстраполяционных свойствах разработанного ФУС.

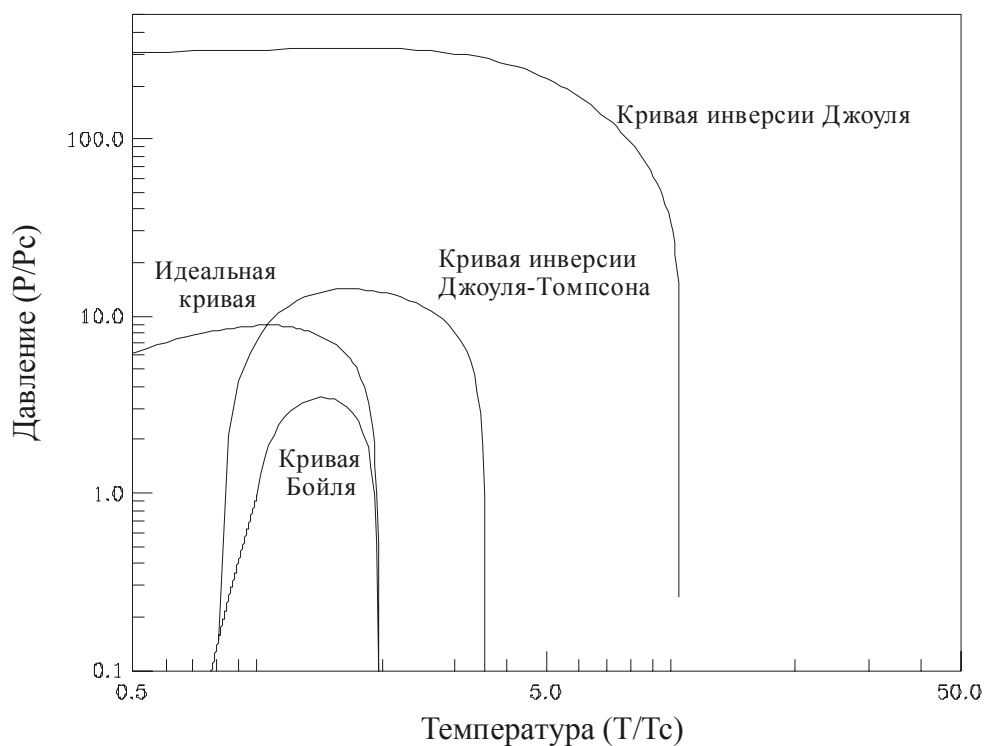


Рис. Б.6. Идеальные кривые н-декана

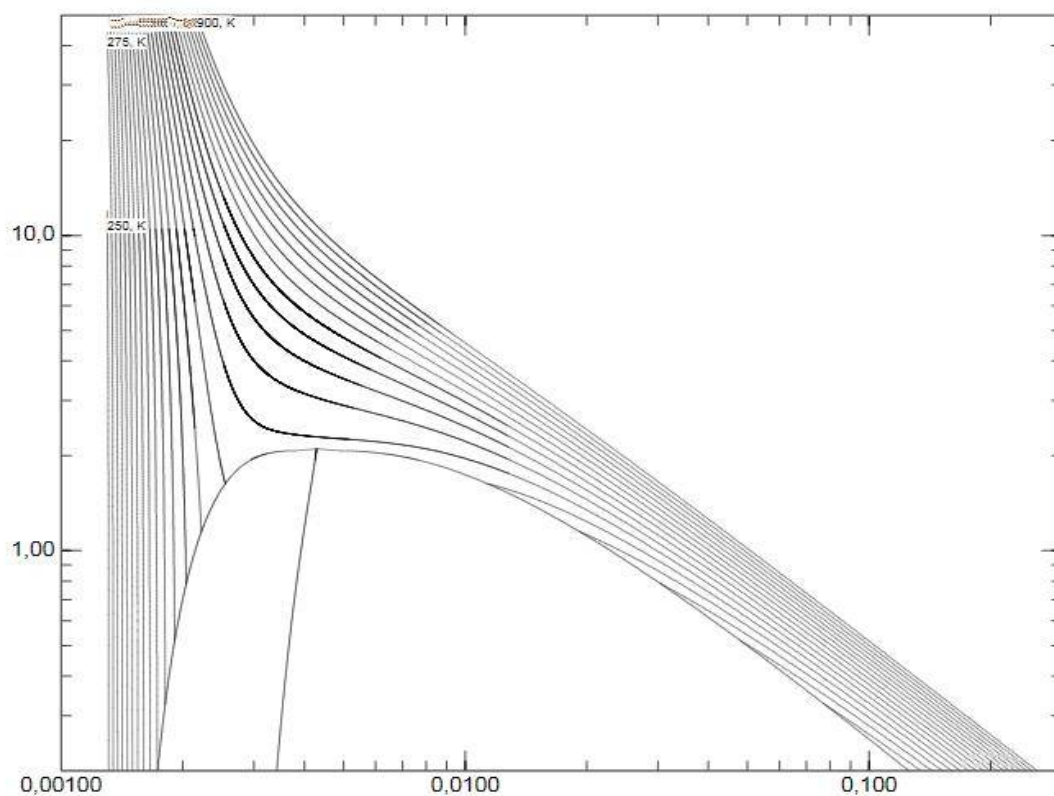


Рис. Б.7.  $p - V$  – диаграмма н-декана



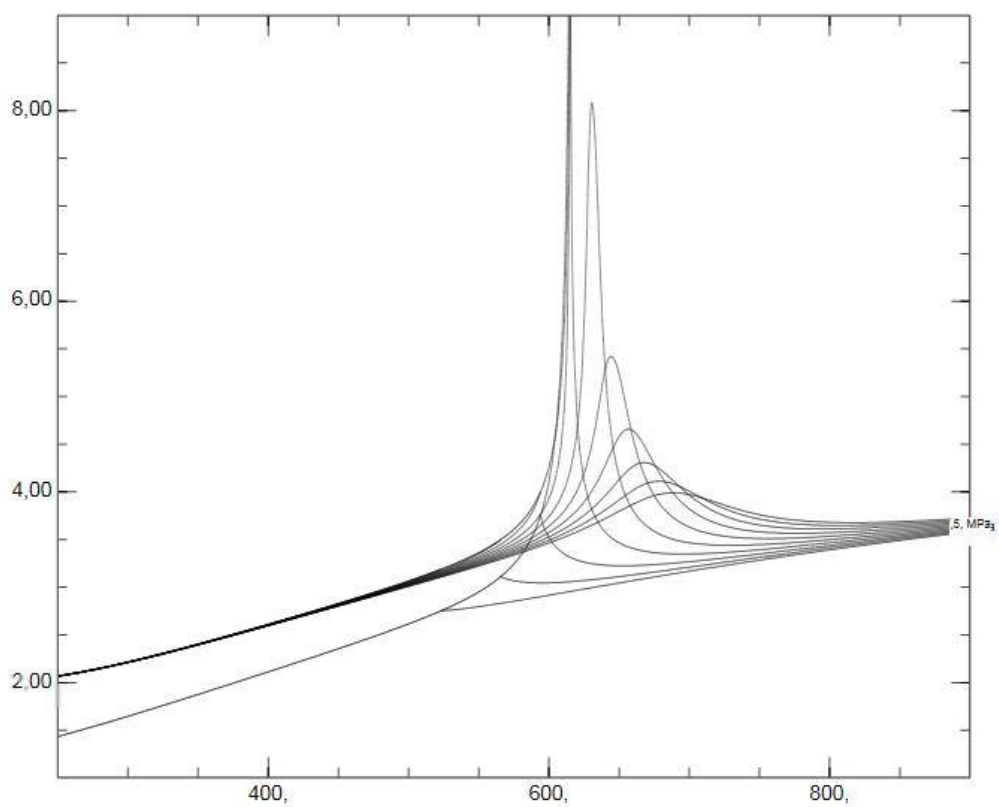


Рис. Б.8. Диаграмма изобарная теплоемкость – температура н-декана

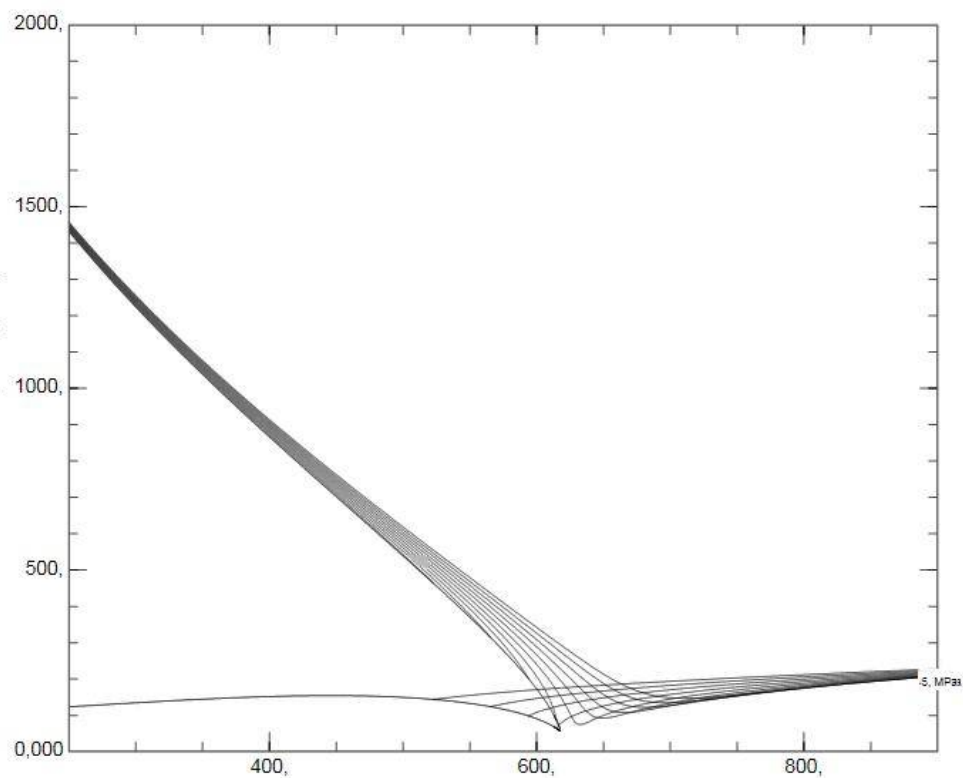


Рис. Б.9. Диаграмма скорость звука – температура н-декана

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

### **Б.2 Анализ результатов и оценка точности табличных значений свойств переноса**

#### **Б.2.1. Вязкость**

В таблице Б.2. представлены результаты сравнения экспериментальных данных о вязкости н-декана с расчетами по разработанным уравнениям, а на рис.Б.10 показан характер отклонений. Значения температуры, измеренные по разным температурным шкалам, пересчитаны на Международную температурную шкалу 1990 г. (МТШ-90).

Для разработки уравнения вязкости н-декана были отобраны данные Родченко [74], полученные в широком диапазоне температур 244 – 623 К при давлениях до 60 МПа. Измерения выполнены на установке, реализующей капиллярный метод с постоянным перепадом давления и вынесенным из зоны измерений ртутным насосом. Вероятная погрешность отдельного измерения коэффициента динамической вязкости составила по оценке автора [74] 1,0% в жидкой фазе. Также в обработку включались данные Кнапштада [68, 69]. Для определения коэффициентов приведенного эффективного интеграла столкновений использовались экспериментальные данные Люстерника и Жданова [63], которые измерили вязкость разреженного газа н-декана в широком диапазоне температуры 273 – 773 К. Данные остальных авторов использовались, в основном, для оценки точности уравнения.

Таблица Б.2 – Результаты сравнения экспериментальных данных о вязкости н-Декана с рассчитанными по уравнению (13) значениями

Год	Первый автор, Источник	Число Точек	Диапазон параметров			Отклонения, %	
			$T, K$	$p, MPa$	$\rho, \text{кмоль/м}^3$	СОО	СКО
1930	Бингам [58]	8	273 – 373	0,1	4,7 – 5,2	3,01	3,09
1949	Жиллер [59]	9	244 – 293	0,1	5,1 – 5,4	3,67	3,76
1965	Ли [60]	136	310 – 510	1,4 – 55	3,9 – 5,3	2,59	3,25
1969	Кармайхал [61]	49	277 – 478	0,0 – 36	0,0 – 5,4	2,02	2,93
1972	Керамиди [62]	40	302 – 481	0,1 – 49	4,2 – 5,0	3,57	4,03
1973	Люстерник [63]	16	398 – 773	Разреж.	Разреж.	0,27	0,33
1974	Мур [64]	3	293 – 313	0,1	5,0 – 5,1	1,80	1,82
1981	Даймонд [65]	8	283 – 393	Насыщ.	5,2 – 4,6	0,71	0,84
1982	Хашиваги [66]	79	298 – 348	0,1 – 110	4,8 – 5,5	17,7	24,0
1986	Доколомбер [67]	30	293 – 373	0,1 – 100	4,7 – 5,5	3,22	4,12
1989	Кнапштад [68]	11	293 – 423	0,1	4,4 – 5,1	1,26	1,40
1990	Кнапштад [69]	37	293 – 423	0,6 – 40	4,4 – 5,3	1,04	1,27
1992	Ассаеэль [70]	33	293 – 333	0,1 – 64	4,9 – 5,4	0,83	1,14
1992	Оливейра [71]	46	303 – 348	0,1 – 255	4,8 – 5,8	2,04	3,25
1998	Истрада-Балтазар [72]	36	298 – 373	0,1 – 25	4,7 – 5,2	3,37	3,80
2001	Тохиди [73]	21	323 – 423	2,2 – 138	4,5 – 5,5	5,56	5,94
2001	Трензато [26]	5	283 – 313	0,1	5,0 – 5,2	1,03	1,16
2001	Родченко [74]	128	244 – 623	0,1 – 60	3,2 – 5,5	1,43	1,78
2002	Нааке [75]	101	291 – 574	0,1 – 300	4,3 – 5,5	6,69	9,77
2003	Барруфет [76]	18	296 – 439	0,1	4,3 – 5,1	5,62	6,14
2004	Аудоннет [77]	40	303 – 393	0,1 – 76	4,6 – 5,4	1,21	1,46
2004	Кадвелл [78]	34	298 – 373	0,1 – 191	4,7 – 5,7	1,73	2,14

Анализ отклонений экспериментальных данных различных авторов позволяет заключить, что вероятная ошибка расчета коэффициента динамической вязкости составляет 2,5 %. Об интерполяционных и экстраполяционных возможностях уравнения можно судить по представленной на рис. Б.11 диаграмме поверхности состояния.

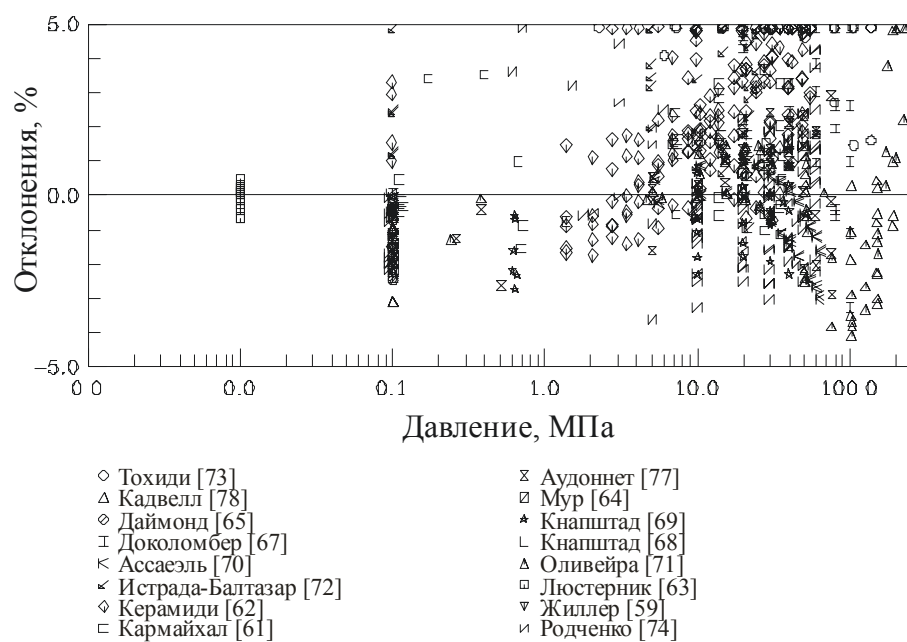


Рисунок. Б.10. Сравнение значений вязкости н-декана с экспериментальными данными различных авторов.

