

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ**

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА  
СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ  
(ГСССД)**



УДК 547.216:536.7

**ТАБЛИЦЫ СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ**

**П-КСИЛОЛ. 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 301 – 2014**

**(ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ РЕДАКЦИЯ, тема RU.3.064-2014)**

Москва – 2014

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

ОДОБРЕНЫ экспертной комиссией в составе:

д-ра техн. наук А. Ф. Богатырева,  
канд. техн. наук А. С. Макаровой,  
канд. физ.-мат. наук Е. Е. Городецкого,  
канд. техн. наук Ю. В. Мамонова

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

УТВЕРЖДЕНЫ Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии **24.11.2014 г. (протокол № 6)**

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА  
СТАНДАРТНЫХ СПРАВЧНЫХ ДАННЫХ**

---

**Таблицы стандартных справочных данных**

п–Ксилол. Теплофизические свойства (плотность, теп-  
лоемкость, энтальпия, энтропия, скорость звука, ко-  
эффициенты теплопроводности и вязкости) в диапазо-  
не температуры от тройной точки до 700 К при давле-  
ниях до 100 МПа

**ГСССД  
301-2014**

**Tables of Standard Reference Data**

p–Xylol. Thermodynamic properties  
in the range from the triple point temperature  
up to 700 K at pressures up to 100 MPa

**GSSSD  
301-2014**

---

## ДЕПОНИРОВАННАЯ РУКОПИСЬ

УДК 547.216:536.7

Таблицы стандартных справочных данных ГСССД 301 – 2014. п–Ксилол. 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/ Григорьев Б .А., Герасимов А. А., Александров И. С. Григорьев Е. Б., Сафронов Г. А., Российский научно-исследовательский центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия (ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ») ” – М., 2014, - 63 с.: Ил. – Библиогр. назв. – Рус. – назв. Депонированы во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» **31.10.2013 г., № 882–2014 кк.**

Авторы:	Григорьев Б. А.
	Герасимов А. А.
	Александров И. С.
	Григорьев Е. Б.
	Г. А.Сафронов

## Содержание

1. Термодинамические свойства	5
2. Коэффициенты переноса	9
3. Список литературы	11
4. Приложение А. Методика разработки уравнения состояния	18
5. Приложение Б. Б.1. Анализ результатов и оценка точности табличных значений ТДС	23
Таблица Б.1 Результаты сравнения данных о термодинамических свойствах п-ксилола с рассчитанными по фундаментальному уравнению состояния значениями	30
Таблица Б.2 Анализ результатов и оценка точности табличных значений свойств переноса	32
Таблица Б.3 Результаты сравнения экспериментальных данных о теплопроводности п-ксилола с рассчитанными по уравнению (17) значениями	34
Таблица Б.4. Теплофизические свойства п-ксилола в однофазной области	36
Таблица Б.5. Теплофизические свойства п-ксилола на линии насыщения	50
Таблица Б.6 Поля неопределенности расчета плотности	53
Таблица Б.7 Теплофизические свойства п-ксилола в однофазной области	53
Таблица Б.8 Поля неопределенности расчета скорости распространения звука	54
Таблица Б.9 Поля неопределенности расчета коэффициента теплопроводности	54
Таблица Б.10 Поля неопределенности расчета коэффициента динамической вязкости	55
Таблица Б.11 Поля неопределенности расчета теплофизических свойств на линии равновесия «жидкость – газ»	56

## 1. Термодинамические свойства

Таблицы стандартных справочных данных о термодинамических свойствах п-ксилола рассчитаны по фундаментальному уравнению 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  $\alpha^o(\delta, \tau)$  и избыточной части  $\alpha^r(\delta, \tau)$  уравнением (1).

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

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  $\delta = \rho/\rho_c$ ;  $\tau = T/T_c$ ;  $\rho_c$ ,  $T_c$  – параметры приведения, в качестве которых приняты критические значения. В частности для п-ксилола:  $\rho_c = 2,69392$  кмоль/м<sup>3</sup>,  $T_c = 616,17$  К.

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

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

Безразмерная идеально-газовая часть свободной энергии Гельмгольца определяется по соотношению

$$\alpha^o = \frac{h_o^o \tau}{RT_c} - \frac{s_o^o}{R} - 1 + \ln \frac{\delta \tau_o}{\delta_o \tau} - \frac{\tau}{R} \int_{\tau_o}^{\tau} \frac{C_p^o}{\tau^2} d\tau + \frac{1}{R} \int_{\tau_o}^{\tau} \frac{C_p^o}{\tau} d\tau, \quad (3)$$

где  $\delta_0 = \rho_0/\rho_c$ ;  $\tau_0 = T_0/T_0$ ;  $T_0, p_0$  – вспомогательная опорная точка ( $T_0 = 298,15$  К;  $p_0 = 101325$  Па);  $\rho_0$  – плотность идеального газа при температуре  $T_0$  и давлении  $p_0$ ;  $h_0^g, s_0^g$  – соответственно энтальпия и энтропия в идеально-газовом состоянии при температуре  $T_0$ .

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

$$\frac{C_p^g}{R} = \sum_{i=-2}^2 c_i T^i \quad (4)$$

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

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

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

Значения коэффициентов  $\alpha_i$  представлены в табл. 1.

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

$i$	$c_i$	$\alpha_i$
-3	-	-0,8714854
-2	$0,2257080 \cdot 10^5$	$0,7086066 \cdot 10^1$
-1	$0,1380857 \cdot 10^4$	$-0,3788729 \cdot 10^2$
0	$-0,1752057 \cdot 10^2$	$-0,7217325 \cdot 10^2$
1	0,1229771	$0,2204839 \cdot 10^2$
2	$-0,1119846 \cdot 10^{-3}$	$-0,2972478 \cdot 10^{-1}$
3	$0,4470374 \cdot 10^{-7}$	$-0,1852057 \cdot 10^2$
4	-	$-0,224104 \cdot 10^1$

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

Таблица 2. Коэффициенты и показатели степени ФУС (2) п-ксилола

$i$	$n_i$	$t_i$	$d_i$	$p_i$
1	$0,191719663 \cdot 10^1$	1,485	1	0
2	$0,11027095 \cdot 10^1$	0,238	1	0
3	$-0,37768813 \cdot 10^1$	1,255	1	0
4	0,11687961	0,312	3	0
5	$0,31134936 \cdot 10^{-3}$	0,804	7	0
6	-0,27103622	1,365	2	0
7	$0,85245876 \cdot 10^{-3}$	1,161	1	1
8	-0,323809296	2,472	1	1
9	0,39712394	2,018	2	1
10	$-0,11238228 \cdot 10^{-1}$	1,723	5	1
11	-0,37835433	3,446	1	2
12	$0,97718714 \cdot 10^{-2}$	6,641	1	2
13	$-0,96054395 \cdot 10^{-1}$	4,078	4	2
14	$-0,18763117 \cdot 10^{-1}$	11,794	2	3

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

плотность

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

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 п-ксилола принято состояние равновесного молекулярного кристалла при температуре 0 К. Значения энтальпии  $h_0$  и энтропии  $s_0$  во вспомогательной точке отсчета на линии насыщения жидкой фазы определены по данным [4] ( $h_0 = 420,68$  кДж·кг<sup>-1</sup>,  $s_0 = 2,3313$  кДж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>).

Таблицы термодинамических свойств п-ксилола рассчитаны по ФУС (1) в диапазоне температуры от тройной точки ( $T_t = 286,41$  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  $p_* = 777,5$  МПа;  $c = 1,121$ . Значения коэффициентов уравнения (12) определены по экспериментальным данным [5-8].

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 п-ксилола

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

## 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 [9], 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;  $M = 106,165$  – 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

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

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)
0,242442	-0,495081	0,036886	0,6153	457,8

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.

Таблица 5. Коэффициенты и показатели степени уравнения (16)

$i$	$N_i$	$t_i$	$d_i$	$l_i$
1	$0,28508798 \cdot 10^2$	2,93	1	0
2	$0,13126730 \cdot 10^3$	2,21	2	0
3	$-0,24584717 \cdot 10^3$	2,73	4	1
4	$0,17895634 \cdot 10^{-2}$	3,37	12	1
5	$-0,13116918 \cdot 10^3$	2,84	2	2
6	$0,81077737 \cdot 10^0$	4,98	11	2
7	$-0,21570434 \cdot 10^2$	3,59	1	3

Средняя вероятная ошибка определения коэффициента динамической вязкости по уравнению (13) составляет 2,0 %. Уравнение (13) не учитывает критическую аномалию вязкости, которая не исследована для п-ксилола. Результаты сравнения с имеющимися экспериментальными данными представлены в Приложении Б.

Для описания теплопроводности использовалась форма уравнения, предложенная Леммоном и Якобсеном [9], 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;  $\delta = \rho/\rho_r$ ;  $t = T_r/T$ ;  $\rho_r$ ,  $T_r$  – опорные значения плотности и температуры (как правило, принимают критические значения:  $T_c = 616,17$  К;  $\rho_c = 2,69392$  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 табл. 6.

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

$i$	$N_i$	$t_i$	$d_i$	$l_i$
1	0,08605997	-	-	-
2	-479,42749508	-2,3537	-	-
3	522,64708491	-2,3063	-	-
4	$-0,346458887 \cdot 10^1$	0,6918	4	0
5	$0,284439006 \cdot 10^2$	0,6573	3	0
6	$-0,290084513 \cdot 10^2$	0,8955	5	1
7	$0,1116071 \cdot 10^2$	4,9700	7	2
8	$-0,574384588 \cdot 10^1$	3,5601	8	2
9	$-0,343804472 \cdot 10^2$	7,8421	3	2

Средняя вероятная ошибка определения коэффициента теплопроводности п-ксилола по уравнению (17) не превышает 2,0 %. Уравнение (17) не учитывает критическую аномалию теплопроводности, которая экспериментально не исследована для п-ксилола. 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 вязкости п-ксилола, а также поля неопределенностей представлены в Приложении Б.