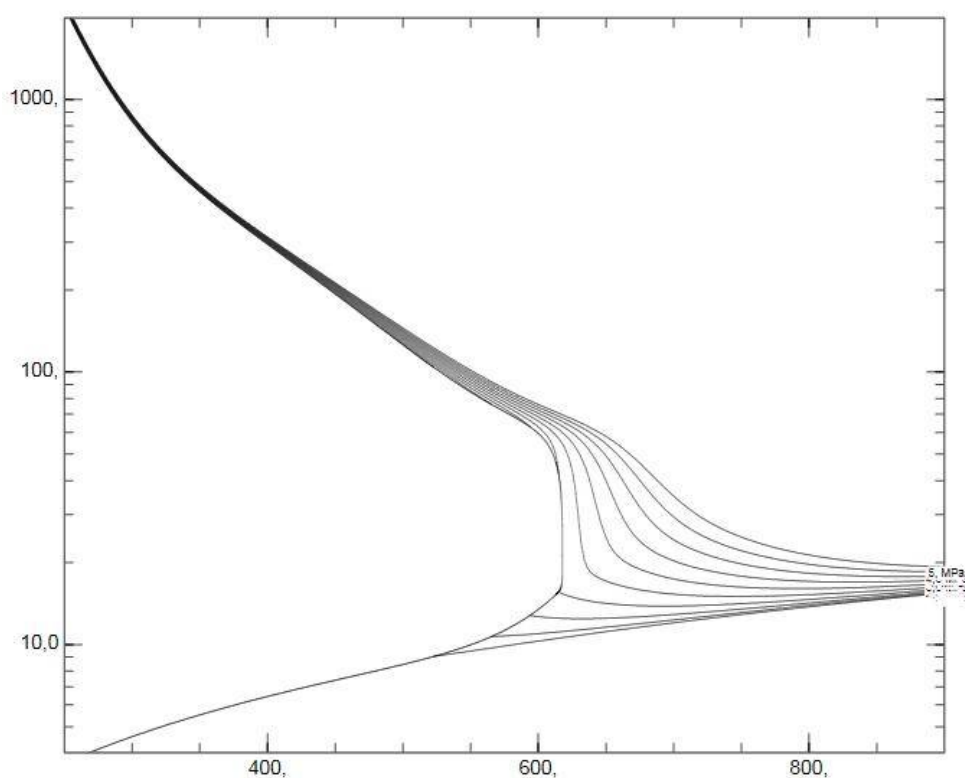


Рис. Б.11. Диаграмма вязкость – температура н-декана.

## Б.2.2. Теплопроводность

Широкодиапазонные измерения коэффициента теплопроводности н-декана выполнены Мустафаевым [82] методом монотонного разогрева. Погрешность данных оценивается величиной  $\pm 2,0\%$ . В остальных работах коэффициент теплопроводности измерялся в жидкой фазе за исключением нескольких точек, полученных Назиевым и Алиевым при давлении 0,1 МПа [80]. Кроме данных Мустафаева [82] в обрабатываемый массив включались данные Богатова [85], полученные стационарным методом нагретой проволоки с погрешностью  $\pm 1,5\%$  и справочные данные Варгафтика с соавторами [81]. Данные [81] получены графоаналитической обработкой экспериментальных значений теплопроводности, опубликованных до 1975 года. Поэтому ряд работ, в которых получено небольшое количество экспериментальных точек мы не включили в табл. Б.3, считая, что они уже учтены при составлении таблиц [81]. Данные остальных авторов, представленных в табл. Б.3, использовали для оценки точности разработанного уравнения. Характер отклонений показан на рис. Б.12.

Таблица Б.3 – Результаты сравнения экспериментальных данных о теплопроводности н-декана с рассчитанными по уравнению (17) значениями

Год	Первый автор, Источник	Число точек	Диапазон параметров			Отклонения, %	
			<i>T</i> , К	<i>P</i> , МПа	$\rho$ , моль/л	СОО	СКО
1972	Мейлан [79]	23	302-361	0,1	4,8-5,1	2,120	2,412
1973	Назиев [80]	56	453-593	0,1-14	0,03-4,4	6,63	12,4
1978	Варгафтик [81]	145	240-680	0,1-50,0	0,02-5,4	1,210	2,309
1980	Мустафаев [82]	201	307-678	0,1-39,2	2,9-5,3	1,091	1,471
1982	Кашиваги [83]	7	303-373	0,1	4,7-5,1	1,26	1,49
1987	Ассаэль [84]	13	300-361	0,1	4,76-5,1	2,61	2,64
1992	Богатов [85]	57	303-458	0,1-49	4,2-5,3	1,04	1,42
2002	Ватанабе [86]	15	259-338	0,1	4,9-5,3	0,56	0,79

Анализ отклонений экспериментальных данных, представленных в табл. Б.3, позволяет заключить, что вероятная ошибка расчета коэффициента теплопроводности н-декана составляет 2,0 %.

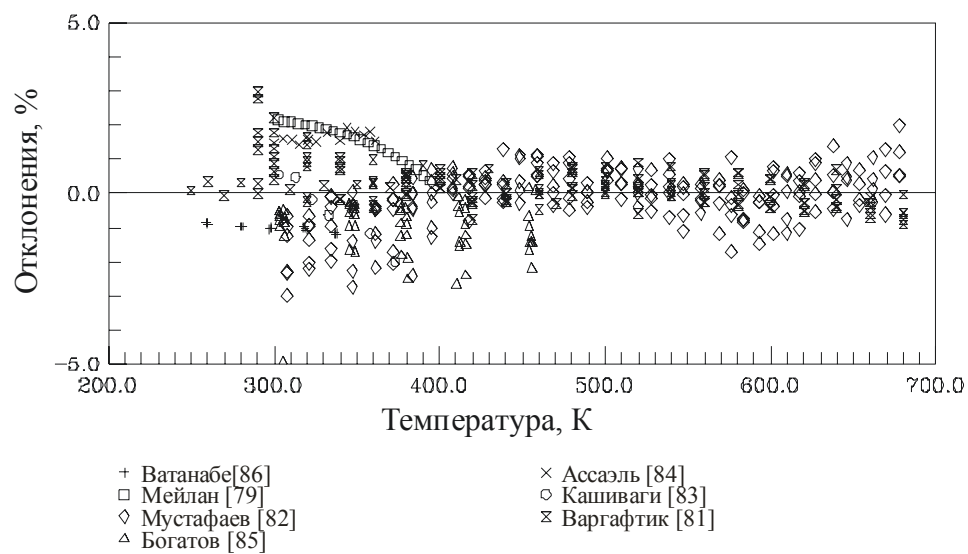


Рисунок. Б.12. Сравнение расчетных значений теплопроводности н-декана с экспериментальными данными различных авторов.

Таблица Б.4— Теплофизические свойства н-декана в однофазной области

$T$	$\rho$	$h$	$S$	$C_v$	$C_p$	$w$	$\lambda$	$\eta$
К	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
p=0,1 МПа								
244,00	767,31	419,79	2,5676	1,6399	2,0553	1458,8	144,23	2546,0
250,00	762,71	432,16	2,6177	1,6553	2,0686	1432,0	142,88	2192,6
260,00	755,07	452,96	2,6993	1,6830	2,0931	1388,3	140,53	1737,6
270,00	747,47	474,03	2,7788	1,7128	2,1204	1345,9	138,08	1405,4
280,00	739,88	495,38	2,8564	1,7445	2,1502	1304,5	135,57	1159,5
290,00	732,30	517,04	2,9324	1,7777	2,1821	1264,1	133,02	974,68
300,00	724,72	539,03	3,0069	1,8123	2,2158	1224,6	130,45	833,47
310,00	717,12	561,36	3,0802	1,8479	2,2511	1186,1	127,87	723,66
320,00	709,50	584,05	3,1522	1,8845	2,2877	1148,3	125,30	636,64
330,00	701,84	607,12	3,2232	1,9218	2,3255	1111,3	122,73	566,33
340,00	694,13	630,57	3,2932	1,9597	2,3643	1074,9	120,20	508,38
350,00	686,36	654,41	3,3623	1,9980	2,4040	1039,1	117,70	459,68
360,00	678,52	678,65	3,4306	2,0366	2,4444	1003,9	115,24	417,99
370,00	670,59	703,30	3,4981	2,0754	2,4854	969,13	112,82	381,70
380,00	662,57	728,36	3,5649	2,1143	2,5270	934,82	110,44	349,62
390,00	654,44	753,84	3,6311	2,1533	2,5690	900,89	108,10	320,90
400,00	646,18	779,74	3,6967	2,1921	2,6115	867,28	105,81	294,91
410,00	637,78	806,07	3,7617	2,2309	2,6543	833,93	103,58	271,21
420,00	629,22	832,83	3,8262	2,2694	2,6976	800,79	101,40	249,43
430,00	620,47	860,02	3,8902	2,3077	2,7412	767,80	99,274	229,35
440,00	611,52	887,65	3,9537	2,3457	2,7854	734,88	97,211	210,76
450,00	4,0315	1192,3	4,6360	2,2702	2,3507	155,35	22,282	7,3945
460,00	3,9237	1216,0	4,6881	2,3081	2,3861	157,81	23,297	7,5782
470,00	3,8230	1240,1	4,7398	2,3460	2,4219	160,17	24,326	7,7620
480,00	3,7285	1264,5	4,7912	2,3836	2,4578	162,45	25,369	7,9457
490,00	3,6395	1289,2	4,8422	2,4209	2,4936	164,66	26,427	8,1293
500,00	3,5554	1314,3	4,8929	2,4578	2,5292	166,80	27,499	8,3129
510,00	3,4758	1339,8	4,9434	2,4942	2,5645	168,89	28,586	8,4964
520,00	3,4003	1365,6	4,9935	2,5301	2,5995	170,92	29,688	8,6798
530,00	3,3284	1391,8	5,0434	2,5655	2,6341	172,91	30,805	8,8630
540,00	3,2599	1418,3	5,0929	2,6004	2,6682	174,86	31,936	9,0460
550,00	3,1945	1445,2	5,1422	2,6346	2,7018	176,77	33,083	9,2288
560,00	3,1320	1472,3	5,1912	2,6684	2,7349	178,64	34,244	9,4115
570,00	3,0721	1499,9	5,2398	2,7015	2,7675	180,48	35,420	9,5939
580,00	3,0147	1527,7	5,2883	2,7340	2,7995	182,29	36,612	9,7761
590,00	2,9596	1555,8	5,3364	2,7660	2,8311	184,07	37,818	9,9581
600,00	2,9066	1584,3	5,3842	2,7974	2,8620	185,82	39,039	10,140
610,00	2,8556	1613,1	5,4318	2,8282	2,8925	187,55	40,276	10,321
620,00	2,8066	1642,2	5,4791	2,8584	2,9224	189,26	41,527	10,502
630,00	2,7593	1671,5	5,5261	2,8881	2,9518	190,94	42,794	10,683

Продолжение Таблицы Б.4

<i>T</i>	<i>ρ</i>	<i>h</i>	<i>S</i>	<i>Cv</i>	<i>Cp</i>	<i>w</i>	<i>λ</i>	<i>η</i>
К	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
640,00	2,7136	1701,2	5,5728	2,9172	2,9806	192,60	44,075	10,864
650,00	2,6696	1731,1	5,6192	2,9458	3,0089	194,24	45,372	11,044
660,00	2,6270	1761,4	5,6653	2,9738	3,0367	195,86	46,683	11,224
670,00	2,5859	1791,9	5,7112	3,0014	3,0640	197,46	48,010	11,404
680,00	2,5461	1822,6	5,7568	3,0284	3,0908	199,04	49,351	11,584
690,00	2,5075	1853,7	5,8021	3,0549	3,1171	200,61	50,707	11,763
700,00	2,4702	1885,0	5,8472	3,0809	3,1430	202,16	52,079	11,941
p=0,5 МПа								
244,00	767,54	420,18	2,5670	1,6401	2,0552	1460,9	144,33	2557,8
250,00	762,95	432,55	2,6171	1,6556	2,0684	1434,2	142,99	2202,7
260,00	755,33	453,35	2,6987	1,6832	2,0929	1390,6	140,64	1745,5
270,00	747,74	474,42	2,7782	1,7131	2,1202	1348,1	138,20	1411,7
280,00	740,17	495,77	2,8558	1,7447	2,1499	1306,8	135,70	1164,6
290,00	732,61	517,42	2,9318	1,7780	2,1817	1266,5	133,15	978,83
300,00	725,05	539,41	3,0064	1,8125	2,2154	1227,2	130,59	836,91
310,00	717,47	561,74	3,0796	1,8482	2,2506	1188,7	128,01	726,56
320,00	709,87	584,42	3,1516	1,8847	2,2872	1151,1	125,45	639,13
330,00	702,23	607,48	3,2226	1,9220	2,3249	1114,1	122,89	568,52
340,00	694,54	630,93	3,2925	1,9599	2,3637	1077,9	120,36	510,34
350,00	686,80	654,76	3,3616	1,9982	2,4032	1042,3	117,87	461,48
360,00	678,99	678,99	3,4299	2,0368	2,4435	1007,2	115,42	419,67
370,00	671,10	703,63	3,4974	2,0756	2,4845	972,59	113,00	383,30
380,00	663,11	728,68	3,5642	2,1145	2,5259	938,45	110,63	351,17
390,00	655,02	754,15	3,6304	2,1534	2,5678	904,70	108,30	322,43
400,00	646,81	780,04	3,6959	2,1923	2,6101	871,29	106,02	296,44
410,00	638,46	806,35	3,7609	2,2310	2,6528	838,16	103,80	272,74
420,00	629,95	833,10	3,8253	2,2695	2,6958	805,26	101,63	250,98
430,00	621,27	860,27	3,8893	2,3078	2,7392	772,53	99,512	230,92
440,00	612,39	887,88	3,9527	2,3458	2,7831	739,91	97,459	212,37
450,00	603,29	915,94	4,0158	2,3835	2,8274	707,34	95,470	195,18
460,00	593,93	944,43	4,0784	2,4209	2,8723	674,75	93,548	179,24
470,00	584,28	973,38	4,1407	2,4579	2,9180	642,07	91,695	164,49
480,00	574,30	1002,8	4,2026	2,4946	2,9646	609,20	89,917	150,85
490,00	563,92	1032,7	4,2642	2,5309	3,0126	576,04	88,215	138,28
500,00	553,09	1063,1	4,3256	2,5668	3,0624	542,47	86,593	126,74
510,00	541,71	1093,9	4,3867	2,6025	3,1146	508,33	85,053	116,19
520,00	529,68	1125,4	4,4477	2,6379	3,1704	473,40	83,598	106,61
530,00	19,482	1375,3	4,9256	2,6103	2,7600	147,28	28,240	9,1556
540,00	18,801	1403,0	4,9774	2,6391	2,7766	151,38	29,470	9,3115
550,00	18,191	1430,8	5,0285	2,6685	2,7964	155,16	30,710	9,4708
560,00	17,639	1458,9	5,0791	2,6982	2,8184	158,66	31,961	9,6329



Продолжение Таблицы Б.4

$T$	$\rho$	$h$	$S$	$C_v$	$C_p$	$w$	$\lambda$	$\eta$
К	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
570,00	17,135	1487,2	5,1292	2,7280	2,8418	161,94	33,223	9,7971
580,00	16,672	1515,8	5,1788	2,7577	2,8663	165,03	34,495	9,9632
590,00	16,242	1544,5	5,2280	2,7873	2,8913	167,97	35,779	10,131
600,00	15,843	1573,6	5,2768	2,8166	2,9168	170,76	37,074	10,300
610,00	15,470	1602,9	5,3252	2,8457	2,9425	173,44	38,381	10,470
620,00	15,119	1632,4	5,3733	2,8744	2,9683	176,01	39,700	10,640
630,00	14,790	1662,2	5,4210	2,9027	2,9940	178,48	41,030	10,812
640,00	14,478	1692,3	5,4684	2,9306	3,0197	180,87	42,373	10,984
650,00	14,183	1722,6	5,5154	2,9581	3,0452	183,19	43,728	11,156
660,00	13,903	1753,2	5,5621	2,9852	3,0704	185,43	45,095	11,329
670,00	13,636	1784,1	5,6084	3,0119	3,0955	187,61	46,474	11,502
680,00	13,382	1815,1	5,6545	3,0382	3,1202	189,74	47,866	11,676
690,00	13,139	1846,5	5,7002	3,0640	3,1447	191,81	49,271	11,849
700,00	12,907	1878,0	5,7456	3,0894	3,1689	193,83	50,688	12,023
p=1 МПа								
244,00	767,84	420,67	2,5664	1,6404	2,0550	1463,5	144,46	2572,5
250,00	763,25	433,04	2,6165	1,6559	2,0681	1436,8	143,12	2215,5
260,00	755,65	453,84	2,6981	1,6835	2,0926	1393,3	140,78	1755,6
270,00	748,08	474,90	2,7775	1,7134	2,1199	1351,0	138,35	1419,7
280,00	740,53	496,25	2,8552	1,7450	2,1495	1309,8	135,85	1171,0
290,00	732,99	517,90	2,9311	1,7782	2,1813	1269,6	133,32	984,06
300,00	725,45	539,88	3,0056	1,8128	2,2149	1230,4	130,76	841,24
310,00	717,90	562,20	3,0788	1,8484	2,2501	1192,1	128,19	730,21
320,00	710,32	584,89	3,1509	1,8850	2,2866	1154,5	125,63	642,27
330,00	702,71	607,94	3,2218	1,9223	2,3242	1117,7	123,09	571,26
340,00	695,06	631,37	3,2917	1,9601	2,3629	1081,6	120,57	512,80
350,00	687,35	655,20	3,3608	1,9984	2,4023	1046,2	118,08	463,73
360,00	679,58	679,42	3,4290	2,0370	2,4425	1011,3	115,64	421,78
370,00	671,73	704,05	3,4965	2,0758	2,4833	976,88	113,24	385,31
380,00	663,79	729,09	3,5633	2,1147	2,5246	942,94	110,87	353,12
390,00	655,75	754,55	3,6294	2,1536	2,5663	909,42	108,55	324,35
400,00	647,59	780,42	3,6949	2,1925	2,6085	876,25	106,29	298,35
410,00	639,30	806,72	3,7598	2,2312	2,6509	843,38	104,07	274,65
420,00	630,86	833,44	3,8242	2,2697	2,6937	810,77	101,91	252,91
430,00	622,26	860,59	3,8881	2,3079	2,7368	778,36	99,808	232,88
440,00	613,47	888,18	3,9515	2,3459	2,7803	746,09	97,767	214,36
450,00	604,46	916,20	4,0145	2,3836	2,8241	713,92	95,790	197,20
460,00	595,22	944,66	4,0771	2,4209	2,8685	681,77	93,880	181,30
470,00	585,70	973,57	4,1392	2,4579	2,9135	649,58	92,040	166,59
480,00	575,87	1002,9	4,2011	2,4945	2,9594	617,28	90,273	152,98
490,00	565,69	1032,8	4,2626	2,5307	3,0063	584,78	88,583	140,45

Продолжение Таблицы Б.4

<i>T</i>	<i>ρ</i>	<i>h</i>	<i>S</i>	<i>Cv</i>	<i>Cp</i>	<i>w</i>	<i>λ</i>	<i>η</i>
К	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
500,00	555,08	1063,1	4,3238	2,5666	3,0547	551,98	86,973	128,93
510,00	543,98	1093,9	4,3848	2,6021	3,1050	518,74	85,445	118,41
520,00	532,29	1125,2	4,4456	2,6374	3,1582	484,91	84,002	108,84
530,00	519,89	1157,0	4,5063	2,6724	3,2153	450,28	82,643	100,20
540,00	506,59	1189,5	4,5669	2,7073	3,2783	414,54	81,369	92,434
550,00	492,12	1222,6	4,6277	2,7421	3,3505	377,26	80,179	85,494
560,00	476,08	1256,6	4,6889	2,7772	3,4384	337,70	79,072	79,282
570,00	42,429	1465,2	5,0579	2,7816	3,0875	127,70	30,822	10,733
580,00	40,135	1495,9	5,1113	2,8024	3,0579	134,96	32,142	10,793
590,00	38,251	1526,5	5,1635	2,8252	3,0469	141,15	33,481	10,873
600,00	36,654	1556,9	5,2147	2,8494	3,0466	146,59	34,835	10,968
610,00	35,267	1587,4	5,2651	2,8743	3,0530	151,47	36,202	11,075
620,00	34,043	1618,0	5,3148	2,8996	3,0640	155,91	37,581	11,192
630,00	32,947	1648,7	5,3639	2,9252	3,0779	160,01	38,972	11,316
640,00	31,956	1679,6	5,4125	2,9508	3,0940	163,81	40,374	11,446
650,00	31,052	1710,6	5,4606	2,9763	3,1116	167,38	41,787	11,582
660,00	30,221	1741,8	5,5083	3,0017	3,1303	170,74	43,212	11,723
670,00	29,453	1773,2	5,5555	3,0269	3,1497	173,92	44,647	11,867
680,00	28,739	1804,8	5,6023	3,0519	3,1697	176,95	46,094	12,014
690,00	28,073	1836,6	5,6487	3,0766	3,1900	179,85	47,551	12,164
700,00	27,449	1868,6	5,6948	3,1010	3,2106	182,62	49,020	12,316
p=1,5 МПа								
244,00	768,13	421,17	2,5657	1,6407	2,0548	1466,1	144,59	2587,4
250,00	763,56	433,53	2,6158	1,6562	2,0679	1439,4	143,25	2228,3
260,00	755,97	454,33	2,6974	1,6839	2,0923	1396,0	140,92	1765,6
270,00	748,42	475,39	2,7769	1,7137	2,1195	1353,8	138,50	1427,7
280,00	740,89	496,73	2,8545	1,7453	2,1492	1312,7	136,01	1177,5
290,00	733,37	518,38	2,9304	1,7785	2,1809	1272,7	133,48	989,34
300,00	725,85	540,36	3,0049	1,8131	2,2144	1233,6	130,93	845,61
310,00	718,33	562,67	3,0781	1,8487	2,2495	1195,4	128,37	733,89
320,00	710,78	585,35	3,1501	1,8853	2,2859	1158,0	125,82	645,43
330,00	703,20	608,40	3,2210	1,9225	2,3235	1121,3	123,29	574,04
340,00	695,57	631,82	3,2910	1,9604	2,3621	1085,4	120,77	515,29
350,00	687,90	655,64	3,3600	1,9987	2,4015	1050,1	118,28	466,00
360,00	680,16	679,86	3,4282	2,0373	2,4415	1015,3	115,86	423,90
370,00	672,35	704,47	3,4956	2,0761	2,4822	981,12	113,47	387,33
380,00	664,46	729,50	3,5624	2,1149	2,5234	947,39	111,11	355,08
390,00	656,46	754,94	3,6285	2,1538	2,5649	914,08	108,81	326,26
400,00	648,36	780,80	3,6939	2,1927	2,6069	881,15	106,55	300,25
410,00	640,13	807,08	3,7588	2,2313	2,6491	848,54	104,34	276,55
420,00	631,76	833,78	3,8232	2,2698	2,6916	816,20	102,19	254,83

Продолжение Таблицы Б.4

$T$	$\rho$	$h$	$S$	$C_v$	$C_p$	$w$	$\lambda$	$\eta$
К	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
430,00	623,23	860,91	3,8870	2,3081	2,7344	784,10	100,10	234,82
440,00	614,52	888,47	3,9504	2,3460	2,7776	752,17	98,073	216,33
450,00	605,62	916,47	4,0133	2,3837	2,8210	720,37	96,108	199,20
460,00	596,48	944,90	4,0758	2,4209	2,8649	688,65	94,209	183,34
470,00	587,09	973,77	4,1378	2,4579	2,9093	656,93	92,381	168,66
480,00	577,41	1003,1	4,1996	2,4944	2,9544	625,16	90,626	155,09
490,00	567,40	1032,9	4,2610	2,5306	3,0004	593,27	88,949	142,58
500,00	557,00	1063,1	4,3220	2,5664	3,0475	561,17	87,350	131,09
510,00	546,15	1093,8	4,3829	2,6018	3,0963	528,75	85,834	120,58
520,00	534,78	1125,0	4,4435	2,6369	3,1472	495,91	84,402	111,03
530,00	522,77	1156,8	4,5039	2,6718	3,2013	462,47	83,054	102,39
540,00	509,99	1189,1	4,5643	2,7064	3,2597	428,22	81,791	94,625
550,00	496,23	1222,0	4,6247	2,7409	3,3248	392,86	80,612	87,690
560,00	481,19	1255,6	4,6853	2,7754	3,4005	355,94	79,514	81,507
570,00	464,40	1290,1	4,7463	2,8102	3,4943	316,71	78,498	75,948
580,00	444,97	1325,6	4,8081	2,8458	3,6240	273,79	77,574	70,775
590,00	420,93	1362,8	4,8717	2,8837	3,8453	224,09	76,793	65,424
600,00	70,941	1531,3	5,1554	2,9058	3,5222	108,38	33,218	12,667
610,00	64,975	1565,6	5,2120	2,9184	3,3597	120,01	34,469	12,534
620,00	60,690	1598,8	5,2660	2,9356	3,2859	129,02	35,817	12,467
630,00	57,342	1631,5	5,3182	2,9554	3,2492	136,48	37,210	12,445
640,00	54,596	1663,9	5,3693	2,9767	3,2317	142,91	38,629	12,455
650,00	52,270	1696,1	5,4193	2,9989	3,2257	148,60	40,068	12,489
660,00	50,256	1728,4	5,4686	3,0216	3,2269	153,72	41,523	12,544
670,00	48,482	1760,7	5,5171	3,0446	3,2330	158,40	42,993	12,614
680,00	46,898	1793,1	5,5651	3,0677	3,2424	162,72	44,475	12,697
690,00	45,469	1825,6	5,6125	3,0909	3,2542	166,74	45,970	12,790
700,00	44,168	1858,2	5,6594	3,1140	3,2678	170,51	47,476	12,893
p=2 МПа								
244,00	768,42	421,66	2,5651	1,6411	2,0546	1468,7	144,71	2602,3
250,00	763,86	434,03	2,6152	1,6565	2,0677	1442,1	143,38	2241,1
260,00	756,29	454,82	2,6967	1,6842	2,0921	1398,8	141,06	1775,8
270,00	748,76	475,88	2,7762	1,7140	2,1192	1356,7	138,65	1435,8
280,00	741,25	497,21	2,8538	1,7456	2,1488	1315,7	136,17	1184,0
290,00	733,75	518,86	2,9297	1,7788	2,1805	1275,7	133,64	994,66
300,00	726,25	540,83	3,0042	1,8133	2,2139	1236,7	131,10	850,02
310,00	718,75	563,14	3,0774	1,8490	2,2490	1198,6	128,55	737,60
320,00	711,23	585,81	3,1494	1,8855	2,2853	1161,4	126,01	648,62
330,00	703,67	608,85	3,2203	1,9228	2,3228	1124,9	123,48	576,83
340,00	696,08	632,27	3,2902	1,9606	2,3613	1089,1	120,98	517,78
350,00	688,44	656,08	3,3592	1,9989	2,4006	1053,9	118,50	468,29

Продолжение Таблицы Б.4

$T$	$\rho$	$h$	$S$	$Cv$	$Cp$	$w$	$\lambda$	$\eta$
К	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
360,00	680,74	680,29	3,4274	2,0375	2,4406	1019,4	116,08	426,04
370,00	672,97	704,90	3,4948	2,0763	2,4811	985,33	113,70	389,35
380,00	665,12	729,91	3,5615	2,1152	2,5221	951,80	111,35	357,03
390,00	657,17	755,34	3,6275	2,1540	2,5636	918,70	109,06	328,18
400,00	649,12	781,18	3,6930	2,1929	2,6053	885,99	106,81	302,15
410,00	640,95	807,45	3,7578	2,2315	2,6473	853,63	104,61	278,45
420,00	632,64	834,13	3,8221	2,2700	2,6896	821,56	102,48	256,74
430,00	624,19	861,24	3,8859	2,3082	2,7322	789,76	100,40	236,75
440,00	615,56	888,78	3,9492	2,3461	2,7750	758,16	98,377	218,28
450,00	606,75	916,74	4,0121	2,3838	2,8181	726,71	96,423	201,19
460,00	597,72	945,14	4,0745	2,4210	2,8615	695,39	94,536	185,36
470,00	588,45	973,97	4,1365	2,4579	2,9053	664,11	92,720	170,71
480,00	578,91	1003,2	4,1981	2,4944	2,9497	632,85	90,977	157,17
490,00	569,06	1033,0	4,2594	2,5305	2,9949	601,52	89,311	144,68
500,00	558,85	1063,1	4,3204	2,5662	3,0409	570,07	87,724	133,21
510,00	548,24	1093,8	4,3810	2,6016	3,0883	538,41	86,219	122,72
520,00	537,15	1124,9	4,4415	2,6366	3,1374	506,45	84,798	113,17
530,00	525,50	1156,5	4,5017	2,6712	3,1889	474,06	83,462	104,53
540,00	513,17	1188,7	4,5618	2,7056	3,2437	441,10	82,210	96,762
550,00	500,00	1221,4	4,6219	2,7398	3,3034	407,35	81,042	89,820
560,00	485,79	1254,8	4,6820	2,7739	3,3705	372,53	79,954	83,640
570,00	470,20	1288,9	4,7423	2,8081	3,4491	336,20	78,945	78,124
580,00	452,69	1323,9	4,8031	2,8426	3,5481	297,64	78,014	73,111
590,00	432,27	1360,0	4,8649	2,8782	3,6877	255,52	77,172	68,293
600,00	406,70	1397,9	4,9287	2,9161	3,9319	206,99	76,446	62,958
610,00	367,93	1440,1	4,9983	2,9624	4,6982	142,59	75,925	54,519
620,00	116,56	1563,7	5,1994	3,0064	4,7939	84,076	36,387	15,220
630,00	98,076	1605,6	5,2663	3,0034	3,8372	103,42	36,289	14,717
640,00	88,343	1642,4	5,3244	3,0134	3,5809	116,09	37,377	14,388
650,00	81,697	1677,6	5,3790	3,0285	3,4663	125,87	38,702	14,167
660,00	76,661	1711,9	5,4314	3,0464	3,4064	133,97	40,115	14,019
670,00	72,619	1745,8	5,4823	3,0658	3,3739	140,94	41,573	13,924
680,00	69,252	1779,5	5,5322	3,0861	3,3570	147,09	43,060	13,870
690,00	66,373	1813,0	5,5811	3,1071	3,3499	152,63	44,568	13,848
700,00	63,863	1846,5	5,6293	3,1284	3,3492	157,67	46,093	13,852
p=2,5 МПа								
244,00	768,71	422,15	2,5645	1,6414	2,0544	1471,2	144,84	2617,3
250,00	764,16	434,52	2,6145	1,6568	2,0675	1444,7	143,51	2254,1
260,00	756,60	455,31	2,6961	1,6845	2,0918	1401,5	141,20	1786,0
270,00	749,09	476,36	2,7755	1,7143	2,1189	1359,5	138,79	1444,0
280,00	741,60	497,70	2,8531	1,7459	2,1485	1318,6	136,32	1190,6

Продолжение Таблицы Б.4

$T$	$\rho$	$h$	$S$	$C_v$	$C_p$	$w$	$\lambda$	$\eta$
К	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
290,00	734,13	519,34	2,9290	1,7791	2,1801	1278,7	133,81	1000,0
300,00	726,65	541,31	3,0035	1,8136	2,2135	1239,9	131,27	854,46
310,00	719,17	563,61	3,0767	1,8493	2,2485	1201,9	128,73	741,34
320,00	711,67	586,28	3,1486	1,8858	2,2848	1164,8	126,20	651,83
330,00	704,15	609,31	3,2195	1,9231	2,3222	1128,4	123,68	579,64
340,00	696,59	632,73	3,2894	1,9609	2,3606	1092,7	121,18	520,30
350,00	688,98	656,53	3,3584	1,9992	2,3998	1057,8	118,71	470,59
360,00	681,32	680,72	3,4265	2,0378	2,4396	1023,4	116,30	428,18
370,00	673,58	705,32	3,4939	2,0765	2,4801	989,50	113,93	391,39
380,00	665,77	730,33	3,5606	2,1154	2,5209	956,16	111,59	358,99
390,00	657,87	755,74	3,6266	2,1543	2,5622	923,26	109,31	330,10
400,00	649,87	781,57	3,6920	2,1931	2,6038	890,78	107,07	304,04
410,00	641,76	807,82	3,7568	2,2317	2,6456	858,66	104,88	280,34
420,00	633,52	834,49	3,8211	2,2702	2,6877	826,86	102,76	258,64
430,00	625,13	861,57	3,8848	2,3084	2,7300	795,33	100,69	238,67
440,00	616,58	889,09	3,9481	2,3463	2,7725	764,04	98,680	220,23
450,00	607,85	917,02	4,0109	2,3839	2,8152	732,95	96,737	203,16
460,00	598,93	945,39	4,0732	2,4211	2,8582	702,00	94,861	187,36
470,00	589,77	974,19	4,1351	2,4579	2,9016	671,15	93,056	172,73
480,00	580,36	1003,4	4,1967	2,4944	2,9453	640,35	91,325	159,22
490,00	570,67	1033,1	4,2579	2,5304	2,9897	609,56	89,670	146,76
500,00	560,65	1063,2	4,3187	2,5661	3,0348	578,71	88,094	135,30
510,00	550,25	1093,8	4,3793	2,6013	3,0809	547,74	86,600	124,82
520,00	539,42	1124,8	4,4395	2,6362	3,1284	516,58	85,190	115,27
530,00	528,09	1156,4	4,4996	2,6708	3,1778	485,13	83,865	106,63
540,00	516,16	1188,4	4,5595	2,7050	3,2297	453,29	82,624	98,851
550,00	503,51	1221,0	4,6192	2,7389	3,2852	420,92	81,467	91,894
560,00	489,98	1254,1	4,6790	2,7727	3,3460	387,83	80,391	85,702
570,00	475,33	1287,9	4,7388	2,8064	3,4145	353,75	79,392	80,194
580,00	459,22	1322,5	4,7989	2,8402	3,4955	318,28	78,467	75,251
590,00	441,06	1357,9	4,8594	2,8744	3,5980	280,82	77,616	70,671
600,00	419,83	1394,6	4,9210	2,9097	3,7428	240,27	76,834	66,086
610,00	393,23	1433,1	4,9847	2,9474	3,9914	194,53	76,085	60,691
620,00	354,18	1475,6	5,0538	2,9925	4,6462	138,70	74,965	52,035
630,00	257,65	1536,1	5,1505	3,0687	8,0456	77,241	62,932	28,026
640,00	160,74	1604,7	5,2586	3,0738	5,2970	84,135	41,449	18,182
650,00	130,82	1650,7	5,3300	3,0706	4,1661	100,07	39,018	17,111
660,00	115,55	1690,3	5,3905	3,0784	3,8043	112,49	39,502	16,491
670,00	105,53	1727,4	5,4463	3,0915	3,6383	122,52	40,628	16,051
680,00	98,166	1763,3	5,4995	3,1076	3,5490	130,97	41,975	15,729