### 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. Thermodynamic Equilibria in xylene Isomerization. 1. The Thermodynamic Properties of *p*-xylene / R. D. Chirico [et al.] // J. Chem. Eng. Data. – 1997. – Vol. 42, № 2. – P. 248-261.
5. Swallow, J. C. The effect of pressure on the melting points of *o*-, *m*-, and *p*-xylene / J. C. Swallow, R. O. Gibson // J. Chem. Soc. – 1934. – Vol. 101. – P. 440 - 442.
6. Deffet, L. Recherches piezometriques. I. Influence des hautes pressions sur la temperature, de fusion et la temperature, de fusion et la temperature de transformation des corps organiques / L. Deffet // Bull. Soc. Chim. Belg. - 1935. - Vol. 44, № 2. - P. 71 - 80.
7. Deffet, L.; Vlerick, G. Bull. Soc. Chim. Belg., 1942, 51, 237
8. Castro S. Thermodynamic Behaviour of Liquid *p*-Xylene Near Freezing / S. Castro, M. Taravillo, V.G. Baonza, et. al. // J. Chem. Faraday Trans. – 1994. – Vol. 90, № 24. – P. 3645 - 3649.
9. 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.
10. Ахундов, Т. С.-А. Исследование теплофизических свойств углеводородов ароматического ряда : дис. ... д-ра тех. наук : 05.14.05 / Т. С.-А. Ахундов ; Баку, 1974. – 520 л.
11. Султанов Ч.И. Экспериментальное исследование изобарной теплоемкости пяти ароматических углеводородов в интервале температур 25 – 400 оС и давлений до 250 бар : дис. ... канд. тех. наук : 05.14.05 / Ч.И. Султанов ; Баку, 1976. – 273 л.
12. Castro, S. Thermodynamic Behaviour of Liquid *p*-Xylene Near Freezing / S.Castro, M. Taravillo M, V.G. Baonza et.al. // J. Chem. Soc. Faraday Trans. – 1994. – V.90, No.24. – P.3645 – 3649.
13. Chirico, R. D. V. Thermodynamic Equilibria in Xylene Isomerization. 1. The Thermodynamic Properties of *p*-Xylene / R. D. Chirico, S. E. Knipmeyer, A. Nguyen, et. al. // J. Chem. Eng. Data. – 1997. – Vol. 42, No.2. – P. 475-487.
14. Ambrose, D. The Vapour Pressures above the Normal Boiling Point and the Critical Pressures of Some Aromatic Hydrocarbons / D. Ambrose, B. E. Broderick, R. Townsend // J. Chem. Soc. – 1967. – Vol. A. – P. 633-41.
15. Ambrose, D. Vapor Pressures of Some Aromatic Hydrocarbons / D. Ambrose // J. Chem. Thermodyn. – 1987. – Vol. 19. – P. 1007.

16. Александров И.С. Термические свойства ароматических углеводородов на линии насыщения / И.С. Александров, А.А. Герасимов // Известия КГТУ. – 2010. - №18. – С. 220-225.
17. Шойтов Ю.С. Зависимость скорости распространения звука в некоторых жидкостях от давления : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.04.14 / Ю.С. Шойтов ; Курск, 1972. - 158 л.
18. Hossenlopp, I. A. Enthalpies of vaporization of piperidine and 1,2-dimethylbenzene; gas-phase isobaric heat capacities of piperidine / I. A. Hossenlopp, D. G. Archer // J. Chem. Thermodyn. – 1988. – Vol. 20. – P. 1061-8.
19. Garg, S.K. Heat capacities and densities of liquid o-xylene, m-xylene, p-xylene, and ethylbenzene, at temperatures from 318.15 K to 373.15 K and at pressures up to 10 MPa / S.K. Garg, T.S. Banipal, J.C. Ahluwalia // J. Chem. Thermodyn. – 1993. – Vol. 25. – P. 57-62.
20. Et-Tahir, A. Determination of the viscosity of various hydrocarbons and mixtures of hydrocarbons versus temperature and pressure / A. Et-Tahir, C. Boned, B. Lagourette et al. // Int. J. Thermophys. – 1995. – Vol. 16. – P. 1309-1334.
21. Pitzer, K. S. The Thermodynamics and Molecular Structure of Benzene and Its Methyl Derivatives / K. S. Pitzer, D. W. Scott // J. Am. Chem. Soc. – 1943. – Vol. 65. – P. 803.
22. Willingham, C.B. Vapor Pressures and Boiling Points of Some Paraffin, Alkylcyclopentane, Alkylcyclohexane and Alkylbenzene Hydrocarbons / C.B. Willingham, W.J. Taylor, J.M. Pignocco et al. // J. Res. Natl. Bur. Stand. (U. S.). – 1945. - Vol. 35. – P. 219-244.
23. Forziati, A. F. Vapor Pressures and Boiling Points of Sixty API-NBS Hydrocarbons / A.F. Forziati, W.R. Norris, F.D. Rossini // J. Res. Natl. Bur. Stand. (U. S.). – 1949. – Vol. 43. – P. 555-563.
24. Glaser, F. Vapor Pressure Curves and Critical Data for Several Technically Important Organic Substances / F. Glaser, H. Ruland // Chem.-Ing.-Tech. – 1957. – Vol. 29. – P. 772-775.
25. Nigam, R. K. Excess Free Energies & Volume of Mixing for Methylene Chloride Mixtures with Benzene, Toluene, o-, m- & p-Xylenes & Cyclohexane / R. K. Nigam, B. S. Mahl // Indian J. Chem. – 1971. – Vol. 9. – P. 1250.
26. Rodrigues, W.L. Vapor-Liquid Equilibria Data for Binary Systems of Ethylbenzene + Xylene Isomers at 100.65 kPa / W.L. Rodrigues, S. Mattedi, J.C.N. Abreu // J. Chem. Eng. Data. – 2005. – Vol. 50. – P. 1134-1138.
27. Neubeck, F. Molecular Volumes of Aromatic Compounds / F. Neubeck // Z. Phys. Chem., Stoechiom. Verwandtschaftsl. – 1887. – Vol. 1. – P. 649-666.
28. Heil, L. M. A determination of the total electric polarization and the electric moments of certain organic molecules / L. M. A Heil // Phys. Rev. – 1932. - Vol. 39. – P. 666-674.
29. Francis, A. W. Pressure-Temperature-Liquid Density Relations of Pure Hydrocarbons / A. W. Francis // Ind. Eng. Chem. – 1957. – Vol. 49. – P. 1779.

30. Hales, J.L. Liquid densities from 293 to 490 K of nine aromatic hydrocarbons. / J.L. Hales, R. Townsend // J. Chem. Thermodyn. – 1972. – Vol.4, № 5. – P. 763-772.
31. Jain, D. V. S. Excess molar heat capacities of binary mixtures of the isomeric xylenes at 303.65-321.65 K / D. V. S. Jain, R. Chadha, S. K. Sehgal // Fluid Phase Equilibria. – 1994. – Vol. 96. – P. 195-202.
32. Chen, J. A study of densities and volumetric properties of binary mixtures of N-methyl-2-pyrrolidone with xylene at different temperatures and atmospheric pressure / J. Chen, R. Shen, W. Liu et al. // J. Chem. Thermodyn. – 2007. – Vol. 39, № 6. – P. 934-941.
33. Gonzalez-Olmos, R. Influence of temperature on thermodynamics of ethers + xylenes / R. Gonzalez-Olmos, M. Iglesias // Fluid Phase Equilibria – 2008. – V.267. – P. 133-139.
34. Williams, J. W. The Specific Heats of Certain Organic Liquids at Elevated Temperatures / J. W. Williams, F. Daniels // J. Am. Chem. Soc. – 1924. – Vol. 46. – P. 903-917.
35. Huffman, H. M. Thermal Data on Organic Compounds: VII The Heat Capacities, Entropies and Free Energies of Twelve Aromatic Hydrocarbons. / H.M. Huffman, G.S. Parks, A.C. Daniels // J. Am. Chem. Soc. – 1930. – V. 52. – P. 1547-1558.
36. Sastry, N. V. Ultrasonic behaviour of methyl methacrylate-hydrocarbon mixtures at 298.15 and 308.15 K / N. V. Sastry, M. C. Patel, S. R. Patel // Fluid Phase Equilibria. – 1999. – Vol. 155. – P. 261-276.
37. George, J. Densities, Excess Molar Volumes at  $T = (298.15 \text{ to } 313.15) \text{ K}$ , Speeds of Sound, Excess Isentropic Compressibilities, Relative Permittivities and Deviations in Molar Polarizations at  $T = (298.15 \text{ and } 308.15) \text{ K}$  for Methyl Methacrylate + 2-Butoxyethanol or + Dibutyl Ether + Benzene, + Toluene and + p-Xylene / J. George, N. V. Sastry // J. Chem. Eng. Data. – 2004. – Vol. 49. – P. 1116-1126.
38. Al-Kandary, J. A. Viscosities, Densities, and Speeds of Sound of Binary Mixtures of Benzene, Toluene, o-Xylene, m-Xylene, p-Xylene, and Mesitylene with Anisole at (288.15, 293.15, 298.15, and 303.15) K / J. A. Al-Kandary, A. S. Al-Jimaz, A.-H. M. Abdul-Latif // J. Chem. Eng. Data. – 2006. – Vol. 51. – P. 2074-2082.
39. Nain, A. K. Ultrasonic and viscometric studies of molecular interactions in binary mixtures of tetrahydrofuran with some aromatic hydrocarbons at temperatures from 288.15 to 318.15 K / A. K. Nain // Phys. Chem. Liq. – 2007. – Vol. 45, № 4. – P. 371-388.
40. Yokoyama, C. PVT relationships and solid-liquid equilibria for the m-xylene-p-xylene system under high pressures / C. Yokoyama, S. Moriya, S. Takahashi // Fluid Phase Equilibria. – 1990. – Vol. 60. – P. 295-308.
41. Bich, E. [et al.] // Phys. Chem. (Leipzig). – 1981. – Vol. 262. – P. 402.
42. Osborn, A. G. Vapor-Pressure Relations for 15 Hydrocarbons / A. G. Osborn, D. R. Douslin // J. Chem. Eng. Data. – 1974. – Vol. 19. – P. 114-117.