Продолжение Таблицы Б.4

<i>T</i>	<i>ρ</i>	<i>h</i>	<i>S</i>	<i>Cv</i>	<i>Cp</i>	<i>w</i>	<i>λ</i>	<i>η</i>
К	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
690,00	92,388	1798,5	5,5509	3,1254	3,4974	138,32	43,422	15,491
700,00	87,659	1833,3	5,6010	3,1442	3,4673	144,83	44,921	15,316
p=3 МПа								
244,00	769,00	422,65	2,5638	1,6417	2,0542	1473,8	144,97	2632,4
250,00	764,45	435,01	2,6139	1,6571	2,0673	1447,3	143,65	2267,1
260,00	756,92	455,80	2,6954	1,6848	2,0916	1404,2	141,34	1796,3
270,00	749,42	476,85	2,7749	1,7146	2,1186	1362,3	138,94	1452,2
280,00	741,95	498,18	2,8524	1,7462	2,1481	1321,5	136,48	1197,2
290,00	734,50	519,82	2,9284	1,7794	2,1797	1281,7	133,97	1005,4
300,00	727,05	541,78	3,0028	1,8139	2,2130	1243,0	131,45	858,94
310,00	719,59	564,09	3,0759	1,8495	2,2479	1205,1	128,91	745,12
320,00	712,12	586,74	3,1479	1,8861	2,2842	1168,1	126,38	655,07
330,00	704,62	609,77	3,2187	1,9233	2,3215	1131,9	123,87	582,48
340,00	697,09	633,18	3,2886	1,9612	2,3598	1096,4	121,38	522,84
350,00	689,52	656,97	3,3576	1,9994	2,3989	1061,5	118,92	472,90
360,00	681,88	681,16	3,4257	2,0380	2,4387	1027,3	116,52	430,33
370,00	674,19	705,75	3,4931	2,0768	2,4790	993,64	114,16	393,42
380,00	666,42	730,74	3,5597	2,1156	2,5198	960,48	111,83	360,96
390,00	658,57	756,14	3,6257	2,1545	2,5609	927,79	109,55	332,01
400,00	650,62	781,96	3,6911	2,1933	2,6023	895,52	107,33	305,94
410,00	642,56	808,19	3,7558	2,2319	2,6440	863,63	105,15	282,23
420,00	634,38	834,84	3,8201	2,2703	2,6859	832,08	103,04	260,53
430,00	626,06	861,91	3,8837	2,3085	2,7279	800,83	100,98	240,58
440,00	617,59	889,40	3,9469	2,3464	2,7701	769,84	98,980	222,15
450,00	608,94	917,31	4,0097	2,3840	2,8125	739,07	97,048	205,11
460,00	600,11	945,65	4,0719	2,4212	2,8551	708,48	95,184	189,34
470,00	591,07	974,42	4,1338	2,4580	2,8980	678,04	93,390	174,74
480,00	581,79	1003,6	4,1953	2,4944	2,9412	647,69	91,670	161,24
490,00	572,24	1033,2	4,2564	2,5304	2,9848	617,39	90,026	148,80
500,00	562,38	1063,3	4,3171	2,5660	3,0291	587,10	88,462	137,36
510,00	552,19	1093,8	4,3775	2,6012	3,0741	556,77	86,979	126,89
520,00	541,60	1124,8	4,4377	2,6359	3,1202	526,34	85,579	117,34
530,00	530,56	1156,2	4,4976	2,6704	3,1678	495,74	84,264	108,69
540,00	518,99	1188,2	4,5572	2,7044	3,2173	464,89	83,034	100,90
550,00	506,79	1220,6	4,6167	2,7382	3,2695	433,71	81,888	93,918
560,00	493,84	1253,6	4,6761	2,7716	3,3254	402,06	80,823	87,704
570,00	479,96	1287,1	4,7355	2,8050	3,3868	369,79	79,836	82,185
580,00	464,92	1321,3	4,7950	2,8382	3,4562	336,69	78,922	77,263
590,00	448,36	1356,3	4,8548	2,8716	3,5382	302,43	78,077	72,792
600,00	429,70	1392,2	4,9151	2,9054	3,6414	266,58	77,293	68,540
610,00	407,95	1429,2	4,9764	2,9402	3,7841	228,45	76,540	64,099

Продолжение Таблицы Б.4

$T$	$\rho$	$h$	$S$	$C_v$	$C_p$	$w$	$\lambda$	$\eta$
К	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
620,00	381,11	1468,1	5,0396	2,9772	4,0124	187,10	75,671	58,681
630,00	344,48	1510,2	5,1069	3,0191	4,4619	142,14	73,892	50,521
640,00	287,81	1558,8	5,1834	3,0693	5,2766	102,80	66,725	36,706
650,00	221,98	1612,4	5,2666	3,1037	5,2336	92,405	51,925	24,754
660,00	178,34	1661,4	5,3413	3,1125	4,5585	98,468	43,971	20,870
670,00	153,09	1704,5	5,4061	3,1198	4,1015	108,19	41,938	19,397
680,00	136,94	1744,1	5,4649	3,1308	3,8551	117,61	42,060	18,518
690,00	125,50	1781,9	5,5200	3,1449	3,7154	126,09	42,969	17,890
700,00	116,82	1818,6	5,5729	3,1609	3,6316	133,68	44,209	17,415
p=4 МПа								
244,00	769,57	423,63	2,5625	1,6423	2,0538	1478,9	145,22	2662,7
250,00	765,05	436,00	2,6126	1,6577	2,0668	1452,5	143,91	2293,4
260,00	757,55	456,78	2,6941	1,6854	2,0911	1409,5	141,62	1817,1
270,00	750,09	477,83	2,7735	1,7152	2,1180	1367,8	139,24	1468,7
280,00	742,66	499,15	2,8511	1,7468	2,1474	1327,2	136,79	1210,5
290,00	735,24	520,78	2,9270	1,7800	2,1789	1287,7	134,30	1016,4
300,00	727,83	542,73	3,0014	1,8145	2,2121	1249,2	131,79	868,01
310,00	720,42	565,03	3,0745	1,8501	2,2469	1211,6	129,27	752,76
320,00	713,00	587,68	3,1464	1,8866	2,2830	1174,8	126,76	661,63
330,00	705,56	610,69	3,2172	1,9239	2,3203	1138,8	124,26	588,21
340,00	698,09	634,09	3,2871	1,9617	2,3584	1103,6	121,79	527,95
350,00	690,57	657,86	3,3560	1,9999	2,3973	1069,1	119,35	477,56
360,00	683,01	682,04	3,4241	2,0385	2,4369	1035,1	116,96	434,66
370,00	675,39	706,60	3,4914	2,0772	2,4770	1001,8	114,61	397,52
380,00	667,70	731,58	3,5580	2,1161	2,5175	969,00	112,31	364,89
390,00	659,94	756,96	3,6239	2,1549	2,5584	936,69	110,05	335,85
400,00	652,08	782,75	3,6892	2,1937	2,5995	904,84	107,84	309,71
410,00	644,13	808,95	3,7539	2,2323	2,6408	873,39	105,69	285,99
420,00	636,06	835,56	3,8180	2,2707	2,6823	842,33	103,59	264,29
430,00	627,87	862,59	3,8816	2,3088	2,7239	811,60	101,55	244,35
440,00	619,55	890,04	3,9447	2,3467	2,7656	781,18	99,576	225,96
450,00	611,07	917,91	4,0073	2,3842	2,8074	751,03	97,666	208,96
460,00	602,42	946,19	4,0695	2,4213	2,8493	721,11	95,823	193,23
470,00	593,58	974,89	4,1312	2,4581	2,8913	691,41	94,051	178,67
480,00	584,53	1004,0	4,1925	2,4944	2,9335	661,88	92,353	165,22
490,00	575,25	1033,6	4,2535	2,5303	2,9759	632,49	90,730	152,81
500,00	565,71	1063,5	4,3140	2,5658	3,0187	603,22	89,187	141,39
510,00	555,88	1093,9	4,3742	2,6009	3,0619	574,03	87,725	130,92
520,00	545,72	1124,8	4,4341	2,6355	3,1058	544,88	86,346	121,37
530,00	535,18	1156,1	4,4937	2,6697	3,1505	515,74	85,051	112,70
540,00	524,22	1187,8	4,5530	2,7035	3,1963	486,58	83,842	104,87

Продолжение Таблицы Б.4

<i>T</i>	<i>ρ</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>Cv</i>	<i>Cp</i>	<i>w</i>	<i>λ</i>	<i>η</i>
К	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
550,00	512,78	1220,0	4,6121	2,7369	3,2435	457,35	82,717	97,839
560,00	500,77	1252,7	4,6710	2,7700	3,2928	428,02	81,674	91,565
570,00	488,09	1285,9	4,7297	2,8028	3,3447	398,52	80,710	85,988
580,00	474,63	1319,6	4,7883	2,8353	3,4003	368,80	79,821	81,037
590,00	460,21	1353,9	4,8470	2,8677	3,4610	338,79	79,001	76,614
600,00	444,61	1388,8	4,9057	2,8999	3,5288	308,44	78,243	72,590
610,00	427,53	1424,5	4,9647	2,9322	3,6069	277,69	77,532	68,785
620,00	408,52	1461,0	5,0240	2,9648	3,7003	246,58	76,828	64,945
630,00	386,97	1498,6	5,0841	2,9979	3,8157	215,36	76,016	60,711
640,00	362,02	1537,4	5,1453	3,0318	3,9605	184,91	74,783	55,618
650,00	332,86	1577,9	5,2080	3,0664	4,1285	157,46	72,395	49,240
660,00	299,80	1619,9	5,2722	3,1002	4,2694	136,80	67,805	41,803
670,00	265,84	1662,9	5,3368	3,1295	4,3052	125,48	61,179	34,786
680,00	235,16	1705,6	5,4002	3,1523	4,2284	121,99	54,792	29,633
690,00	209,93	1747,3	5,4610	3,1702	4,0969	123,38	50,460	26,347
700,00	190,04	1787,6	5,5189	3,1863	3,9661	127,32	48,262	24,253
p=5 МПа								
246,00	768,64	428,73	2,5780	1,6480	2,0576	1475,1	145,05	2560,7
250,00	765,64	436,98	2,6113	1,6583	2,0664	1457,6	144,18	2320,0
260,00	758,17	457,76	2,6928	1,6860	2,0906	1414,9	141,90	1838,1
270,00	750,74	478,80	2,7722	1,7157	2,1175	1373,3	139,53	1485,5
280,00	743,35	500,12	2,8497	1,7474	2,1468	1332,9	137,10	1224,1
290,00	735,98	521,74	2,9256	1,7805	2,1781	1293,6	134,63	1027,5
300,00	728,61	543,69	3,0000	1,8150	2,2113	1255,3	132,13	877,21
310,00	721,25	565,98	3,0731	1,8506	2,2460	1217,9	129,63	760,52
320,00	713,87	588,61	3,1449	1,8872	2,2820	1181,4	127,13	668,28
330,00	706,48	611,62	3,2157	1,9244	2,3190	1145,7	124,65	594,03
340,00	699,07	635,00	3,2855	1,9622	2,3570	1110,7	122,19	533,14
350,00	691,61	658,76	3,3544	2,0004	2,3958	1076,5	119,77	482,27
360,00	684,12	682,92	3,4225	2,0390	2,4352	1042,8	117,39	439,03
370,00	676,57	707,47	3,4897	2,0777	2,4751	1009,8	115,06	401,64
380,00	668,96	732,42	3,5563	2,1165	2,5154	977,37	112,78	368,84
390,00	661,28	757,78	3,6221	2,1554	2,5560	945,43	110,54	339,68
400,00	653,51	783,54	3,6873	2,1941	2,5969	913,97	108,35	313,48
410,00	645,66	809,71	3,7520	2,2327	2,6379	882,94	106,21	289,72
420,00	637,71	836,30	3,8160	2,2711	2,6790	852,33	104,14	268,02
430,00	629,64	863,29	3,8796	2,3092	2,7201	822,09	102,12	248,09
440,00	621,45	890,70	3,9426	2,3470	2,7614	792,19	100,16	229,72
450,00	613,12	918,52	4,0051	2,3845	2,8026	762,61	98,275	212,75
460,00	604,64	946,75	4,0671	2,4216	2,8439	733,32	96,453	197,05
470,00	595,99	975,40	4,1287	2,4582	2,8852	704,29	94,702	182,53



Продолжение Таблицы Б.4

$T$	$\rho$	$h$	$s$	$C_v$	$C_p$	$w$	$\lambda$	$\eta$
К	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
480,00	587,16	1004,5	4,1899	2,4945	2,9265	675,50	93,025	169,10
490,00	578,12	1033,9	4,2507	2,5303	2,9680	646,92	91,423	156,71
500,00	568,86	1063,8	4,3111	2,5657	3,0095	618,54	89,900	145,31
510,00	559,35	1094,1	4,3711	2,6007	3,0513	590,34	88,458	134,84
520,00	549,55	1124,8	4,4307	2,6352	3,0934	562,29	87,098	125,28
530,00	539,45	1156,0	4,4900	2,6692	3,1359	534,38	85,823	116,58
540,00	529,01	1187,6	4,5491	2,7028	3,1790	506,60	84,633	108,70
550,00	518,17	1219,6	4,6078	2,7360	3,2229	478,93	83,527	101,62
560,00	506,89	1252,0	4,6663	2,7688	3,2677	451,37	82,505	95,270
570,00	495,12	1284,9	4,7245	2,8012	3,3139	423,90	81,563	89,614
580,00	482,77	1318,3	4,7826	2,8333	3,3617	396,54	80,698	84,588
590,00	469,77	1352,2	4,8404	2,8650	3,4118	369,29	79,905	80,118
600,00	456,00	1386,6	4,8982	2,8964	3,4647	342,18	79,179	76,111
610,00	441,35	1421,5	4,9560	2,9276	3,5212	315,27	78,509	72,453
620,00	425,66	1457,0	5,0137	2,9586	3,5821	288,68	77,879	69,002
630,00	408,75	1493,1	5,0715	2,9895	3,6483	262,61	77,253	65,586
640,00	390,43	1530,0	5,1296	3,0203	3,7201	237,45	76,551	62,010
650,00	370,54	1567,6	5,1878	3,0509	3,7962	213,80	75,615	58,078
660,00	349,05	1605,9	5,2464	3,0812	3,8718	192,61	74,179	53,660
670,00	326,23	1645,0	5,3051	3,1106	3,9370	174,98	71,922	48,795
680,00	302,78	1684,6	5,3638	3,1385	3,9793	161,77	68,688	43,780
690,00	279,74	1724,4	5,4220	3,1641	3,9906	153,14	64,760	39,075
700,00	258,18	1764,3	5,4793	3,1870	3,9724	148,52	60,814	35,061
p=10 МПа								
250,00	768,51	441,92	2,6050	1,6614	2,0646	1482,7	145,52	2456,9
260,00	761,21	462,69	2,6864	1,6890	2,0884	1440,8	143,32	1946,7
270,00	753,95	483,70	2,7657	1,7187	2,1149	1400,2	141,02	1572,6
280,00	746,73	504,99	2,8432	1,7503	2,1438	1360,7	138,66	1294,6
290,00	739,54	526,59	2,9189	1,7834	2,1748	1322,3	136,26	1085,2
300,00	732,38	548,49	2,9932	1,8179	2,2074	1285,0	133,83	925,22
310,00	725,23	570,74	3,0661	1,8534	2,2416	1248,7	131,40	801,00
320,00	718,08	593,33	3,1379	1,8899	2,2771	1213,3	128,98	702,98
330,00	710,93	616,28	3,2085	1,9271	2,3135	1178,7	126,57	624,29
340,00	703,78	639,61	3,2781	1,9648	2,3509	1145,0	124,19	560,02
350,00	696,60	663,30	3,3468	2,0030	2,3890	1112,0	121,84	506,59
360,00	689,41	687,39	3,4146	2,0415	2,4276	1079,7	119,53	461,41
370,00	682,18	711,86	3,4817	2,0802	2,4667	1048,1	117,28	422,60
380,00	674,92	736,72	3,5480	2,1189	2,5061	1017,2	115,08	388,76
390,00	667,61	761,98	3,6136	2,1577	2,5457	986,82	112,93	358,88
400,00	660,26	787,64	3,6786	2,1963	2,5854	957,04	110,82	332,18
410,00	652,84	813,69	3,7429	2,2348	2,6251	927,81	108,78	308,10

Продолжение Таблицы Б.4

<i>T</i>	<i>ρ</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>Cv</i>	<i>Cp</i>	<i>w</i>	<i>λ</i>	<i>η</i>
К	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
420,00	645,37	840,14	3,8066	2,2731	2,6649	899,11	106,79	286,21
430,00	637,83	866,99	3,8698	2,3111	2,7045	870,89	104,87	266,20
440,00	630,21	894,23	3,9324	2,3488	2,7440	843,16	103,01	247,81
450,00	622,52	921,87	3,9945	2,3861	2,7833	815,89	101,21	230,86
460,00	614,73	949,89	4,0561	2,4230	2,8224	789,07	99,484	215,21
470,00	606,85	978,31	4,1172	2,4595	2,8612	762,68	97,827	200,73
480,00	598,86	1007,1	4,1779	2,4956	2,8997	736,73	96,242	187,35
490,00	590,76	1036,3	4,2381	2,5312	2,9379	711,19	94,731	174,97
500,00	582,55	1065,9	4,2978	2,5663	2,9758	686,08	93,298	163,54
510,00	574,21	1095,8	4,3571	2,6009	3,0133	661,39	91,943	153,00
520,00	565,74	1126,1	4,4160	2,6350	3,0504	637,12	90,668	143,31
530,00	557,13	1156,8	4,4744	2,6685	3,0872	613,29	89,475	134,43
540,00	548,37	1187,9	4,5325	2,7016	3,1236	589,91	88,365	126,30
550,00	539,46	1219,3	4,5901	2,7342	3,1595	566,99	87,339	118,89
560,00	530,38	1251,1	4,6474	2,7663	3,1950	544,55	86,395	112,16
570,00	521,14	1283,2	4,7042	2,7978	3,2301	522,62	85,535	106,06
580,00	511,72	1315,7	4,7607	2,8289	3,2647	501,22	84,756	100,56
590,00	502,12	1348,5	4,8168	2,8594	3,2988	480,40	84,056	95,598
600,00	492,34	1381,6	4,8725	2,8894	3,3323	460,19	83,434	91,135
610,00	482,38	1415,1	4,9279	2,9190	3,3652	440,63	82,887	87,116
620,00	472,23	1448,9	4,9829	2,9480	3,3974	421,76	82,410	83,488
630,00	461,91	1483,1	5,0375	2,9765	3,4288	403,65	82,000	80,197
640,00	451,42	1517,5	5,0917	3,0046	3,4593	386,34	81,653	77,187
650,00	440,78	1552,3	5,1456	3,0321	3,4889	369,89	81,361	74,402
660,00	430,00	1587,3	5,1991	3,0591	3,5173	354,35	81,117	71,790
670,00	419,11	1622,6	5,2522	3,0856	3,5444	339,78	80,911	69,303
680,00	408,13	1658,2	5,3049	3,1116	3,5701	326,23	80,730	66,900
690,00	397,11	1694,0	5,3572	3,1370	3,5942	313,72	80,557	64,548
700,00	386,09	1730,1	5,4090	3,1619	3,6167	302,29	80,374	62,224
p=20 МПа								
260,00	766,95	472,60	2,6742	1,6951	2,0851	1489,9	146,17	2180,5
270,00	759,99	493,58	2,7534	1,7247	2,1110	1450,7	144,00	1760,9
280,00	753,08	514,83	2,8307	1,7562	2,1392	1412,8	141,76	1447,9
290,00	746,22	536,37	2,9062	1,7892	2,1695	1376,1	139,48	1211,4
300,00	739,40	558,22	2,9803	1,8236	2,2014	1340,5	137,18	1030,2
310,00	732,62	580,40	3,0531	1,8591	2,2348	1305,9	134,87	889,60
320,00	725,86	602,92	3,1246	1,8954	2,2695	1272,2	132,57	778,77
330,00	719,12	625,79	3,1949	1,9325	2,3051	1239,6	130,29	690,09
340,00	712,39	649,02	3,2643	1,9702	2,3415	1207,7	128,04	618,02
350,00	705,68	672,63	3,3327	2,0083	2,3786	1176,8	125,83	558,52
360,00	698,96	696,60	3,4002	2,0467	2,4162	1146,6	123,65	508,63

Продолжение Таблицы Б.4

<i>T</i>	<i>ρ</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>Cv</i>	<i>Cp</i>	<i>w</i>	<i>λ</i>	<i>η</i>
К	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
370,00	692,25	720,95	3,4669	2,0853	2,4542	1117,2	121,52	466,16
380,00	685,54	745,68	3,5329	2,1240	2,4924	1088,5	119,44	429,51
390,00	678,82	770,80	3,5981	2,1626	2,5307	1060,5	117,42	397,47
400,00	672,09	796,30	3,6627	2,2012	2,5690	1033,2	115,47	369,12
410,00	665,34	822,18	3,7266	2,2396	2,6073	1006,5	113,58	343,79
420,00	658,57	848,44	3,7899	2,2777	2,6454	980,43	111,74	320,96
430,00	651,79	875,09	3,8526	2,3156	2,6833	954,99	109,96	300,23
440,00	644,99	902,11	3,9147	2,3532	2,7210	930,13	108,25	281,30
450,00	638,16	929,51	3,9763	2,3903	2,7583	905,86	106,60	263,93
460,00	631,30	957,27	4,0373	2,4271	2,7952	882,15	105,02	247,93
470,00	624,41	985,41	4,0978	2,4634	2,8317	858,99	103,51	233,16
480,00	617,50	1013,9	4,1578	2,4992	2,8677	836,39	102,07	219,49
490,00	610,55	1042,8	4,2173	2,5346	2,9033	814,33	100,70	206,83
500,00	603,58	1072,0	4,2763	2,5694	2,9383	792,82	99,399	195,09
510,00	596,57	1101,5	4,3348	2,6038	2,9727	771,85	98,175	184,20
520,00	589,53	1131,4	4,3929	2,6376	3,0065	751,42	97,026	174,12
530,00	582,46	1161,7	4,4505	2,6708	3,0398	731,53	95,952	164,77
540,00	575,36	1192,2	4,5076	2,7036	3,0724	712,18	94,955	156,11
550,00	568,22	1223,1	4,5643	2,7358	3,1043	693,39	94,035	148,11
560,00	561,07	1254,3	4,6205	2,7674	3,1356	675,15	93,192	140,71
570,00	553,88	1285,8	4,6762	2,7985	3,1662	657,47	92,426	133,88
580,00	546,67	1317,6	4,7316	2,8291	3,1961	640,36	91,737	127,57
590,00	539,45	1349,7	4,7865	2,8591	3,2252	623,82	91,124	121,76
600,00	532,21	1382,1	4,8409	2,8886	3,2537	607,85	90,587	116,41
610,00	524,95	1414,8	4,8949	2,9176	3,2814	592,47	90,124	111,49
620,00	517,69	1447,7	4,9485	2,9460	3,3084	577,67	89,735	106,95
630,00	510,43	1481,0	5,0016	2,9739	3,3347	563,46	89,417	102,76
640,00	503,18	1514,4	5,0544	3,0014	3,3602	549,85	89,168	98,905
650,00	495,93	1548,2	5,1066	3,0283	3,3849	536,82	88,987	95,340
660,00	488,71	1582,1	5,1585	3,0547	3,4090	524,39	88,871	92,040
670,00	481,51	1616,3	5,2099	3,0806	3,4323	512,55	88,818	88,976
680,00	474,35	1650,8	5,2610	3,1061	3,4548	501,30	88,826	86,123
690,00	467,22	1685,4	5,3116	3,1311	3,4767	490,62	88,892	83,457
700,00	460,14	1720,3	5,3617	3,1556	3,4978	480,51	89,013	80,954
p=40 МПа								
280,00	764,46	534,75	2,8077	1,7678	2,1337	1506,5	147,83	1795,9
290,00	758,12	556,23	2,8831	1,8006	2,1630	1472,2	145,74	1499,0
300,00	751,84	578,01	2,9569	1,8349	2,1940	1439,0	143,62	1270,4
310,00	745,61	600,11	3,0294	1,8702	2,2264	1406,9	141,49	1092,2
320,00	739,44	622,54	3,1006	1,9064	2,2600	1375,9	139,38	951,55
330,00	733,31	645,32	3,1707	1,9434	2,2946	1345,8	137,28	839,16

Продолжение Таблицы Б.4

<i>T</i>	<i>ρ</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>Cv</i>	<i>Cp</i>	<i>w</i>	<i>λ</i>	<i>η</i>
К	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
340,00	727,22	668,44	3,2397	1,9810	2,3300	1316,7	135,22	748,15
350,00	721,17	691,92	3,3077	2,0189	2,3660	1288,5	133,19	673,49
360,00	715,16	715,76	3,3749	2,0572	2,4024	1261,1	131,21	611,43
370,00	709,17	739,97	3,4412	2,0957	2,4392	1234,5	129,27	559,18
380,00	703,21	764,54	3,5068	2,1343	2,4762	1208,7	127,39	514,63
390,00	697,28	789,49	3,5716	2,1728	2,5132	1183,6	125,56	476,20
400,00	691,37	814,81	3,6357	2,2112	2,5503	1159,3	123,78	442,66
410,00	685,49	840,50	3,6991	2,2495	2,5872	1135,7	122,07	413,10
420,00	679,62	866,55	3,7619	2,2876	2,6239	1112,7	120,41	386,80
430,00	673,78	892,97	3,8240	2,3253	2,6604	1090,4	118,82	363,21
440,00	667,95	919,76	3,8856	2,3628	2,6966	1068,8	117,31	341,88
450,00	662,15	946,90	3,9466	2,3998	2,7324	1047,7	115,87	322,49
460,00	656,36	974,41	4,0071	2,4364	2,7679	1027,3	114,48	304,75
470,00	650,59	1002,3	4,0670	2,4726	2,8028	1007,4	113,16	288,46
480,00	644,83	1030,5	4,1263	2,5083	2,8373	988,12	111,91	273,43
490,00	639,10	1059,0	4,1852	2,5435	2,8712	969,39	110,72	259,53
500,00	633,38	1087,9	4,2435	2,5782	2,9046	951,21	109,60	246,63
510,00	627,68	1117,1	4,3014	2,6124	2,9374	933,56	108,54	234,63
520,00	621,99	1146,6	4,3587	2,6460	2,9697	916,45	107,55	223,46
530,00	616,33	1176,5	4,4156	2,6792	3,0013	899,86	106,63	213,04
540,00	610,69	1206,7	4,4720	2,7117	3,0324	883,78	105,77	203,30
550,00	605,07	1237,1	4,5279	2,7437	3,0628	868,21	104,98	194,21
560,00	599,47	1267,9	4,5834	2,7752	3,0926	853,13	104,26	185,69
570,00	593,90	1299,0	4,6384	2,8061	3,1218	838,54	103,60	177,73
580,00	588,36	1330,3	4,6929	2,8365	3,1503	824,44	103,01	170,27
590,00	582,84	1362,0	4,7470	2,8663	3,1782	810,81	102,49	163,28
600,00	577,35	1393,9	4,8006	2,8956	3,2056	797,64	102,03	156,73
610,00	571,89	1426,1	4,8539	2,9244	3,2323	784,94	101,63	150,58
620,00	566,47	1458,5	4,9066	2,9526	3,2584	772,69	101,30	144,82
630,00	561,08	1491,3	4,9590	2,9804	3,2839	760,88	101,03	139,41
640,00	555,72	1524,2	5,0109	3,0076	3,3088	749,51	100,82	134,32
650,00	550,41	1557,4	5,0624	3,0343	3,3331	738,57	100,67	129,55
660,00	545,13	1590,9	5,1134	3,0606	3,3569	728,05	100,59	125,06
670,00	539,90	1624,6	5,1641	3,0864	3,3801	717,94	100,56	120,84
680,00	534,71	1658,5	5,2143	3,1117	3,4028	708,22	100,59	116,86
690,00	529,57	1692,6	5,2642	3,1365	3,4249	698,90	100,67	113,11
700,00	524,47	1727,0	5,3136	3,1609	3,4465	689,96	100,81	109,58
p=60 МПа								
290,00	768,55	576,36	2,8621	1,8117	2,1600	1557,1	151,67	1825,0
300,00	762,68	598,11	2,9359	1,8458	2,1903	1525,7	149,67	1543,1
310,00	756,87	620,17	3,0082	1,8809	2,2222	1495,4	147,66	1322,3

Продолжение Таблицы Б.4

<i>T</i>	<i>ρ</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>Cv</i>	<i>Cp</i>	<i>w</i>	<i>λ</i>	<i>η</i>
К	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
320,00	751,13	642,55	3,0793	1,9170	2,2552	1466,2	145,66	1147,4
330,00	745,45	665,27	3,1492	1,9539	2,2892	1437,9	143,68	1007,3
340,00	739,82	688,34	3,2180	1,9913	2,3239	1410,6	141,74	893,88
350,00	734,24	711,75	3,2859	2,0292	2,3593	1384,1	139,83	800,95
360,00	728,71	735,53	3,3529	2,0674	2,3951	1358,6	137,96	723,96
370,00	723,22	759,66	3,4190	2,1058	2,4313	1333,8	136,15	659,44
380,00	717,78	784,15	3,4843	2,1442	2,4677	1309,8	134,38	604,78
390,00	712,38	809,01	3,5489	2,1827	2,5041	1286,6	132,67	557,97
400,00	707,01	834,24	3,6127	2,2211	2,5406	1264,1	131,02	517,46
410,00	701,68	859,82	3,6759	2,2593	2,5769	1242,3	129,43	482,08
420,00	696,39	885,77	3,7385	2,2972	2,6131	1221,2	127,90	450,89
430,00	691,13	912,08	3,8004	2,3349	2,6490	1200,7	126,43	423,15
440,00	685,91	938,75	3,8617	2,3723	2,6846	1180,8	125,02	398,31
450,00	680,72	965,77	3,9224	2,4092	2,7199	1161,5	123,68	375,90
460,00	675,56	993,15	3,9826	2,4458	2,7548	1142,8	122,40	355,55
470,00	670,44	1020,9	4,0422	2,4819	2,7892	1124,7	121,18	336,98
480,00	665,34	1048,9	4,1012	2,5175	2,8232	1107,1	120,02	319,95
490,00	660,28	1077,3	4,1598	2,5527	2,8566	1090,1	118,94	304,26
500,00	655,25	1106,1	4,2178	2,5873	2,8896	1073,6	117,93	289,75
510,00	650,25	1135,1	4,2754	2,6214	2,9220	1057,6	116,98	276,30
520,00	645,28	1164,5	4,3324	2,6550	2,9538	1042,1	116,09	263,78
530,00	640,35	1194,2	4,3890	2,6880	2,9851	1027,0	115,26	252,11
540,00	635,45	1224,2	4,4451	2,7205	3,0158	1012,5	114,49	241,21
550,00	630,58	1254,5	4,5007	2,7525	3,0459	998,35	113,78	231,00
560,00	625,74	1285,1	4,5559	2,7839	3,0755	984,69	113,13	221,43
570,00	620,94	1316,0	4,6105	2,8147	3,1045	971,47	112,55	212,45
580,00	616,17	1347,2	4,6648	2,8450	3,1328	958,67	112,02	204,00
590,00	611,43	1378,7	4,7186	2,8748	3,1606	946,29	111,55	196,06
600,00	606,74	1410,4	4,7719	2,9040	3,1879	934,32	111,14	188,57
610,00	602,08	1442,4	4,8248	2,9327	3,2146	922,75	110,78	181,51
620,00	597,45	1474,7	4,8773	2,9609	3,2407	911,56	110,49	174,86
630,00	592,86	1507,2	4,9294	2,9886	3,2662	900,75	110,24	168,57
640,00	588,32	1540,0	4,9810	3,0158	3,2913	890,31	110,06	162,63
650,00	583,81	1573,1	5,0322	3,0424	3,3157	880,23	109,93	157,01
660,00	579,34	1606,3	5,0830	3,0686	3,3397	870,51	109,85	151,70
670,00	574,91	1639,9	5,1334	3,0944	3,3632	861,12	109,83	146,67
680,00	570,52	1673,6	5,1834	3,1196	3,3861	852,07	109,86	141,91
690,00	566,17	1707,6	5,2330	3,1444	3,4086	843,34	109,94	137,39
700,00	561,87	1741,8	5,2822	3,1687	3,4306	834,93	110,07	133,11
p=80 МПа								
310,00	766,87	640,44	2,9889	1,8912	2,2204	1575,0	153,40	1575,1