43. Chianese, A. Isobaric vapor-liquid equilibria of the ethylbenzene-p-xylene system / A. Chianese, L. Marrelli // J. Chem. Eng. Data. – 1985. – Vol. 30. – P. 424.
44. Natarajan, G. / G. Natarajan, D. S. Viswanath // J. Chem. Eng. Data. – 1985. – Vol. 30. – P. 137-140.
45. Block, H. Z. Phys. Chem., Stoechiom. Verwandschaftsl. – 1912. – Vol. 78. – P. 385.
46. Jaeger, F. M. Uber die Temperaturabhängigkeit der molekularen freien oberflächenenergie von flüssigkeiten im temperaturbereich von -80 bis +1650 / F. M. Jaeger // C.Z. Anorg. Allg. Chem. – 1917. – Vol. 101. – P. 1-214.
47. Richards, T. W. The Determination of Surface Tension with Very Small Volumes of Liquid, and the Surface Tensions of Octanes and Xylenes at Several Temperatures / T. W. Richards, C. L. Speyers, E. K. Carver // J. Am. Chem. Soc. – 1924. – Vol. 46. – P. 1196-1207.
48. Timmermans, J. / J. Timmermans, F. Martin // J. Chim. Phys. Phys.-Chim. Biol. – 1926. – Vol. 23. – P. 747.
49. Yang, C. Thermodynamic Properties of Binary Mixtures of p-Xylene with Cyclohexane, Heptane, Octane, and N-Methyl-2-pyrrolidone at Several Temperatures / C. Yang, W. Xu, P. Ma // J. Chem. Eng. Data. – 2004. – Vol. 49. – P. 1794-1801.
50. Wang, H. Excess volumes and partial molar volumes of binary mixtures of 1,2-propanediol carbonate with xylene in the temperature range of (293.15 to 353.15) K / H. Wang, L. Hu, Y. Wu // J. Chem. Thermodyn. – 2005. – Vol. 37. – P. 1119-1129.
51. Di, Z. Determination of Densities and Viscosities of p-Xylene-Acetic Acid-Water Ternary System / Z. Di, P. Ma, S. Xia et al. // PETROCHEMICAL TECHNOLOGY. – 2006. – Vol. 35, № 9. – P. 847-851.
52. Ott, J. B. Excess volumes, enthalpies, and Gibbs free energies for mixtures of benzene + p-xylene / J. B. Ott, J. R. Goates, R. B. Grigg // J. Chem. Thermodyn. – 1979. – Vol. 11. – P. 1167-1173.
53. Messerly, J. F. Condensed-phase heat capacities and derived thermodynamic properties 1,4-dimethylbenzene, 1,2-diphenylethane, and 2,3-dimethylnaphthalene / J. F. Messerly, H.L. Finke, W.D. Good et al. // J. Chem. Thermodyn. – 1988. – Vol. 20, № 4. – P. 485-501.
54. Nath, J. Ultrasonic Velocities in, and Adiabatic Compressibilities for, Binary Liquid Mixtures of 1,2-Dichloroethane with Benzene, Toluene, p-Xylene Quinoline, and Cyclohexane / J. Nath, G. Singh // J. Chem. Eng. Data. – 1986. – Vol. 31. – P. 327.
55. Kapoor, S. Isobaric Vapor-Liquid Equilibria at 97.3 kPa and Excess Properties at (303.15, 308.15, and 313.15) K of Binary Mixture of p-Xylene + Decane / S. Kapoor, V. K. Rattan // J. Chem. Eng. Data. – 2005. – Vol. 50, № 6. – P. 1891-1896.
56. Kapoor, S. Vapor-Liquid Equilibria and Excess Properties of the Binary System Vinyl Acetate + p-Xylene / S. Kapoor, V. K. Rattan // J. Chem. Eng. Data. – 2005. – Vol. 50, № 6. – P. 1897-1901.



57. Ахундов Р.Т. Динамическая вязкость алкилбензолов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Баку, 1992. – 24 с.
58. 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. of Thermophysics*. – 1982. – V.3, No.4. – P. 289-305.
59. Determination of the viscosity of various hydrocarbons and mixtures of hydrocarbons versus temperature and pressure / A. Et-Tahir [et al.] // *Int. J. Thermophys.* – 1995. – Vol. 16. – P. 1309-1334.
60. Viscosities of p-Xylene, Acetic Acid, and p-Xylene + Acetic Acid at (313.15 to 473.15) K and (0.1 to 3.20) MPa: Determined by the Rolling-Ball Method / Z. Fang, [et al.] // *J. Chem. and Eng. Data*. – 2008. – V.53, No.12. – P. 2787-2792.
61. Geist J.M. Viscosities of Pure Hydrocarbons / J.M. Geist, M.R. Cannon // *Ind. And Eng. Chemistry*. – 1946. – V.18, No.10. – P. 611-613.
62. Tasioula-Margari, M. Viscosities of dilute solutions of the triglycerides triolein, trilinolein, tristearin, tripalmitin, and trimyristin in benzene and p-xylene / M. Tasioula-Margari, I. N. Demetropoulos // *J. Chem. Eng. Data*. – 1992.- Vol. 37. – P. 77-79.
63. Yang, C. Excess Molar Volumes and Viscosities of Binary Mixtures of Sulfolane with Benzene, Toluene, Ethylbenzene, p-Xylene, o-Xylene, and m-Xylene at 303.15 and 323.15 K and Atmospheric Pressure / C. Yang, P. Ma, Q. Zhou // *J. Chem. Eng. Data*. – 2004. – Vol. 49. – P. 881-885.
64. Kapoor, S. Isobaric Vapor-Liquid Equilibria at 97.3 kPa and Excess Properties at (303.15, 308.15, and 313.15) K of Binary Mixture of p-Xylene + Decane / S. Kapoor, V. K. Rattan // *J. Chem. Eng. Data*. – 2005.- Vol. 50, № 6. – P. 1891-1896.
65. Di, Z. Determination of Densities and Viscosities of p-Xylene-Acetic Acid-Water Ternary System / Z. Di, P. Ma, S. Xia et. al. // *PETROCHEMICAL TECHNOLOGY*. – 2006. – Vol. 35, № 9. – P. 847-851.
66. Nain, A. K. Ultrasonic and viscometric studies of molecular interactions in binary mixtures of tetrahydrofuran with some aromatic hydrocarbons at temperatures from 288.15 to 318.15 K / A. K. Nain // *Phys. Chem. Liq.* – 2007. – Vol. 45, № 4. – P. 371-388.
67. Densities and Viscosities of N-Formylmorpholine (NFM) + p-Xylene, + o-Xylene, + m-Xylene at Different Temperatures and Atmospheric Pressure / T. Yang [et al.] // *J. Chem. Eng. Data*. – 2007. – Vol. 52. – P. 2062-2066.
68. Song, C.-Y. Densities and Viscosities of Binary Mixtures of Vitamin K3 with Benzene, Toluene, Ethylbenzene, o-Xylene, m-Xylene, and p-Xylene from (303.15 to 333.15) K / C.-Y. Song, H.-Z. Shen, J.-H. Zhao et. al. // *J. Chem. Eng. Data*. – 2008. – Vol. 53, №5. – P. 1110-1115.
69. Thorpe, T. E. On the Relations between the Viscosity (Internal Friction) of Liquids and their Chemical Nature. Part I / T. E. Thorpe, J. W. Rodger // *Philos. Trans. R. Soc. London, A*. – 1894. – Vol. 185. - P. 397-710.
70. Vogel E. Vapor phase viscosity of toluene and p-xylene / E. Vogel, S. Hendl // *Fluid Phase Equilibria*. – 1992. – Vol. 79, № 25. – P. 313–326.

71. Мустафаев Р.А. Теплофизические свойства углеводородов при высоких параметрах состояния. – М.: Изд-во «Энергия», 1980. – 296 с.
72. Пугач В.В. Исследование теплопроводности воды и некоторых органических жидкостей при высоких давлениях: Дис. ... канд. техн. наук. – Грозный, 1971. – 162 с.
73. Варгафтик Н.Б. Теплопроводность жидкостей и газов / Н.Б. Варгафтик, Л.П. Филлипов, А.А. Тарзиманов, Е.Е. Тоцкий.- М.: Изд-во стандартов, 1978. – 472 с.
74. Watanabe, H. Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity of Twenty-Nine Liquids: □ Alkenes, Cyclic (Alkanes, Alkenes, Alkadienes, Aromatics), and Deuterated Hydrocarbons /H. Watanabe, H. Kato // J. Chem. Eng. Data. – 2004. – Vol. 49, № 4. – P. 809–825.
75. Kashiwagi, H. Thermal conductivity of fourteen liquids in the temperature range 298-373 K / H. Kashiwagi, M. Oishi, Y. Tanaka, H. Kubota, T. Makita // Int. J. Thermophys. – 1982.- Vol. 3, № 2. – P. 101-116.
76. Зотов В.В. Скорость звука в жидких углеводородах / В.В. Зотов, Ю.Ф. Мелихов, Г.А. Мельников, Ю.А. Неручев. – Курск: Изд-во КГПУ, 1995. – 77 с.
77. Ogiwara K. Thermal Conductivities of Liquid Hydrocarbons and Their Binary Mixtures / K. Ogiwara, Y. Arai, S/ Saito // Ind. Eng. Chem. Fundam. – 1980. – V.19, No. 3. – P. 295-300.
78. Assael M.J. The Thermal Conductivity of Xylene Isomers in the Temperature Range 290-360 K / M.J. Assael, E. Charitidou, S. Avgoustiniatos S. // Int. J. Thermophys. – 1988. – V.9, No.4. – P. 501-510.
79. 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.
80. Тарзиманов А.А. Тепло- и температуропроводность жидких ароматических углеводородов на искаженные радиационным теплопереносом / А.А. Тарзиманов, Ф.Д. Юзмухаметов, Ф.Р. Габитов, Р.А. Шарафутдинов, Н.З. Шапиров // ТВТ. – 2002. – Т.40, № 4. – С. 568-578.