Продолжение Таблицы Б.4

$T$	$\rho$	$h$	$s$	$C_v$	$C_p$	$w$	$\lambda$	$\eta$
К	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
320,00	761,46	662,80	3,0599	1,9272	2,2530	1547,1	151,47	1362,4
330,00	756,12	685,50	3,1298	1,9639	2,2866	1520,1	149,56	1191,5
340,00	750,85	708,54	3,1985	2,0012	2,3209	1494,1	147,69	1052,9
350,00	745,63	731,92	3,2663	2,0390	2,3559	1469,0	145,85	939,29
360,00	740,46	755,66	3,3332	2,0771	2,3914	1444,7	144,05	845,23
370,00	735,35	779,75	3,3992	2,1154	2,4272	1421,3	142,31	766,56
380,00	730,29	804,20	3,4644	2,1537	2,4632	1398,6	140,62	700,12
390,00	725,27	829,01	3,5288	2,1921	2,4993	1376,6	138,98	643,46
400,00	720,30	854,19	3,5926	2,2304	2,5354	1355,3	137,40	594,69
410,00	715,38	879,72	3,6556	2,2685	2,5714	1334,8	135,89	552,33
420,00	710,49	905,61	3,7180	2,3064	2,6072	1314,9	134,43	515,22
430,00	705,65	931,86	3,7798	2,3440	2,6429	1295,6	133,03	482,45
440,00	700,85	958,47	3,8409	2,3813	2,6782	1276,9	131,70	453,29
450,00	696,09	985,43	3,9015	2,4182	2,7132	1258,8	130,43	427,16
460,00	691,36	1012,7	3,9615	2,4547	2,7478	1241,2	129,22	403,61
470,00	686,68	1040,4	4,0210	2,4907	2,7820	1224,2	128,07	382,24
480,00	682,03	1068,4	4,0799	2,5263	2,8157	1207,7	126,99	362,75
490,00	677,42	1096,7	4,1383	2,5614	2,8490	1191,8	125,96	344,89
500,00	672,84	1125,3	4,1962	2,5959	2,8818	1176,3	125,00	328,46
510,00	668,30	1154,3	4,2536	2,6300	2,9140	1161,3	124,09	313,29
520,00	663,80	1183,6	4,3105	2,6635	2,9457	1146,7	123,25	299,22
530,00	659,34	1213,2	4,3669	2,6965	2,9769	1132,7	122,46	286,14
540,00	654,91	1243,2	4,4228	2,7289	3,0075	1119,0	121,73	273,95
550,00	650,51	1273,4	4,4783	2,7608	3,0375	1105,8	121,09	262,56
560,00	646,15	1303,9	4,5333	2,7922	3,0670	1092,9	120,50	251,89
570,00	641,83	1334,7	4,5878	2,8230	3,0960	1080,5	119,96	241,88
580,00	637,54	1365,8	4,6419	2,8532	3,1243	1068,5	119,48	232,47
590,00	633,29	1397,2	4,6956	2,8830	3,1522	1056,8	119,05	223,61
600,00	629,08	1428,9	4,7488	2,9121	3,1794	1045,6	118,67	215,27
610,00	624,90	1460,8	4,8015	2,9408	3,2062	1034,6	118,35	207,39
620,00	620,76	1493,0	4,8539	2,9689	3,2324	1024,1	118,08	199,95
630,00	616,65	1525,4	4,9058	2,9966	3,2580	1013,8	117,87	192,91
640,00	612,59	1558,2	4,9573	3,0237	3,2832	1003,9	117,70	186,25
650,00	608,56	1591,1	5,0084	3,0503	3,3078	994,36	117,58	179,94
660,00	604,56	1624,3	5,0591	3,0765	3,3320	985,09	117,52	173,95
670,00	600,61	1657,7	5,1094	3,1021	3,3556	976,13	117,50	168,28
680,00	596,69	1691,4	5,1593	3,1273	3,3788	967,46	117,54	162,88
690,00	592,81	1725,3	5,2088	3,1521	3,4015	959,08	117,62	157,76
700,00	588,97	1759,4	5,2579	3,1764	3,4237	950,98	117,74	152,89
p=100 МПа								
330,00	765,70	705,90	3,1119	1,9735	2,2858	1595,0	154,98	1389,8

Окончание Таблицы Б.4

$T$	$\rho$	$h$	$s$	$C_v$	$C_p$	$w$	$\lambda$	$\eta$
К	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
340,00	760,70	728,92	3,1807	2,0107	2,3198	1570,0	153,14	1223,7
350,00	755,77	752,30	3,2484	2,0483	2,3545	1545,9	151,34	1087,5
360,00	750,90	776,02	3,3152	2,0863	2,3897	1522,6	149,58	974,60
370,00	746,08	800,09	3,3812	2,1244	2,4253	1500,1	147,88	880,27
380,00	741,31	824,52	3,4464	2,1627	2,4610	1478,4	146,22	800,71
390,00	736,60	849,31	3,5107	2,2010	2,4969	1457,4	144,63	733,03
400,00	731,93	874,46	3,5744	2,2392	2,5327	1437,1	143,09	674,95
410,00	727,32	899,97	3,6374	2,2772	2,5686	1417,4	141,62	624,70
420,00	722,75	925,83	3,6997	2,3150	2,6042	1398,4	140,20	580,87
430,00	718,22	952,05	3,7614	2,3525	2,6396	1380,0	138,85	542,35
440,00	713,74	978,62	3,8225	2,3897	2,6748	1362,1	137,56	508,26
450,00	709,29	1005,5	3,8830	2,4266	2,7096	1344,9	136,33	477,87
460,00	704,89	1032,8	3,9429	2,4630	2,7441	1328,1	135,16	450,62
470,00	700,54	1060,4	4,0023	2,4990	2,7782	1311,9	134,06	426,04
480,00	696,22	1088,4	4,0612	2,5345	2,8118	1296,2	133,02	403,74
490,00	691,94	1116,7	4,1195	2,5695	2,8449	1281,0	132,03	383,41
500,00	687,69	1145,3	4,1773	2,6040	2,8776	1266,2	131,11	364,79
510,00	683,49	1174,2	4,2346	2,6380	2,9098	1251,9	130,25	347,67
520,00	679,32	1203,5	4,2914	2,6715	2,9414	1238,1	129,44	331,87
530,00	675,19	1233,0	4,3477	2,7044	2,9725	1224,6	128,69	317,23
540,00	671,10	1262,9	4,4036	2,7368	3,0031	1211,6	128,00	303,63
550,00	667,04	1293,1	4,4589	2,7686	3,0331	1199,0	127,37	290,96
560,00	663,02	1323,6	4,5139	2,7999	3,0626	1186,7	126,79	279,12
570,00	659,04	1354,3	4,5683	2,8307	3,0915	1174,8	126,27	268,04
580,00	655,09	1385,4	4,6223	2,8609	3,1199	1163,3	125,80	257,64
590,00	651,18	1416,7	4,6759	2,8906	3,1478	1152,2	125,38	247,87
600,00	647,30	1448,4	4,7290	2,9197	3,1751	1141,4	125,01	238,67
610,00	643,46	1480,2	4,7817	2,9483	3,2019	1130,9	124,73	229,99
620,00	639,66	1512,4	4,8340	2,9764	3,2282	1120,7	124,49	221,80
630,00	635,89	1544,8	4,8859	3,0040	3,2540	1110,9	124,29	214,06
640,00	632,15	1577,5	4,9373	3,0310	3,2792	1101,3	124,15	206,73
650,00	628,45	1610,4	4,9884	3,0576	3,3039	1092,1	124,04	199,78
660,00	624,79	1643,6	5,0390	3,0837	3,3282	1083,1	123,99	193,19
670,00	621,16	1677,0	5,0892	3,1094	3,3520	1074,4	123,98	186,94
680,00	617,56	1710,6	5,1390	3,1345	3,3753	1066,0	124,02	181,00
690,00	614,00	1744,5	5,1885	3,1592	3,3981	1057,9	124,11	175,35
700,00	610,48	1778,6	5,2375	3,1835	3,4205	1050,0	124,23	169,97

Таблица Б.5 – Теплофизические свойства н-декана на линии насыщения

$T$	$P_s$	$\rho'$	$\rho''$	$h'$	$h''$	$s'$	$s''$	$C_p'$	$C_p''$	$w'$	$w''$	$\lambda'$	$\lambda''$	$\eta'$	$\eta''$
К	МПа	кг/м <sup>3</sup>	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	м/с	мВт/м*К	мВт/м*К	мкПа*с	мкПа*с
245,00	0,0000015807	766,48	0,00011041	421,74	816,81	2,5761	4,1886	2,0575	1,4144	1453,8	122,20	143,99	7,3818	2479,3	3,5840
250,00	0,0000027388	762,65	0,00018747	432,06	823,93	2,6178	4,1853	2,0686	1,4341	1431,5	123,41	142,86	7,6734	2190,1	3,6750
255,00	0,0000046245	758,82	0,00031035	442,43	831,15	2,6589	4,1833	2,0805	1,4541	1409,5	124,60	141,69	7,9700	1944,6	3,7663
260,00	0,0000076221	755,01	0,00050169	452,87	838,47	2,6994	4,1825	2,0932	1,4745	1387,8	125,78	140,50	8,2716	1735,6	3,8576
265,00	0,000012281	751,20	0,00079309	463,36	845,89	2,7394	4,1829	2,1065	1,4951	1366,4	126,94	139,29	8,5781	1557,0	3,9492
270,00	0,000019370	747,40	0,0012277	473,93	853,42	2,7789	4,1844	2,1205	1,5161	1345,3	128,09	138,05	8,8894	1403,8	4,0408
275,00	0,000029944	743,60	0,0018636	484,57	861,05	2,8179	4,1869	2,1351	1,5373	1324,4	129,23	136,81	9,2057	1272,0	4,1326
280,00	0,000045426	739,81	0,0027768	495,28	868,78	2,8565	4,1905	2,1503	1,5588	1303,9	130,36	135,54	9,5267	1158,2	4,2245
285,00	0,000067699	736,02	0,0040659	506,07	876,63	2,8947	4,1949	2,1660	1,5804	1283,5	131,48	134,27	9,8524	1059,5	4,3165
290,00	0,000099214	732,23	0,0058564	516,94	884,57	2,9325	4,2002	2,1822	1,6023	1263,5	132,58	132,99	10,183	973,64	4,4086
295,00	0,00014312	728,44	0,0083056	527,90	892,63	2,9700	4,2064	2,1988	1,6244	1243,6	133,67	131,71	10,518	898,55	4,5008
300,00	0,00020338	724,64	0,011608	538,93	900,79	3,0071	4,2133	2,2159	1,6466	1224,0	134,75	130,42	10,857	832,61	4,5931
305,00	0,00028496	720,84	0,016000	550,06	909,06	3,0439	4,2209	2,2333	1,6690	1204,6	135,82	129,13	11,201	774,46	4,6855
310,00	0,00039396	717,04	0,021768	561,27	917,44	3,0803	4,2293	2,2512	1,6915	1185,4	136,87	127,84	11,550	722,94	4,7779
315,00	0,00053778	713,23	0,029250	572,57	925,93	3,1165	4,2383	2,2693	1,7142	1166,4	137,90	126,55	11,902	677,07	4,8704
320,00	0,00072533	709,41	0,038847	583,96	934,52	3,1524	4,2479	2,2878	1,7370	1147,6	138,92	125,26	12,258	636,03	4,9630
325,00	0,00096721	705,58	0,051024	595,45	943,23	3,1880	4,2581	2,3066	1,7598	1129,0	139,92	123,97	12,619	599,13	5,0556
330,00	0,0012759	701,74	0,066316	607,03	952,03	3,2233	4,2688	2,3256	1,7828	1110,5	140,91	122,70	12,983	565,80	5,1483
335,00	0,0016658	697,89	0,085337	618,71	960,95	3,2585	4,2801	2,3449	1,8059	1092,3	141,87	121,42	13,350	535,53	5,2410
340,00	0,0021538	694,02	0,10878	630,48	969,97	3,2933	4,2918	2,3645	1,8291	1074,1	142,81	120,16	13,721	507,91	5,3338
345,00	0,0027589	690,14	0,13743	642,35	979,09	3,3280	4,3041	2,3842	1,8523	1056,2	143,74	118,90	14,095	482,58	5,4266
350,00	0,0035031	686,25	0,17214	654,32	988,31	3,3624	4,3167	2,4042	1,8757	1038,3	144,63	117,66	14,472	459,25	5,5195
355,00	0,0044107	682,34	0,21390	666,40	997,64	3,3967	4,3298	2,4243	1,8990	1020,6	145,51	116,42	14,852	437,66	5,6123
360,00	0,0055092	678,40	0,26374	678,57	1007,1	3,4307	4,3432	2,4446	1,9225	1003,1	146,35	115,20	15,234	417,60	5,7052
365,00	0,0068289	674,45	0,32285	690,84	1016,6	3,4646	4,3571	2,4650	1,9460	985,65	147,17	113,98	15,618	398,87	5,7982



Продолжение Таблицы Б.5

$T$	$P_s$	$\rho'$	$\rho''$	$h'$	$h''$	$s'$	$s''$	$C_p'$	$C_p''$	$w'$	$w''$	$\lambda'$	$\lambda''$	$\eta'$	$\eta''$
К	МПа	кг/м <sup>3</sup>	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	м/с	мВт/м*К	мВт/м*К	мкПа*с	мкПа*с
370,00	0,0084036	670,47	0,39247	703,22	1026,2	3,4983	4,3712	2,4856	1,9696	968,34	147,95	112,77	16,004	381,33	5,8912
375,00	0,010270	666,47	0,47398	715,70	1035,9	3,5318	4,3857	2,5063	1,9932	951,13	148,71	111,58	16,391	364,84	5,9842
380,00	0,012468	662,45	0,56886	728,29	1045,7	3,5651	4,4005	2,5272	2,0169	934,03	149,42	110,39	16,780	349,28	6,0773
385,00	0,015041	658,40	0,67868	740,98	1055,7	3,5983	4,4156	2,5482	2,0407	917,02	150,10	109,22	17,170	334,55	6,1704
390,00	0,018037	654,32	0,80514	753,77	1065,6	3,6313	4,4309	2,5692	2,0645	900,11	150,74	108,06	17,561	320,58	6,2635
395,00	0,021505	650,21	0,95006	766,68	1075,7	3,6641	4,4465	2,5904	2,0883	883,28	151,34	106,91	17,952	307,30	6,3568
400,00	0,025500	646,06	1,1154	779,68	1085,9	3,6968	4,4624	2,6117	2,1122	866,53	151,90	105,77	18,343	294,63	6,4501
405,00	0,030078	641,88	1,3031	792,80	1096,1	3,7294	4,4784	2,6331	2,1362	849,85	152,41	104,65	18,734	282,53	6,5436
410,00	0,035301	637,67	1,5154	806,02	1106,5	3,7618	4,4947	2,6546	2,1602	833,24	152,87	103,54	19,124	270,96	6,6372
415,00	0,041232	633,42	1,7547	819,35	1116,9	3,7941	4,5111	2,6761	2,1843	816,70	153,28	102,45	19,514	259,87	6,7311
420,00	0,047939	629,12	2,0232	832,79	1127,4	3,8263	4,5277	2,6978	2,2085	800,21	153,63	101,37	19,903	249,23	6,8251
425,00	0,055493	624,78	2,3237	846,34	1138,0	3,8583	4,5445	2,7196	2,2328	783,76	153,93	100,30	20,290	239,02	6,9194
430,00	0,063968	620,40	2,6588	860,00	1148,6	3,8903	4,5614	2,7414	2,2571	767,37	154,17	99,252	20,676	229,21	7,0141
435,00	0,073440	615,97	3,0314	873,77	1159,3	3,9221	4,5784	2,7634	2,2815	751,01	154,35	98,219	21,060	219,77	7,1092
440,00	0,083991	611,49	3,4445	887,64	1170,1	3,9537	4,5956	2,7855	2,3061	734,68	154,47	97,201	21,442	210,70	7,2048
445,00	0,095703	606,95	3,9014	901,63	1180,9	3,9853	4,6129	2,8077	2,3307	718,38	154,52	96,201	21,822	201,97	7,3010
450,00	0,10866	602,36	4,4054	915,74	1191,8	4,0168	4,6303	2,8300	2,3555	702,10	154,50	95,218	22,199	193,58	7,3980
455,00	0,12296	597,70	4,9603	929,95	1202,8	4,0481	4,6477	2,8525	2,3804	685,84	154,40	94,253	22,574	185,50	7,4958
460,00	0,13869	592,98	5,5698	944,27	1213,8	4,0794	4,6653	2,8752	2,4055	669,59	154,23	93,306	22,945	177,74	7,5947
465,00	0,15594	588,20	6,2381	958,71	1224,9	4,1105	4,6829	2,8980	2,4307	653,34	153,99	92,379	23,314	170,27	7,6948
470,00	0,17481	583,34	6,9695	973,27	1236,0	4,1416	4,7006	2,9210	2,4562	637,08	153,66	91,470	23,680	163,11	7,7963
475,00	0,19540	578,40	7,7689	987,94	1247,2	4,1726	4,7183	2,9443	2,4819	620,82	153,24	90,582	24,043	156,23	7,8995
480,00	0,21781	573,38	8,6412	1002,7	1258,4	4,2035	4,7360	2,9678	2,5080	604,54	152,74	89,714	24,402	149,63	8,0047
485,00	0,24216	568,28	9,5920	1017,6	1269,6	4,2343	4,7538	2,9916	2,5343	588,24	152,14	88,868	24,759	143,31	8,1122