#### 4. ПРИЛОЖЕНИЕ А

##### Методика разработки уравнения состояния.

При разработке ФУС (2) использовались разнородные экспериментальные данные о термодинамических свойствах п-ксилола –  $p, v, T$ -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:

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

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

В данном случае функциональная связь задавалась уравнением

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

а коэффициенты  $n$  определялись посредством оптимизационного алгоритма, описанного ниже. Для расшифровки правой части формулы (A1) использовались известные дифференциальные соотношения термодинамики (6) – (11). Кроме включения в обработку экспериментальных данных о различных термодинамических свойствах п-ксилола, 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 п-ксилола была применена модификация метода случайного поиска с возвратом при неудачном шаге. Алгоритм модифицирован введением элементов детерминированного поиска на шаге корректировки величины шага поиска и выбора направления.

В используемом алгоритме используется аддитивный критерий оптимальности – минимизируемый функционал (15), который образуется путем сложения выходных параметров, преобразованных к безразмерным слагаемым. Это осуществляется с помощью введения нормирующих множителей – весовых коэффициентов. Нормирование необходимо для объединения нескольких выходных параметров – термодинамических свойств, имеющих в общем случае различную физическую размерность. Минимизируемый функционал содержит слагаемые, ответственные за точность аппроксимации результатов измерений разнородных данных о термодинамических свойствах, а также различные ограничения, накладываемые в виде неравенств на термодинамическую поверхность и представлен следующей зависимостью:

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

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

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

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 А1.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 итера-

ции. 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.

## 5. ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Б.1. Анализ результатов и оценка точности табличных значений ТДС

В табл. Б.1 представлены результаты сравнения разнородных экспериментальных данных о термодинамических свойствах *n*-ксилола с расчетами по фундаментальным уравнениям состояния, а на рис. Б.1 – Б.10 показан характер отклонений для *n*-ксилола. Значения температуры, измеренные по разным температурным шкалам, пересчитаны на Международную температурную шкалу 1990 г. (МТШ-90).

Комплексное экспериментальное исследование теплофизических свойств *о-м-п*-ксилолов выполнено в 60 – 70-е годы прошлого столетия в Азербайджанском институте нефти и химии им. М. Азизбекова. В собранном виде экспериментальные данные представлены в диссертациях Ахундова [10] и Султанова [11], на которые мы в дальнейшем и будем делать ссылки, чтобы несколько сократить список литературы. Исследование *p, v, T*-зависимости в [10] выполнено в диапазоне температуры 290 – 670 К и давления 0,1 – 80 МПа в жидкой и газовой фазах, включая критическую область. Измерения осуществлялись в сферическом пьезометре постоянного объема. Погрешность измерения температуры не превышала 0,01 К, давления – 0,01% при  $p > 6$  МПа и 0,05 % при  $p \leq 6,0$  МПа, плотности – 0,05 % при  $\rho > 100$  кг/м<sup>3</sup> и 0,10 – 0,15 % при  $\rho \leq 100$  кг/м<sup>3</sup>. В [10] также измерено давление насыщенной газовой фазы  $p_v$  в диапазоне температуры 498 –  $T_c$ . В работе Султанова [11] методом проточного адиабатического калориметра измерена изобарная теплоемкость  $C_p$  в диапазоне температуры 290 – 670 К и давления 0,5 – 25,0 МПа. Измерения выполнены в жидкой и газовой фазах, вблизи линии насыщения и в сверхкритической области. Погрешность измерения температуры не превышала 0,02 К, давления – 0,05 %, изобарной теплоемкости 0,6 – 1,6 %. При этом увеличение погрешности сверх 0,6 % происходило только за счет влияния ошибок отнесения и наблюдалось в узком диапазоне параметров вблизи линии насыщения при давлениях, близких к критическим и в области острых максимумов теплоемкости. Как видно из табл. Б.1 и рисунков, данные Ахундова [10] в жидкой фазе описываются с погрешностью 0,05 – 0,15 %. Некоторый рост отклонений сверх 0,1 % наблюдается только вблизи линии насыщения, что и приводит к увеличению средней погрешности. В газовой фазе отклонения существенно больше, однако опять из-за достаточно большого количества точек вблизи пограничной кривой. Значительные отклонения плотности в критической области объясняются, прежде всего, осо-



бенностями поверхности состояния в данной области, а также ограниченными возможностями уравнения без сингулярных членов. При этом следует иметь ввиду, что отклонения величины давления находятся в диапазоне 0,1 – 0,3 %. Изобарная теплоемкость, подробно исследованная в работе Султанова [11], в жидкой фазе описывается с отклонениями, в среднем не превышающими 0,5 %. В газовой фазе отклонения несколько больше, но опять же только из-за достаточно большого количества экспериментальных точек вблизи пограничной кривой при повышенных давлениях. В сверхкритической области отклонения, как правило, не превышают 1,5 %.

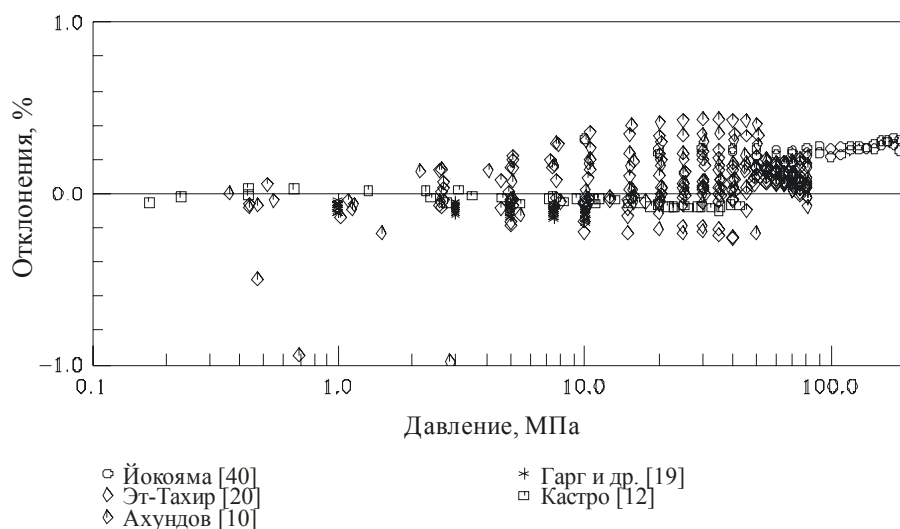


Рис. Б.1. Отклонения экспериментальных данных о плотности жидкой фазы *n*-ксилола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния

Комплексные исследования термодинамических свойств *n*-ксилола на линии насыщения выполнены в работе Чирико с соавторами [13]. Теплоемкость конденсированной фазы  $C_s$  измерена в адиабатическом калориметре до температуры 380 – 420 К с погрешностью 0,1 %, а при более высоких температурах до 550 К в дифференциальном сканирующем калориметре (ДСК) с погрешностью ~ 1%. Также методом ДСК определена плотность жидкой  $\rho_l$  и газовой  $\rho_v$  фазы на линии насыщения вблизи критической точки. Однако эти данные, как следует из представленных рисунков, не относятся к прецизионным и носят оценочный характер.

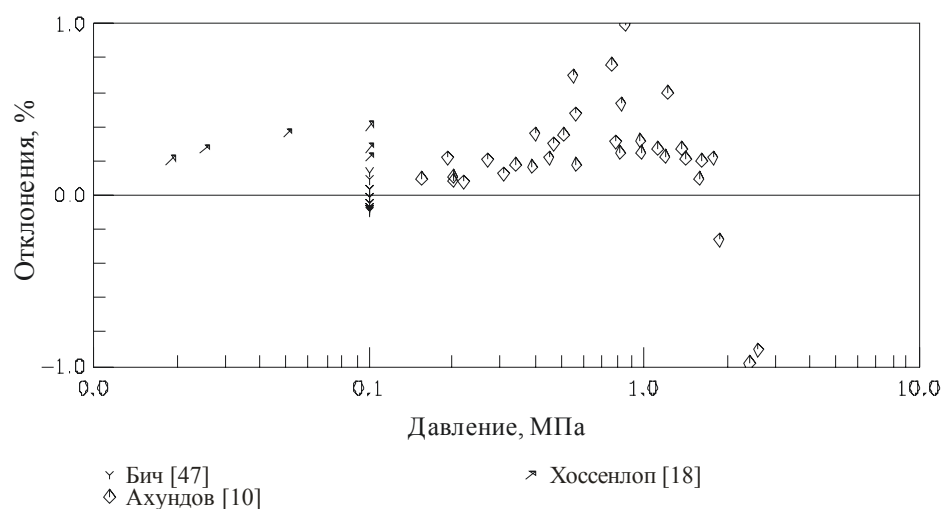


Рис. Б.2. Отклонения экспериментальных данных о плотности газовой фазы *n*-ксилола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния

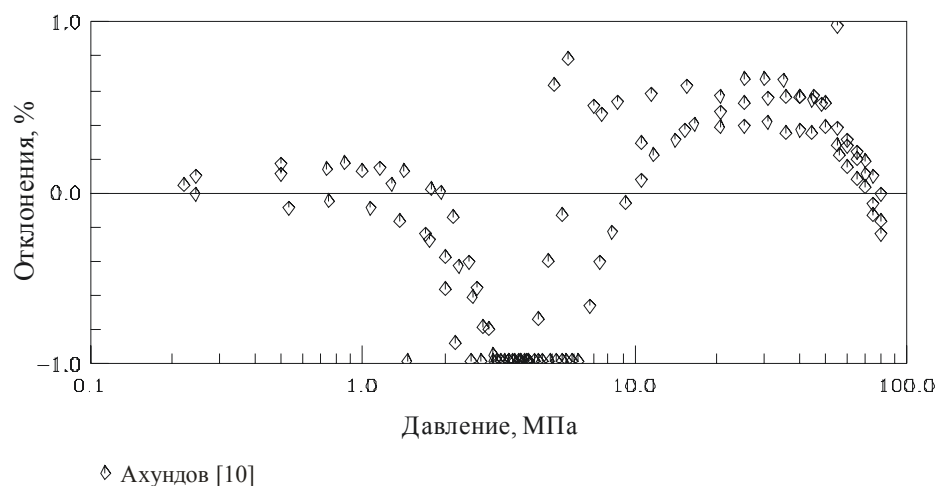


Рис. Б.3. Отклонения экспериментальных данных о плотности *n*-ксилола в критической и сверхкритической областях от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния

Плотность жидкой фазы на линии насыщения описывается с достаточно высокой точностью. Отклонения для наиболее надежных и широкодиапазонных данных находятся в пределах экспериментальной погрешности и, как правило, не превышают 0,05-0,1%. Широкодиапазонные данные о плотности насыщенной газовой фазы получены только в работе Ахундова [10]. Значения отклонений составляют 0,5 – 0,7 % и достигают 4 – 5 % вблизи критической точки. Это объясняется как возрастающей погрешностью экспериментальных данных в критической области, так и дополнительными ошибками, возникающими вследствие несовпадения критических свойств ксилолов, принятых в работе Ахундова [10] и в настоящей работе. Следует учитывать также ограниченные возможности ФУС в критической области.