Окончание Таблицы Б.5

$T$	$P_s$	$\rho'$	$\rho''$	$h'$	$h''$	$s'$	$s''$	$C_p'$	$C_p''$	$w'$	$w''$	$\lambda'$	$\lambda''$	$\eta'$	$\eta''$
К	МПа	кг/м <sup>3</sup>	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	м/с	мВт/м*К	мВт/м*К	мкПа*с	мкПа*с
490,00	0,26854	563,08	10,627	1032,7	1280,9	4,2650	4,7716	3,0157	2,5610	571,90	151,44	88,043	25,112	137,26	8,2223
495,00	0,29707	557,79	11,753	1047,8	1292,2	4,2956	4,7894	3,0402	2,5882	555,54	150,64	87,241	25,462	131,49	8,3355
500,00	0,32786	552,39	12,977	1063,1	1303,5	4,3262	4,8072	3,0652	2,6158	539,12	149,73	86,461	25,809	125,97	8,4522
505,00	0,36103	546,87	14,307	1078,4	1314,9	4,3567	4,8249	3,0907	2,6440	522,65	148,71	85,704	26,154	120,72	8,5730
510,00	0,39669	541,23	15,751	1094,0	1326,3	4,3871	4,8427	3,1167	2,6730	506,12	147,57	84,972	26,495	115,73	8,6985
515,00	0,43498	535,46	17,319	1109,6	1337,7	4,4175	4,8604	3,1435	2,7027	489,52	146,30	84,263	26,834	110,99	8,8293
520,00	0,47600	529,55	19,022	1125,4	1349,1	4,4478	4,8780	3,1710	2,7334	472,84	144,89	83,578	27,171	106,50	8,9664
525,00	0,51990	523,48	20,872	1141,3	1360,5	4,4781	4,8956	3,1994	2,7652	456,06	143,35	82,918	27,507	102,26	9,1106
530,00	0,56681	517,25	22,882	1157,3	1371,8	4,5084	4,9131	3,2290	2,7983	439,17	141,65	82,283	27,841	98,257	9,2629
535,00	0,61686	510,83	25,068	1173,5	1383,2	4,5386	4,9305	3,2598	2,8331	422,17	139,79	81,673	28,174	94,491	9,4245
540,00	0,67019	504,20	27,450	1189,8	1394,5	4,5687	4,9478	3,2923	2,8698	405,02	137,75	81,088	28,507	90,955	9,5969
545,00	0,72696	497,36	30,047	1206,3	1405,8	4,5989	4,9650	3,3265	2,9089	387,71	135,53	80,528	28,841	87,640	9,7816
550,00	0,78732	490,26	32,885	1222,9	1417,1	4,6291	4,9820	3,3631	2,9510	370,22	133,10	79,994	29,177	84,536	9,9804
555,00	0,85143	482,88	35,995	1239,8	1428,2	4,6593	4,9989	3,4026	2,9967	352,52	130,45	79,485	29,515	81,633	10,196
560,00	0,91946	475,19	39,412	1256,7	1439,3	4,6895	5,0155	3,4456	3,0472	334,57	127,55	79,001	29,857	78,913	10,429
565,00	0,99160	467,14	43,184	1273,9	1450,3	4,7197	5,0319	3,4931	3,1037	316,33	124,39	78,545	30,204	76,360	10,685
570,00	1,0680	458,67	47,366	1291,3	1461,1	4,7501	5,0479	3,5467	3,1682	297,76	120,92	78,117	30,560	73,948	10,965
575,00	1,1490	449,72	52,033	1308,9	1471,7	4,7805	5,0637	3,6082	3,2437	278,77	117,12	77,719	30,928	71,645	11,275
580,00	1,2348	440,18	57,284	1326,7	1482,1	4,8111	5,0790	3,6808	3,3345	259,28	112,93	77,355	31,313	69,411	11,618
585,00	1,3255	429,93	63,252	1344,9	1492,2	4,8419	5,0938	3,7695	3,4476	239,17	108,30	77,029	31,726	67,188	12,001
590,00	1,4217	418,79	70,132	1363,4	1502,0	4,8730	5,1079	3,8826	3,5953	218,28	103,16	76,748	32,184	64,897	12,430
595,00	1,5236	406,46	78,219	1382,3	1511,2	4,9045	5,1211	4,0359	3,8003	196,38	97,402	76,518	32,723	62,420	12,912
600,00	1,6316	392,49	87,997	1401,8	1519,6	4,9366	5,1330	4,2625	4,1107	173,09	90,891	76,350	33,421	59,574	13,458
605,00	1,7466	376,02	100,37	1422,1	1526,9	4,9698	5,1431	4,6471	4,6495	147,84	83,423	76,256	34,479	56,032	14,076
610,00	1,8693	355,05	117,39	1443,7	1532,1	5,0049	5,1498	5,4924	5,8522	119,52	74,662	76,250	36,542	51,095	14,779
615,00	2,0016	322,16	146,67	1469,0	1532,0	5,0454	5,1480	9,3477	11,281	85,390	63,952	76,340	43,426	42,389	15,639

Таблица Б.6 – Поля неопределенности расчета плотности

<b><i>p</i>, МПа</b>	<b>Температура, К</b>													
	250	300	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30	0,25	0,25	0,25	0,25	0,30	0,35	0,40
1,5	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,40	0,40	0,35	0,30	0,30	0,35	0,40
3,0	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,25	0,30	0,35	0,20	0,30	0,35	0,40
5,0	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,25	0,25	0,30	0,25	0,30	0,40	0,60
10,0	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,20	0,25	0,25	0,30	0,30	0,35	0,45	0,70
50,0	-	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,25	0,30	0,30	0,35	0,40	0,50	0,80
100,0	-	-	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50	0,60	0,80

Таблица Б.7 – Поля неопределенности расчета изобарной теплоемкости

<b><i>p</i>, МПа</b>	<b>Температура, К</b>													
	250	300	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	0,50	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,50	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
1,5	0,50	0,40	0,40	0,40	0,40	0,50	0,80	1,2	0,80	0,50	0,50	0,40	0,40	0,50
3,0	0,50	0,40	0,40	0,40	0,40	0,50	0,70	0,80	1,0	1,5	1,0	0,90	0,60	0,60
5,0	0,50	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,50	0,60	0,60	0,80	0,80	0,90	0,80	0,80
10,0	0,55	0,45	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,70	0,70	0,70	0,90	0,90	1,1
50,0	-	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,70	0,8	0,90	1,1	1,3	1,3	1,4	1,5
100,0	-	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5

Таблица Б.8 – Поля неопределенности расчета скорости распространения звука

<b><math>\rho</math>, МПа</b>	<b>Температура, К</b>													
	250	300	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	1,0	0,40	0,40	0,40	0,40	0,60	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
1,5	1,0	0,40	0,40	0,40	0,40	0,60	1,5	2,0	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
3,0	1,0	0,40	0,40	0,40	0,40	0,60	1,2	1,5	1,7	1,8	2,0	1,7	1,6	1,6
5,0	1,2	0,40	0,40	0,40	0,40	0,70	1,1	1,4	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7
10,0	1,3	0,50	0,50	0,50	0,50	0,80	1,1	1,3	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,8
50,0	-	0,50	0,60	0,60	0,60	0,90	1,1	1,3	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,9
100,0	-	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,3	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	2,0

Таблица Б.9 – Поля неопределенности расчета коэффициента теплопроводности

<b><math>\rho</math>, МПа</b>	<b>Температура, К</b>													
	250	300	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	2,0	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	3,0
1,5	2,0	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,4	2,5	3,0
3,0	2,0	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,6	2,5	3,0
5,0	2,0	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5	2,7	2,5	3,5
10,0	2,0	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	2,0	2,0	2,2	2,4	2,5	2,7	2,6	3,5
50,0	2,1	-	1,8	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	2,6	2,7	2,8	4,0
100,0	-	-	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,1	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	4,0

Таблица Б.10 – Поля неопределенности расчета коэффициента динамической вязкости

<b><math>p</math>, МПа</b>	<b>Температура, К</b>													
	250	300	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	5,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,7
1,5	5,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,0	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
3,0	5,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,7	2,7	2,7	2,5	3,0	2,6	2,2	2,0	2,1
5,0	5,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,7	2,7	3,0	3,0	3,0	2,7	2,4	2,1	2,2
10,0	6,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,7	2,8	2,9	2,9	2,9	2,8	2,6	2,2	2,3
50,0	-	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	2,5	2,5
100,0	-	-	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0

Таблица Б11 – Поля неопределенности расчета теплофизических свойств на линии равновесия «жидкость – газ»

$T$ , К	$\delta p_v$ , %	$\delta p_l$ , %	$\delta p_v$ , %	$\delta C_p'$ , %	$\delta C_p''$ , %	$\delta h'$ , %	$\delta s'$ , %	$\delta \Delta h_v$ , %	$\delta \lambda'$ , %	$\delta \lambda''$ , %	$\delta \eta'$ , %	$\delta \eta''$ , %
250	1,50	0,10	1,50	0,5	0,5	0,30	0,30	0,5	2,0	2,5	5,0	2,0
300	0,80	0,10	0,80	0,5	0,5	0,30	0,30	0,5	2,0	2,0	2,5	1,5
350	0,20	0,10	0,20	0,5	0,6	0,30	0,30	0,5	2,0	2,0	2,5	1,5
400	0,15	0,10	0,25	0,6	0,8	0,30	0,30	0,7	2,0	2,0	2,5	1,5
450	0,15	0,10	0,30	0,7	0,8	0,30	0,30	0,7	2,0	2,0	2,6	2,0
500	0,15	0,10	0,50	0,8	1,0	0,32	0,32	0,8	2,0	2,0	2,7	2,5
550	0,20	0,15	0,8	1,0	1,5	0,32	0,32	1,0	2,2	2,2	3,0	3,0
600	0,30	0,20	1,5	1,5	2,0	0,34	0,34	1,5	2,5	2,5	3,0	3,0
610	0,40	0,40	2,0	2,0	2,5	0,34	0,34	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0
613	0,50	0,80	3,0	2,5	4,0	0,40	0,40	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
615	0,60	1,50	5,0	3,0	6,0	0,45	0,45	5,0	3,5	3,5	3,5	3,5

### 3. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sun L. Universal equation of state for engineering application: algorithm and application / L. Sun, J.E. Ely // *Fluid Phase Equilibria*. – 2004. – V.222-223. – P. 107 – 118.
2. Александров И.С. Современный подход к разработке фундаментальных уравнений состояния технически важных рабочих веществ / И.С. Александров, Б.А. Григорьев, А.А. Герасимов // в сб. научн. статей: Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов в 2-х ч. Ч.1. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2011. – С. 124-137.
3. Marsh K.N. TRC Thermodynamic Properties of Substances in the Ideal Gas State / K.N. Marsh, R.C. Wilhoit, M. Frenkel, D. Yin // *Thermodynamics Research Center*. – 1994.
4. Low-temperature thermal data for n-pentane, n-heptadecane, and n-octadecane / J.F. Messerly [et. al.] // *J. Chem. Eng. Data*. – 1967. – V.12, No.3. – P. 338-346.
5. Bridgman, P.W. Change of phase under pressure. I. The phase diagram of eleven substances with especial reference to the melting curve / P.W. Bridgman // *Phys. Rev.* – 1914. – Vol. 3, № 2. – P. 126 - 141.
6. Назиев Я.М., Фарзалиев Б.И., Алиев Н.Ф. Экспериментальное определение кривой плавления некоторых парафиновых углеводородов // Республиканская научно-техническая конференция по теплофизическим свойствам веществ: Тезисы докладов.- Баку, 1992.- С.40.
7. Lemmon, E. W. Viscosity and thermal conductivity equations for nitrogen, oxygen, argon and air / E. W. Lemmon, R. T. Jacobsen // *Int. J. Thermophys.* – 2004. – V. 25, № 1. – P. 21-69.
8. 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.
9. Allemand, N. Measurement of the Vapor Pressure of Hydrocarbons C10 to C18 n-Alkanes and n-Alkylbenzenes in the Range 3-1000 Pascal / N. Allemand, J. Jose, J.C. Merlin // *Thermochimica Acta*. – 1986. – Vol. 105. - P. 79-90.
10. Gregorowicz, J. Vapour Pressure Data for 1-Butanol, Cumene, n-Octane, and n-Decane and their Statistically Consistent Reduction with the Antoine Equation / J. Gregorowicz, K. Kiciak, S. Malanowski // *Fluid Phase Equilib.* – 1987. – Vol. 38. – P. 97 – 107.
11. Chirico R.D. Vapor Pressure of n-Alkanes Revisited. New High-Precision Vapor Pressure Data on n-Decane, n-Eicosane and n-Octacosane / R.D. Chirico, A.

- Nguyen, W.V. Steele, M.M. Strube // J. Chem. Eng. Data. – 1989. – V.34, No.2. – P.149 – 156.
12. Курумов Д.С. Термические свойства *n*-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.
  13. Morgan, D.L. Direct Vapor Pressure Measurements of Ten *n*-Alkanes in the C(10)-C(28) Range / D.L. Morgan, R. Kobayashi // Fluid Phase Equilib. – 1994. – Vol. 97. – P. 211 – 242.
  14. Dejoz, A. Isobaric Vapor-Liquid Equilibria for Binary Systems Composed of Octane, Decane and Dodecane at 20 kPa / A. Dejoz, V. Gonzalez-Alfaro, P.J. Miguel, M.I. Vazquez // J. Chem. Eng. Data. – 1996. – V.41. – P.93 – 96.
  15. Schmelzer, J. Phase equilibria in binary systems containing *N*-monosubstituted amides and hydrocarbons / J. Schmelzer, J. Pusch // Fluid Phase Equilib. – 1995. – Vol. 110. – P. 183 – 196.
  16. Viton, C. Vapor Pressure of Normal Alkanes from Decane to Eicosane at Temperatures from 244 K to 469 K and Pressures from 0.4 Pa to 164 kPa / C. Viton, M. Chavret, E. Behar, J. Jose // Int. Electron. J. Phys.-Chem. Data. – 1996. – V.2. – P.215-224.
  17. Александров И.С. Термодинамические свойства *n*-алканов на линии насыщения. 1. Энтальпия испарения и давление насыщенных паров *n*-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.
  18. Bingham, E.C. Chemical constitution and association / E.C. Bingham, H.J. Fornwalt // J. Rheology. – 1930. – Vol. 1, № 4. – P. 372 - 417.
  19. Dornte, R.W. The dielectric polarization of liquids. X. The polarization and refraction of the normal paraffins / R.W. Dornte, C.P. Smyth // J. Am. Chem. Soc. – 1930. – Vol. 52. – P. 3546 – 3552.
  20. Francis, A.W. Pressure-temperature-liquid density relations of pure hydrocarbons / A.W. Francis // Ind. Eng. Chem. – 1957. – Vol. 49, № 10. – P. 1779-1786.
  21. Beaudoin, J.M. Multiphase and Volumetric Equilibria of the Methane-*n*-Decane Binary System at Temperatures between -36 and 150C / J.M. Beaudoin, J.P. Kohn // J. Chem. Eng. Data. – 1967. – Vol. 12, № 2. - P. 189-191.
  22. Aicart, E. Isothermal compressibility of cyclohexane-*n*-decane, cyclohexane-*n*-dodecane, and cyclohexane-*n*-tetradecane / E. Aicart, G. Tardajos, P.M. Diaz // J. Chem. Eng. Data. – 1981. – Vol. 26, № 1. – P. 22 - 26.