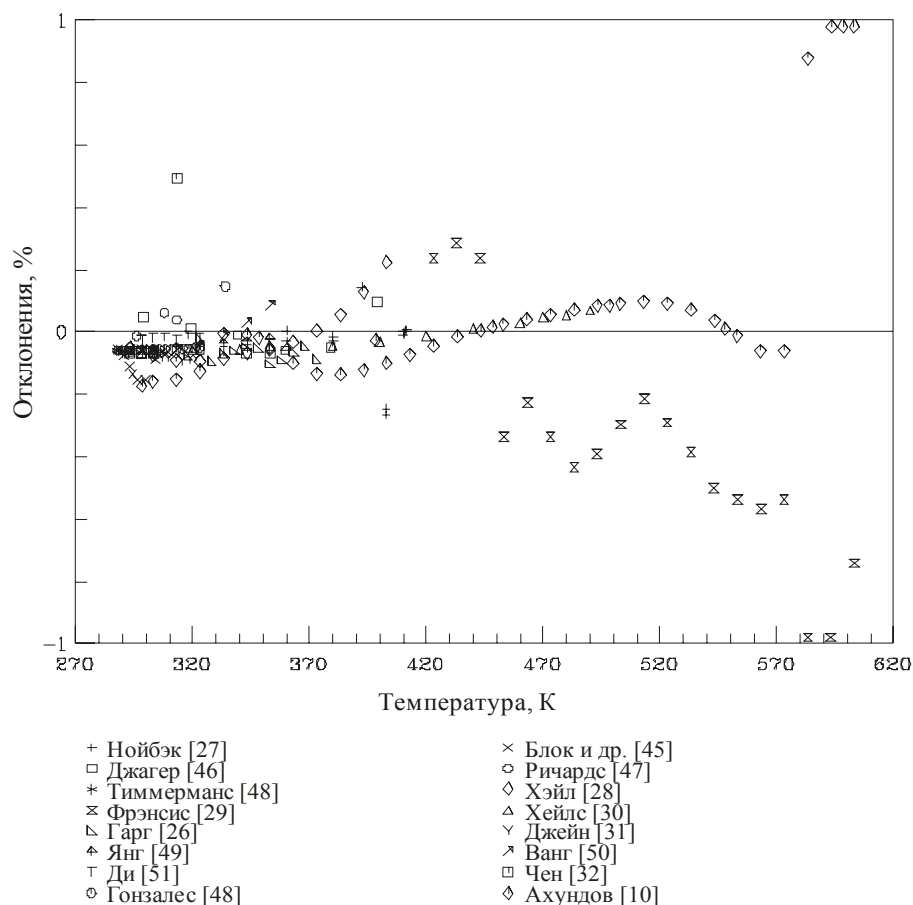


Рис. Б.4. Отклонения экспериментальных данных о плотности насыщенной жидкой фазы *n*-ксилола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния

Давление насыщенных паров исследовалось многими авторами, однако экспериментальные данные весьма плохо согласуются между собой. Из широкогодиапазонных высокотемпературных измерений с достаточно высокой точностью описываются данные Амброуза [14,15]. Средняя относительное отклонение не превышает 0,1 %. Несколько большие отклонения до 0,2 – 0,4% наблюдаются для *m*-ксилола. Данные Ахундова [10] описываются с отклонениями 0,2 – 0,4 %. В [16], при разработке уравнений, описывающих упругость насыщенного пара алкилбензолов в низкотемпературной области, использовались расчетные данные о  $p_v$ . При разработке фундаментальных уравнений состояния в данной работе, эти данные не использовались, однако в табл. представлены результаты сравнения. Видно, что отклонения, как правило, не превышают 1,0 % и они существенно меньше, чем для имеющихся экспериментальных данных в диапазоне 293 – 350 К.

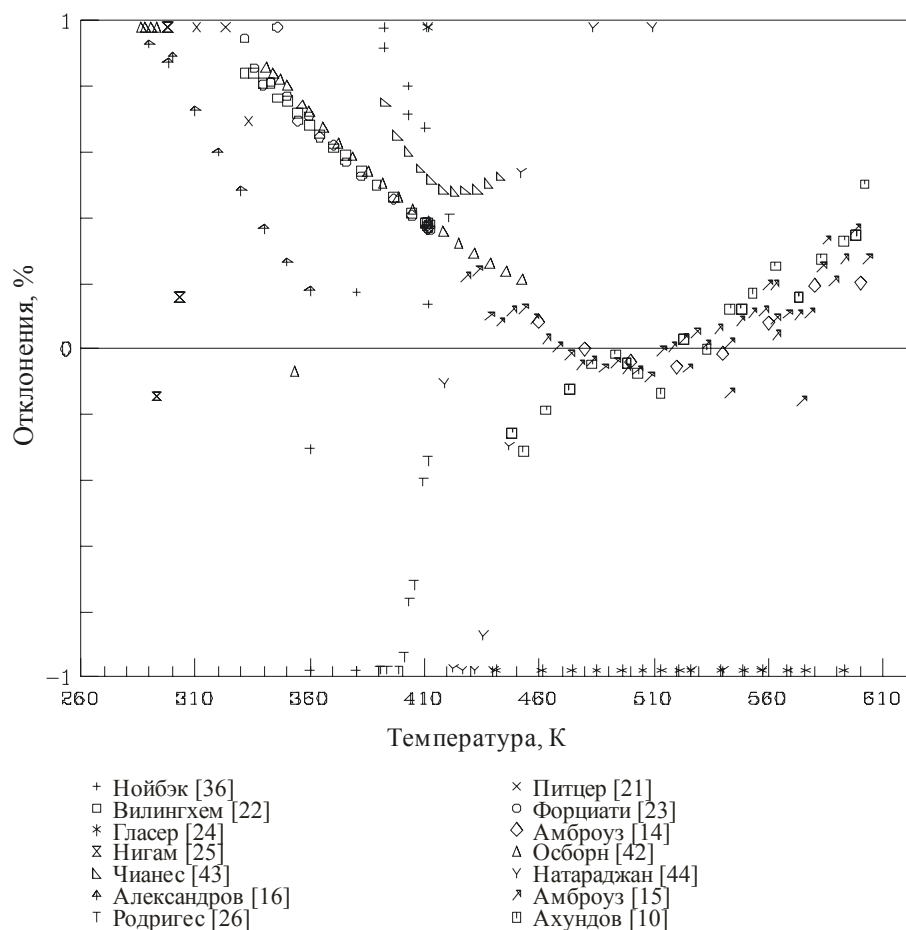


Рис. Б.5. Отклонения экспериментальных данных о давлении насыщенных паров *n*-ксилола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния

Изобарная теплоемкость  $c_p$  и теплоемкость  $c_v$  в жидкой фазе описываются с отклонениями, близкими к погрешности экспериментального исследования. В газовой фазе и сверхкритической области отклонения несколько возрастают, что также соответствует тенденции изменения точности экспериментальных данных. Скорость звука исследована, в основном в жидкой фазе при температурах до 413 К. Отклонения, как правило, находятся в диапазоне 0,5 – 0,7 %.

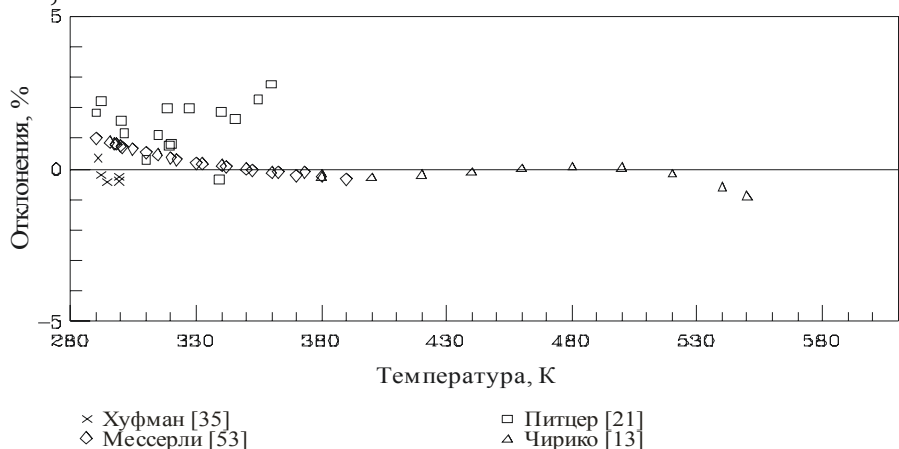


Рис. Б.6. Отклонения экспериментальных данных о теплоемкости насыщенной жидкой фазы *n*-ксилола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния

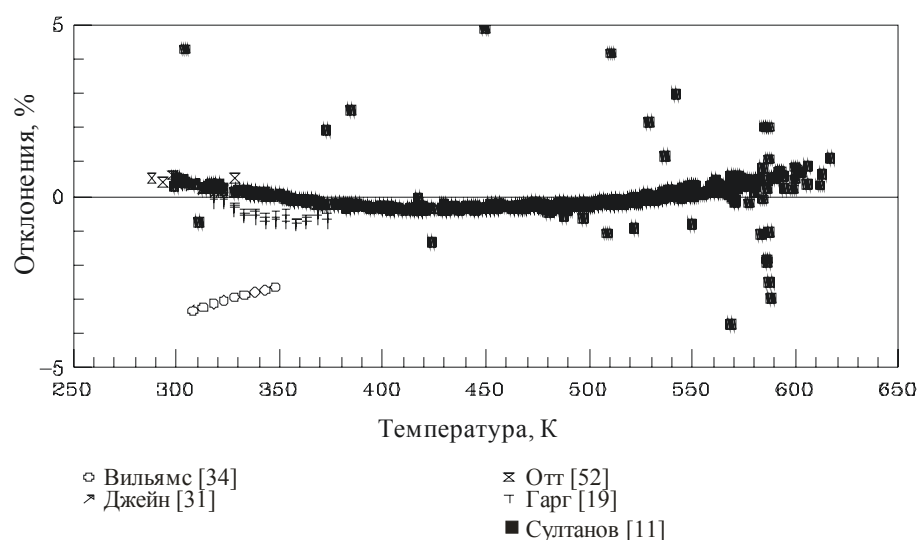


Рис. Б.7. Отклонения экспериментальных данных о изобарной теплоемкости жидкой фазы *n*-ксилола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния

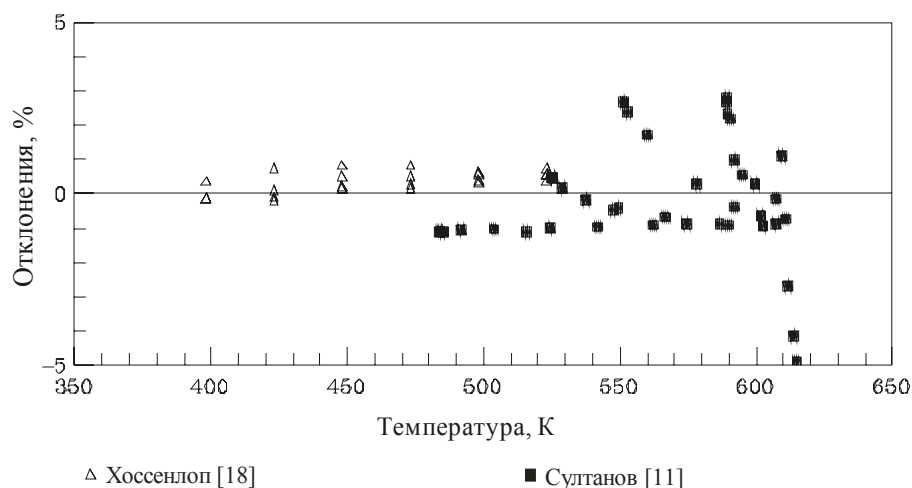


Рис. Б.8. Отклонения экспериментальных данных о изобарной теплоемкости газовой фазы *n*-ксилола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния

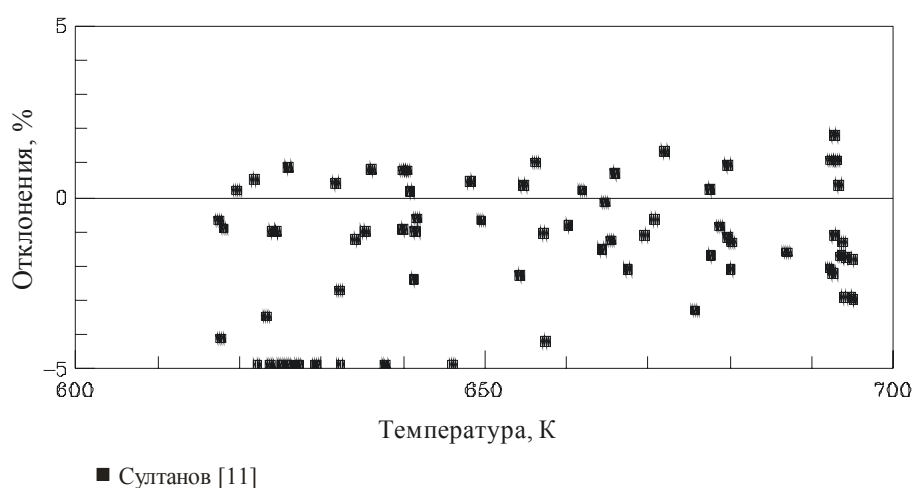


Рис. Б.9. Отклонения экспериментальных данных о изобарной теплоемкости *n*-ксилола в критической и сверхкритической областях от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния

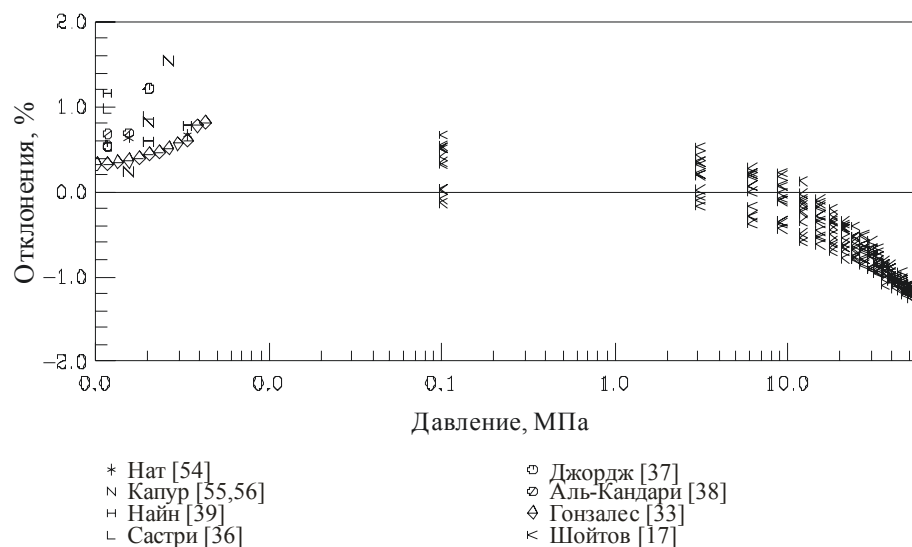


Рис. Б.10. Отклонения экспериментальных данных о скорости звука в жидкой фазе *n*-ксилола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния

Как было сказано выше, использовалась система ограничений, обеспечивающих «физическую» форму поверхности состояния и улучшающих экстраполяционные возможности уравнения. В частности, контролировался ход идеальных кривых, вид которых показан на рисунке Б.11.

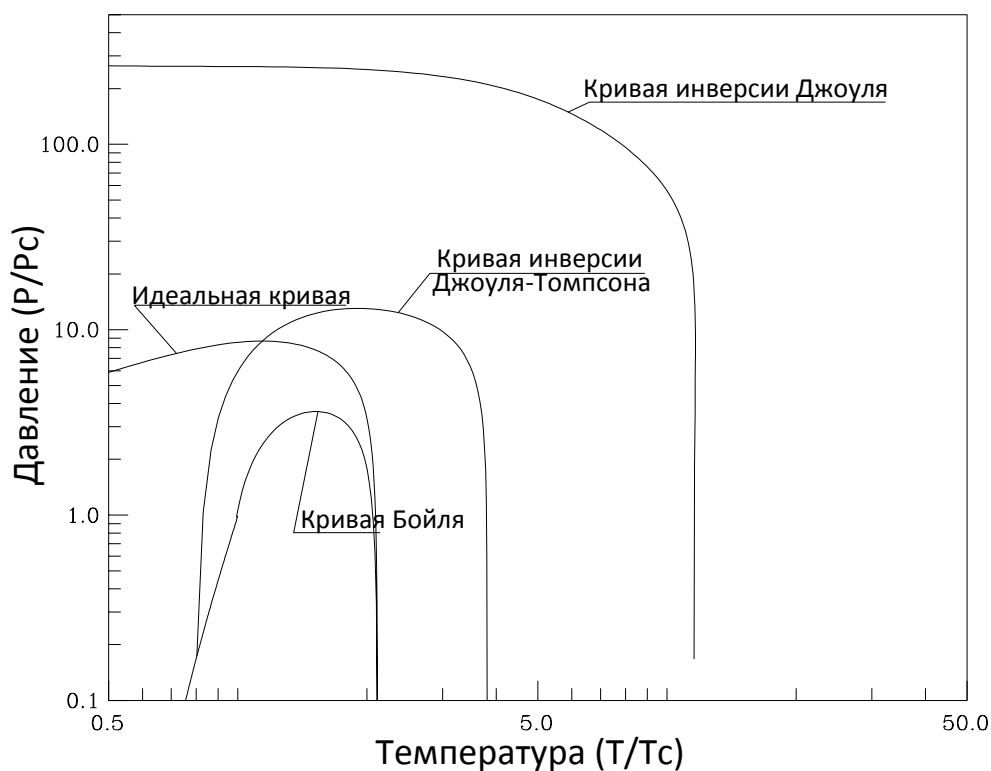


Рис. Б11. Поведение идеальных кривых для *n*-ксилола по ФУС.