23. Dymond, J.H. Transport properties of nonelectrolyte liquid mixtures - V. Viscosity coefficients for binary mixtures of benzene plus alkanes at saturation pressure from 283 to 393 K / J.H. Dymond, K.J. Young // *Int. J. Thermophys.* – 1981. – Vol. 2, № 3. – P. 237-247.
24. 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.
25. Yu, C.-H. Excess volumes of binary mixtures of tetralin with n-alkanes from 293.15 to 313.15 K / C.-H. Yu, F.-N. Tsai // *J. Chem. Eng. Data.* – 1995. – Vol. 40. – P. 601 – 604.
26. Densities, viscosities, and related properties of some (methyl ester + alkane) binary mixtures in the temperature range from 283.15 to 313.15 K / J.L. Trenzado [et al.] // *J. Chem. Eng. Data.* – 2001. – Vol. 46. – P. 974-983.
27. Garcia B. Thermophysical behavior of methylbenzoate + n-alkanes mixed solvents. Application of cubic equations of state and viscosity models / B. Garcia, R. Alcalde, S. Aparicio, J.M. Leal // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 2002. – V.41. – P.4399 – 4408.
28. Isobaric heat capacities, densities, isentropic compressibilities and second-order excess derivatives for (1-propanol + n-decane) / J. Peleteiro [et al.] // *J. Chem. Thermodyn.* – 2002. Vol. 34. – P. 485-497.
29. Tojo, J. Densities and excess molar properties of dimethyl carbonate with alkanes (C6 to C10) and VLE of dimethyl carbonate with alkanes (C9 to C10) at 101.3 kPa / J. Tojo, J. Canosa, A. Rodriguez, J. Ortega, R. Dieppa // *J. Chem. Eng. Data.* – 2004. – V.49. – P.86 – 93.
30. Couch, H.T. Latent Heat of Vaporization of n-Decane / H.T. Couch, W. Kozicki, B.H. Sage // *Chem. Eng. Data.* – 1963. – Vol. 8, № 3. - P. 346-349.
31. Morawetz, E. A non-equilibrium low vapor pressure heat of vaporization calorimeter / E. Morawetz // *Acta Chem. Scand.* – 1968. – Vol. 22. – P. 1509-1531.
32. Sage, B.H. Phase Equilibria in Hydrocarbon Systems, Methane-Decane System / B.H. Sage, H.M. Lavender, W.N. Lacey // *Ind. Eng. Chem.* – 1940. – Vol. 32. - P. 743-747.
33. Phase Equilibria in Hydrocarbon Systems, Methane-Decane System / H.H. Reamer [et al.] // *Ind. Eng. Chem.* – 1942. – Vol. 34, № 12. – P. 1526-1531.
34. Snyder, P.S. The Pressure, Volume and Temperature Properties of Liquid n-Alkanes at Elevated Pressures / P.S. Snyder, J. Winnick // *Proc. 5th Symp. Thermophys. Prop.* – 1970. – Vol. 5. - P. 115-129.
35. Sagdeev, D.I. Experimental setup for density measurements for liquids at high parameters / D.I. Sagdeev, G.Kh. Mukhamedzyanov // *TeploMassoobmen-Khim.Tekhnol.* – 1977. – Vol. 5. – P. 21-24.

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. Dymond, J.H. T (p, rho, T) of some pure n-alkanes and binary mixtures of n-alkanes in the range 298 to 373 K and 0.1 to 500 MPa / J.H. Dymond, J. Robertson, J.D. Isdale // J. Chem. Thermodyn. – 1982. – Vol. 14, № 1. – P. 51-59.
38. Gehrig, M. Values of p(V(m), T) for n-decane up to 300 MPa and 673 K / M. Gehrig, H. Lentz // J. Chem. Thermodyn. – 1983. – Vol. 15. – P. 1159-1167.
39. Densities and heat capacities of 1-butanol + n-decane from 298 K to 400 K / J.A. Gates [et al.] // Fluid Phase Equilibria. – 1986. – Vol. 27. – P. 137-151.
40. Banipal, T.S. Heat Capacities and Densities of Liquid n-Octane, n-Nonane, n-Decane, and n-Hexadecane at Temperatures from 318.15K to 373.15 K and at Pressures up to 10 MPa / T.S. Banipal, S.K. Garg, J.C. Ahluwalia // J. Chem. Thermodyn. – 1991. – Vol. 23. - P. 923-931.
41. Susnar, S.S. Pressure Dependence of the Density of n-Alkanes / S.S. Susnar [et al.] // Int. J. Thermophys. – 1992. – Vol. 13, № 3. - P. 443-452.
42. Bessieres, D. Volumetric behavior of decane + carbon dioxide at high pressures. Measurement and calculation / D. Bessieres, H. Saint-Guirons, J.-L. Daridon // J. Chem. Eng. Data. – 2001. – Vol. 46. – P. 1136-1139.
43. The viscosity and density of n-dodecane and n-octadecane at pressures up to 200MPa and temperatures up to 473 K / D.R. Caudwell [et al.] // Int. J. Thermophys. – 2004. – Vol. 25, № 5. – P. 1339-1352.
44. Audonnet, F. Viscosity and density of mixtures of methane and n-decane from 298 to 393 K and up to 75 MPa / F. Audonnet, A.A.H. Padua // Fluid Phase Equilibria . – 2004. – Vol. 216. – P. 235-244.
45. Zuniga-Moreno, A. Compressed liquid densities and excess volumes of CO<sub>2</sub> + decane mixtures from (313 to 363) K and pressures up to 25 MPa / A. Zuniga-Moreno, L.A. Galicia-Luna, L.E. Camacho-Camacho // J. Chem. Eng. Data. – 2005. – Vol. 50. – P. 1030-1037.
46. Schlinger, W.G. Isobaric heat capacities at bubble point. Cis-2-butene, isopropylbenzene, and n-decane / W.G. Schlinger, B.H. Sage // J Ind. Eng. Chem. – 1952. – Vol. 44, № 10. – P. 2454-2456.
47. Григорьев Б.А. Экспериментальное исследование изобарной теплоемкости н-алканов / Б.А. Григорьев, Ю.Л. Расторгуев, Г.С. Янин // Изв. ВУЗов. Нефть и газ. – 1975. - № 10. – С. 63-66.
48. Герасимов А.А. Калорические свойства нормальных алканов и многокомпонентных углеводородных смесей в жидкой и газовой фазах, включая критическую область: Дис. ... докт. техн. наук.- Калининград, 2000.– 434 с.

49. Parks, G. S. Thermal data on organic compounds. VI. The heat capacities, entropies and free energies of some saturated non-benzenoid hydrocarbons / G. S. Parks, H. M. Huffman, S. B. Thomas // J. Am. Chem. Soc. — 1930. — Vol. 52, № 3. — P. 1032 - 1041.
50. Huffman, H. M. Thermal data on organic compounds. X. Further studies on the heat capacities, entropies and free energies of hydrocarbons / H. M. Huffman, G. S. Parks, M. Barmore // J. Am. Chem. Soc. — 1931. — Vol. 53, № 10. — P. 3876 - 3888.
51. Osborne, N. S. Measurements of heat capacity of a number of hydrocarbons / N. S. Osborne, D. C. Ginnings // J. Research NBS. — 1947. — Vol. 39, № 5. — P. 453 - 477.
52. Low-temperature thermal data for the nine normal paraffin hydrocarbons from octane to hexadecane / H. L. Finke [et al.] // J. Am. Chem. Soc. — 1954. - Vol. 76. - P. 333 - 341.
53. Paramo, R. New batch cells adapted to measure saturated heat capacities of liquids / R. Paramo, M. Zouine, C. Casanova // J. Chem. Eng. Data. — 2002. — Vol. 47. — P. 441-448.
54. Neruchev, Yu.A. Velocity of sound in the homologous series of n-alkanes / Yu.A. Neruchev, V.V. Zotov, N.F. Otpushchennikov // Russ. J. Phys. Chem. — 1969. — Vol. 43, № 11. — P. 1597-1599.
55. Aminabhavi, T.M. Densities, viscosities, refractive indices, and speeds of sound of the binary mixtures of bis(2-methoxyethyl) ether with nonane, decane, dodecane, tetradecane, and hexadecane at 298.15, 308.15, and 318.15 K / T.M. Aminabhavi, B. Gopalakrishna // J. Chem. Eng. Data. — 1994. — Vol. 39. — P. 529-534.
56. Хасаншин Т.С. Скорость звука в жидких н-алканах / Т.С. Хасаншин, А.П. Щемелев // ТБТ. — Т.39, №1. — С. 64-71.
57. Casas, L.M. Thermophysical properties of acetone or methanol + n-alkane (C9 to C12) mixtures / L.M. Casas, A. Tourino, B. Orge, et. al. // J. Chem. Eng. Data. — 2002. — Vol. 47. — P. 887 – 893.
58. Bingham E. C. Chemical Constitution and Associated .eta. and d ... / E.C. Bingham, H.J. Fornwalt // J. Rheol. (N. Y.). — 1930. — No.1. — P. 372-417.
59. Giller E.B., Drickamer H.G. Viscosity of normal paraffins near the freezing point // Ind. Eng. Chem. — 1949. — V.41, No. 9. — P. 2067-2069.
60. Lee, A. L. Viscosity of n-decane in the liquid phase / A.L. Lee, R.T. Ellington // J. Chem. Eng. Data. — 1965. — V. 10. — P. 346-348.
61. Carmichael, L. T. Viscosity of hydrocarbons. n-Decane / L.T. Carmichael, V.M. Berry, B.H. Sage // J. Chem. Eng. Data. — 1969. — V. 14, - P. 27-31.

62. Керамиди А.С. Экспериментальное исследование коэффициента динамической вязкости жидких парафиновых углеводородов и нефтепродуктов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / ОТИХП: Одесса, 1972. – 33 с.
63. Люстерник В.Е., Жданов А.Г. Вязкость углеводородов метанового, этиленового и ацетиленового ряда в газовой фазе // В кн.: Теплофизические свойства веществ и материалов.- М.: Изд-во стандартов, 1973.- Вып. 3.- С.95-114.
64. Moore J.W. Diffusion Coefficients of n-Heptane and n-Decane in n-Alkanes and n-Alcohols at Several Temperatures / J.W. Moore, R.M. Wellek // J. Chem. Eng. Data. – 1974. – V. 19. – P. 136-140.
65. Dymond J.H. Transport properties of nonelectrolyte liquid mixtures - III. Viscosity coefficients for n-octane, n-dodecane, and equimolar mixtures of n-octane + n-dodecane and n-hexane + n-dodecane from 25 to 100 degrees C at pressures up to the freezing pressure or 500 MPa / J.H. Dymond, J. Robertson, J.D. Isdale // Int. J. Thermophys. – 1981. – V. 2, No. 2. – P. 133-154.
66. Kashiwagi, H. Viscosity of Twelve Hydrocarbon Liquids in the Temperature Range 298-348 K at Pressures Up To 110 MPa / H. Kashiwagi, T. Makita // Int. J. Thermophys. – 1982. – V. 3, No.4. – P. 289-305.
67. Ducoulombier, D. Pressure (1-1000 bars) and Temperature (20-100 °C) Dependence of the Viscosity of Liquid Hydrocarbons / D. Ducoulombier, H. Zhou, C. Boned, J. Peyrelasse, H. Saint-Guirons, P. Xans // J. Phys. Chem. – 1986. – V. 90. – P. 1692-1700.
68. Knapstad B. Viscosity of Pure Hydrocarbons / B. Knapstad, P.A. Skjolsvik, H.A. Oye // J. Chem. Eng. Data. – 1989. – V. 34. – P. 37-43.
69. Knapstad B. Viskosity of the n-Decane – Methane System in the Liquid Phase / B. Knapstad, P.A. Skjolsvik, H.A. Øye // Ber. Bunsenges. Phys. Chem. – 1990. – V. 94. – P. 1156-1165.
70. Assael, M. J. Viscosity coefficients of binary n-heptane + n-alkane mixtures / M.J. Assael, J.H. Dymond, M. Papadaki // Fluid Phase Equilib. – 1992. – V. 75. – P. 287-297.
71. Oliveira C.M.B.P. The Viscosity of Five Liquid Hydrocarbons at Pressures up to 250 MPa / C.M.B.P. Oliveira, W.A. Wakeham // Int. J. Thermophys. – 1992. – V. 13, No.5. – P. 773-790.
72. Estrada-Baltazar, A. Experimental Liquid Viscosities of Decane and Octane + Decane from 298.15 K to 373.15 K and Up to 25 MPa / A. Estrada-Baltazar, J.F.J. Alvarado, G.A. Iglesias-Silva, M.A. Barrufet // J. Chem. Eng. Data. – 1998. – V. 43. – P. 441-446.

73. Tohidi, B. Viscosity and Density of Methane + Methylcyclohexane from (323 to 423) K and Pressures to 140 MPa / B. Tohidi, R.W. Burgass, A. Danesh, A.C. Todd // J. Chem. Eng. Data. – 2001. – V. 46. – P. 385-390.
74. Родченко С.И. Экспериментальное исследование коэффициента динамической вязкости ньютоновских жидкостей от тройной точки до начала термических превращений: Дис. ... канд. техн. наук. – Ставрополь, 2002. – 164 с.
75. Naake L.D. The Viscosity of n-Decane to High Temperatures of 573 K and High Pressures of 300 MPa / L.D. Naake, G. Wiegand, E.U. Franck // Z. Phys. Chem. – 2002. – V. 216. – P. 1295-1310.
76. Barrufet M.A. / M.A. Barrufet. A. Setiadarma // Fluid Phase Equilib. – 2003. – V. 213. – P. 65-79.
77. Audonnet, F.; Padua, A. A. H. Viscosity and density of mixtures of methane and n-decane from 298 to 393 K and up to 75 MPa / F. Audonnet, A.A.H. Padua // Fluid Phase Equilib. – 2004. – V. 216. – P. 235-244.
78. Caudwell D. R. Viscosity of Dense Fluid Mixtures: Doctorate of Philosophy Thesis, Imperial College, London, United Kingdom, 2004.
79. Mallan G.V., Michaelian M.S., Lockhart F.J. Liquid thermal conductivities of organic compounds and petroleum fractions // J. Chem. Eng. Data. – 1972. – V. 17, No. 4. – P. 412-415.
80. Назиев Я.М. Алиев М.А. Теплопроводность и теплоемкость нормального декана при различных температурах и давлениях / Я.М. Назиев, М.А. Алиев // ИФЖ. – 1973. – Т. 24, № 6. – С. 1033-1038.
81. Варгафтик Н.Б. Теплопроводность жидкостей и газов / Н.Б. Варгафтик, Л.П. Филиппов, А.А. Тарзиманов, Е.Е. Тоцкий. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 472 с.
82. Мустафаев Р.А. Теплофизические свойства углеводородов при высоких параметрах состояния. – М.: Изд-во «Энергия», 1980. – 296 с.
83. Kashiwagi H., Oishi M., Tanaka Y., Kubota H., Makita T. / Thermal conductivity of fourteen liquids in the temperature range 298-373 K // Int. J. Thermophys. – 1982. – V. 3, No. 2. – P. 101-116.
84. Assael M.J., Charitidou E., Avgoustiniatos S. The thermal conductivity of xylene isomers in the temperature range 290-360 K // Int. J. Thermophys. – 1988. – V. 9, No. 4. – P. 501-520.
85. Богатов Г.Ф. Теплопроводность индивидуальных углеводородов и нефтепродуктов в жидком состоянии: дис. ... докт. техн. наук: 01.04.14 – Теплофизика и молекулярная физика / ГНИ: Г.Ф. Богатов. – Грозный, 1992. – 424 с.

86. Watanabe, H. The Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity of Liquid n-Alkanes:  $C_n H_{2n+2}$  ( $n=5$  to 10) and Toluene/ H. Watanabe, D. J. Seong// Int. J. Thermophys. – 2002. – V. 23, № 2. – P. 337-356.