Таблица Б.1

Результаты сравнения данных о термодинамических свойствах п-ксилола с рассчитанными по фундаментальному уравнению состояния значениями

Год	Первый автор, источник	Точки	Диапазон по температуре и давлению		Отклонения, %	
			$T$ , К	$p$ , МПа	СОО	СКО
$p, V, T$ – данные						
1974	Ахундов [10]:	371	323-673	0,155-80,3		
	Ж	219	323-598	0,155-80,3	0,259	0,288
	Г	34	498-598	0,155-1,8	0,304	0,395
	Ф	118	623-673	0,155-80,3	0,701	1,120
1981	Бич [47] (Г)	16	423-563	0,1	0,064	0,074
1981	Хоссенлоп [18] (Г)	7	348-439	0,013-0,1	0,277	0,286
1990	Йокояма [40] (Ж)	40	283-298	10-200	0,200	0,207
1993	Гарг и др. [19] (Ж)	60	318-373	1-10	0,057	0,067
1994	Кастро [12] (Ж)	37	288-303	0,17-42,9	0,025	0,032
1995	Эт-Тахир [20] (Ж)	32	313-363	5-40	0,113	0,118
Давление насыщенных паров $p_v$						
1887	Нойбэк [36]	10	360-412		0,851	1,041
1943	Питцер [21]	4	298-333		0,943	1,035
1945	Вилингхем [22]	20	331-412		0,503	0,512
1949	Форциати [23]	18	332-412		0,529	0,544
1957	Гласер [24]	17	411-608		3,692	3,892
1967	Амброуз [14]	8	460-600		0,083	0,098
1971	Нигам [25]	6	293-303		0,514	0,672
1974	Осборн [42]	21	341-452		0,550	0,592
1974	Ахундов [10]	35	448-605		0,134	0,158
1974	Ахундов [10] (К)	8	605-616		0,364	0,372
1985	Чианес [43]	11	393-443		0,573	0,575
1985	Натараджан [44]	14	411-557		1,941	2,782
1987	Амброуз [15]	47	428-608		0,119	0,139
1987	Амброуз [15] (К)	4	608-614		0,224	0,246
2005	Родригес [26]	9	390-421		1,038	1,235
2010	Александров [16]	9	290-360		0,389	0,457
Плотность насыщенной жидкой фазы $\rho_l$						
1887	Нойбэк [27]	11	360-412		0,184	0,203
1912	Блок и др. [45]	10	285-308		0,063	0,076
1917	Джагер [46]	6	299-399		0,153	0,171
1924	Ричардс [47]	6	293-334		0,114	0,148
1926	Тиммерманс [48]	9	288-306		0,035	0,04
1932	Хэйл [28]	12	293-403		0,143	0,198

1957	Фрэнсис [29]	21	423-608		0,443	0,555
1957	Фрэнсис [29] (К)	2	608-613		2,567	3,285

Окончание табл. Б.1

Год	Первый автор, источник	Точки	Диапазон по температуре и давлению		Отклонения, %	
			$T$ , К	$p$ , МПа	СОО	СКО
1972	Хейлс [30]	14	293-490		0,148	0,171
1974	Ахундов [10]	39	298-613		0,299	0,571
1974	Ахундов [10] (К)	1	613		3,707	3,707
1993	Гарг [26]	12	318-373		0,085	0,093
1994	Джейн [31]	8	298-321		0,012	0,013
2004	Янг [49]	7	298-353		0,028	0,038
2005	Ванг [50]	7	293-353		0,098	0,129
2006	Ди [51]	9	298-353		0,064	0,074
2007	Чен [32]	7	293-353		0,126	0,223
2008	Гонзалес [48]	15	288-323		0,029	0,034
<b>Плотность насыщенной газовой фазы <math>\rho_v</math></b>						
1974	Ахундов [10]	39	298-603		0,679	0,939
1974	Ахундов [10] (К)	2	603-613		2,955	3,274
1997	Чирико [13] (К)	4	607-616		11,4	12,42
<b>Изобарная теплоемкость <math>c_p</math></b>						
1924	Вильямс [34]	10	303-348	0,101	3,016	3,317
1976	Султанов [11]:	494	299-695	0,5-25		
	Ж	380	299-617	0,5-25	0,416	0,791
	Г	41	484-615	0,5-3,0	1,358	1,917
	Ф	73	618-695	0,5-25	1,519	1,788
1979	Отт [52]	9	288-328	0,101	0,132	0,148
1981	Хоссенлоп [18] (Г)	24	398-523	0,013-0,20	0,408	0,502
1993	Гарг [19]	36	318-373	0,1-10	0,854	0,875
1994	Джейн [31]	7	304-322	0,101	0,147	0,169
<b>Теплоемкость по линии насыщения <math>C_s</math></b>						
1930	Хуфман [35]	5	291-299		0,551	0,622
1943	Питцер [21]	15	290-360		1,243	1,413
1988	Мессерли [53]	24	286-390		0,291	0,328
1997	Чирико [13]	10	380-550		0,282	0,310
<b>Скорость звука <math>w</math></b>						
1972	Шойтов [17]	216	303-413	0,1-51,8	0,532	0,566
1986	Нат [54]	2	303-318	0,1	0,141	0,162
1995	Зотов [76]	78	303-413	10-250	0,280	0,403
1999	Састри [36]	2	298-308	0,1	0,081	0,082
2004	Джордж [37]	6	298-308	0,1	0,391	0,395
2005	Капур [55,56]	6	303-313	0,1	0,475	0,580
2006	Аль-Кандари [38]	4	288-303	0,1	0,248	0,255



2007	Найн [39]	8	288-318	0,1	0,150	0,175
2008	Гонзалес [33]	15	288-323	0,1	0,405	0,453

Примечание. СОО – среднее относительное отклонение; СКО – среднее квадратичное отклонение.

## 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 *n*-ксилола с расчетами по разработанным уравнениям, а на рис.Б.12 показан характер отклонений. Значения температуры, измеренные по разным температурным шкалам, пересчитаны на Международную температурную шкалу 1990 г. (МТШ-90).

Основу массива обрабатываемых данных составили данные Ахундова Т. С.-А. [10], а также широкодиапазонные данные Ахундова Р.Т. [57]. Кроме вышеописанных широкодиапазонных данных, измерения остальных авторов в основном выполнены либо при атмосферном давлении либо по линии насыщения и охватывают узкий интервал температур. Средняя погрешность описания таких данных составляет в среднем 0,5 – 1,5 %.

Кроме экспериментальных данных о вязкости плотного флюида, к обработке привлекались расчетные данные о вязкости разряженного газа. Эти данные были необходимы для определения коэффициентов приведенного эффективного интеграла столкновений. В результате совместной обработки этих данных с экспериментальными данными различных авторов в широком диапазоне параметров состояния, средняя относительная погрешность описания данных о вязкости разряженного газа составила 0,33 %.

Таблица Б.2

Результаты сравнения экспериментальных данных о вязкости *n*-ксилола с рассчитанными по уравнению (13) значениями

Год	Первый автор, Источник	Число точек	Диапазон параметров			Отклонения, %	
			<i>T</i> , К	<i>p</i> , МПа	<i>ρ</i> , кмоль/м <sup>3</sup>	СОО	СКО
1894	Торп [69]	39	281-408	насыщ.	7,1-8,15	0,590	1,076
1946	Гейст [61]	2	293-313	0,1	7,95-8,11	0,156	0,171
1974	Ахундов [10]	129	323-548	0,1-40	5,55-8,14	0,898	1,040
1982	Кашиваги [58]	44	298-348	0,1-110	7,35-8,64	0,599	0,983
1992	Ахундов [57]	109	411-673	0,1-39,4	0,02-7,01	1,570	2,597
1992	Тасиола [62]	10	298-318	0,1	7,95-8,1	0,610	0,680
1992	Вогель [70]	66	414-635	0,101	0,02-0,03	0,276	0,365
1995	Эт-Тахир [59]	12	313-353	20-100	7,94-8,39	2,037	2,341
2004	Янг [63]	7	298-323	0,1	7,86-8,1	0,415	0,503
2005	Капур [64]	6	303-313	0,1	7,95-8,0	0,788	1,000
2006	Ди [65]	10	298-353	0,1	7,61-8,0	0,639	0,773
2007	Найн [66]	8	288-318	0,1	7,9-8,15	2,013	2,138
2007	Янг [67]	7	298-353	0,1	7,61-8,1	1,311	1,341
2008	Сонг [68]	7	303-333	0,1	7,78-8,0	1,228	1,456

2008	Фанг [60]	35	313-473	0,8-3,2	6,50-7,98	1,974	2,819
	Расчет по [57]	19	340-700	разреж.	разреж.	0,329	0,431

Как следует из табл. Б.2, экспериментальные данные разных авторов о вязкости *n*-ксилола описываются уравнением (13) с отклонениями, соответствующими погрешности экспериментальных исследований. Несколько точек [57] в сверхкритической области на изотерме 673,1 К отклоняются более чем на 5,0 %. Данные Фанга с соавторами [60] на изотерме 473,15 (три точки) также отклоняются более чем на 5,0 %.

В целом по массиву привлеченных к анализу данных средняя относительная погрешность расчета вязкости *n*-ксилола по уравнению (13) не превышает 1,5 %.

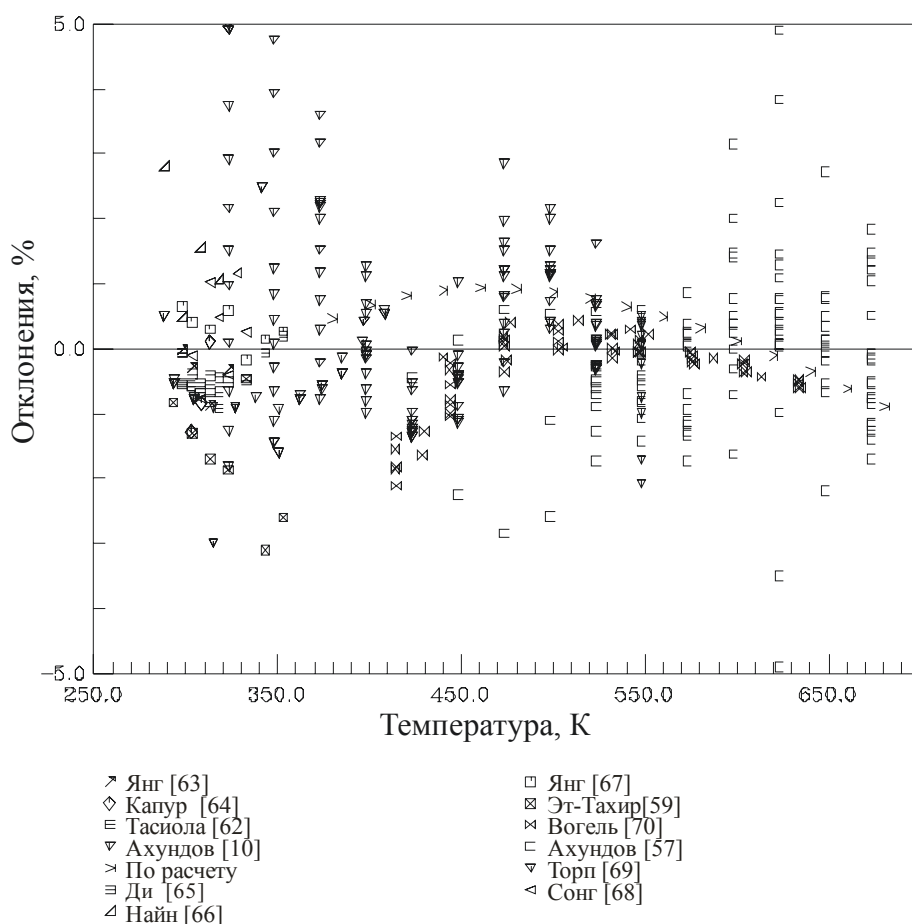


Рисунок Б.12. Сравнение значений вязкости п-ксилола рассчитанных по уравнению (13), с экспериментальными данными различных авторов.

### Б.2.2. Теплопроводность

Широкодиапазонные измерения коэффициента теплопроводности п-ксилола выполнены Ахундовым [10] и Мустафаевым [71]. В работе [10] эксперимент проводился стационарным методом нагретой проволоки. Погрешность данных по оценке автора [10] не превышает 1,5%. В работе Мустафаева [71] использовался метод монотонного разогрева. Погреш-

ность данных оценивается величиной  $\pm 2,0\%$ . В жидкой фазе при повышенных давлениях измерения теплопроводности выполнены в работе Богатова [79], методом нагретой проволоки с погрешностью  $\pm 1,5\%$  и в работе Пугача [72] – методом коаксиальных цилиндров с погрешностью  $\pm 1,5\%$ . Следует также отметить справочно-аналитическое издание Варгафтика с соавторами [73], где представлены рекомендуемые значения теплопроводности технически важных веществ. Данные получены графоаналитической обработкой экспериментальных значений теплопроводности, опубликованных до 1975 года. Поэтому ряд работ, выполненных до 1975 г., в которых получено небольшое количество экспериментальных точек мы не включили в табл. Б.3, так как они уже учтены при составлении таблиц [73].

Таблица Б.3.

Результаты сравнения экспериментальных данных о теплопроводности п-силола с рассчитанными по уравнению (17) значениями.

Год	Первый автор, Источник	Число точек	Диапазон параметров			Отклонения, %	
			$T, K$	$P, \text{МПа}$	$\rho, \text{моль/л}$	САО	СКО
1971	Пугач [72]	49	300-450	40-150	7,7-8,35	1,301	1,496
1974	Ахундов [10]	144	304-680	0,1-30	0,02-8,2	1,199	2,207
1978	Варгафтик [73]	166	180-680	0,1-30	0,02-8,2	0,616	0,869
1980	Огивара [77]	6	293-343	насыщ.	насыщ.	3,026	3,112
1980	Мустафаев [71]	133	306-672	0,1-100	6,7-8,0	2,087	2,657
1982	Кашиваги [75]	6	298-358	насыщ.	насыщ.	0,776	0,989
1988	Ассаэл [78]	11	295-357	насыщ.	насыщ.	0,529	0,642
1992	Богатов [79]	57	313-476	0,1-59	6,6-7,9	0,609	0,723
2002	Тарзиманов [80]		293-593	насыщ.	насыщ.	2,063	2,935
2004	Ватанабе [74]	12	295-330	0,1	7,8-8,3	0,603	0,713

Как видно из табл. Б.3 и рис. Б.13 практически для всех авторов величина СОО не превышает оцененную погрешность экспериментальных данных. Несколько большие отклонения наблюдаются в работе Мустафаева [71] при давлениях, превышающих 50 МПа. Данные Тарзиманова с соавторами [80] систематически занижены. При этом величина отклонений возрастает с увеличением температуры. Авторы [80] объясняют это тем, что их данные не искажены радиационным теплопереносом в отличие от данных других авторов. Однако погрешность определения теплопроводности методом импульсного нагрева в [80] оценивается величиной 2,0%. При такой точности сложно выявить достаточно тонкий эффект радиационного переноса при измерении коэффициента теплопроводности. Поэтому вывод авторов [80] требует дополнительного независимого подтверждения. Величина СОО для всего массива данных, представленных в табл. Б.3 составила 1,4%.

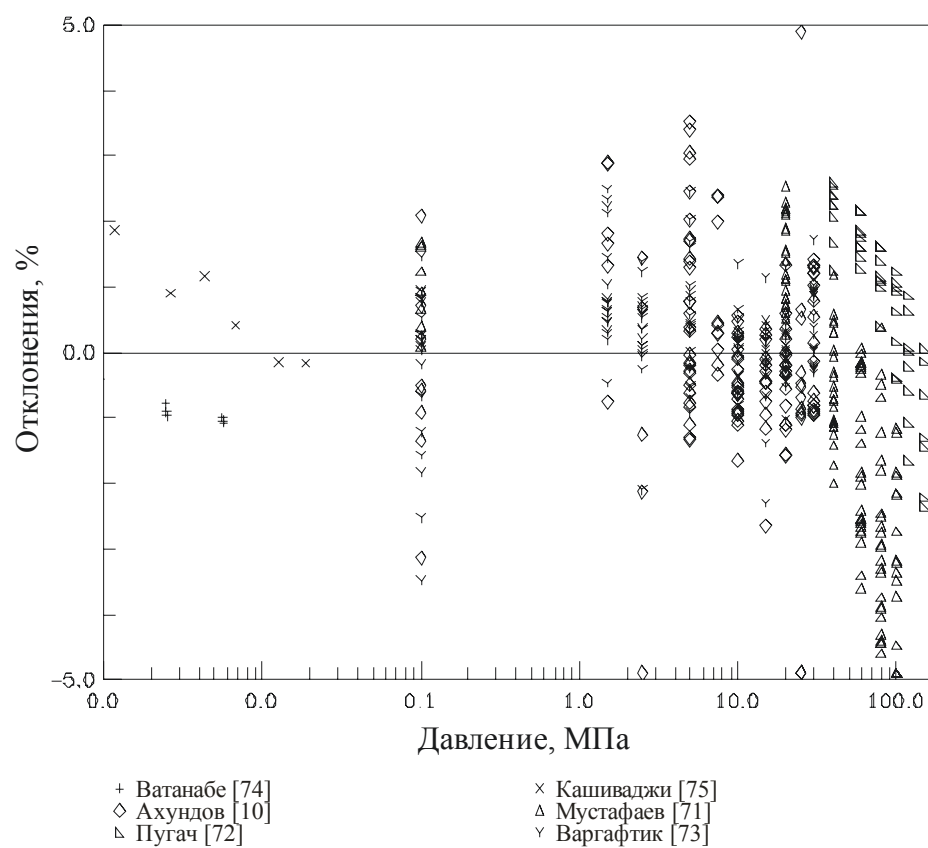


Рисунок Б.13. Сравнение значений теплопроводности п-ксилола, рассчитанных по уравнению (17), с экспериментальными данными различных авторов.

Таблица Б.4. Теплофизические свойства п-ксилола в однофазной области

T	$\rho$	h	s	Cv	Cp	w	$\lambda$	$\eta$
K	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								
290	864.22	406.94	2.2842	1.2566	1.6806	1348.7	129.32	671.79
300	855.26	423.93	2.3418	1.2931	1.7164	1305.6	127.23	590.33
310	846.29	441.27	2.3986	1.3294	1.7525	1263.7	124.96	523.5
320	837.29	458.98	2.4549	1.3653	1.7887	1222.8	122.56	468.14
330	828.25	477.05	2.5105	1.401	1.8251	1182.8	120.1	421.8
340	819.16	495.48	2.5655	1.4364	1.8615	1143.8	117.61	382.64
350	810.01	514.28	2.62	1.4714	1.8981	1105.4	115.11	349.2
360	800.78	533.44	2.674	1.506	1.9348	1067.8	112.62	320.36
370	791.45	552.98	2.7275	1.5402	1.9716	1030.7	110.16	295.24
380	782.01	572.88	2.7805	1.574	2.0086	994.15	107.75	273.15
390	772.44	593.15	2.8332	1.6073	2.0456	958.01	105.38	253.55
400	762.72	613.79	2.8854	1.6402	2.0829	922.22	103.07	235.98
410	752.82	634.81	2.9373	1.6728	2.1204	886.72	100.83	220.12
420	3.1683	990.09	3.8011	1.5852	1.6805	179.01	21.44	8.9691
430	3.0842	1007.1	3.841	1.6183	1.7121	181.59	22.403	9.1951
440	3.0051	1024.3	3.8808	1.6511	1.7435	184.1	23.384	9.4179
450	2.9304	1041.9	3.9203	1.6835	1.7747	186.54	24.382	9.638
460	2.8597	1059.8	3.9596	1.7155	1.8056	188.93	25.398	9.8559
470	2.7928	1078	3.9988	1.747	1.8362	191.27	26.43	10.072
480	2.7292	1096.5	4.0378	1.778	1.8664	193.57	27.479	10.286
490	2.6687	1115.4	4.0766	1.8086	1.8962	195.82	28.544	10.5
500	2.6111	1134.5	4.1152	1.8387	1.9257	198.03	29.626	10.712
510	2.5561	1153.9	4.1536	1.8683	1.9547	200.2	30.723	10.923
520	2.5035	1173.6	4.1918	1.8974	1.9833	202.34	31.836	11.133
530	2.4532	1193.5	4.2299	1.9261	2.0116	204.44	32.964	11.342
540	2.405	1213.8	4.2677	1.9544	2.0394	206.52	34.108	11.551
550	2.3588	1234.3	4.3054	1.9822	2.0668	208.57	35.267	11.759
560	2.3144	1255.1	4.3429	2.0095	2.0937	210.58	36.44	11.966
570	2.2717	1276.2	4.3802	2.0365	2.1203	212.58	37.629	12.174
580	2.2307	1297.5	4.4173	2.063	2.1466	214.54	38.832	12.38
590	2.1912	1319.1	4.4542	2.0891	2.1724	216.49	40.05	12.586
600	2.1531	1341	4.4909	2.1149	2.1979	218.41	41.283	12.792
610	2.1164	1363.1	4.5275	2.1402	2.223	220.31	42.531	12.997
620	2.081	1385.4	4.5638	2.1652	2.2478	222.19	43.793	13.202
630	2.0467	1408	4.6	2.1899	2.2722	224.05	45.07	13.407
640	2.0137	1430.9	4.6359	2.2142	2.2964	225.89	46.362	13.611
650	1.9817	1454	4.6717	2.2383	2.3202	227.71	47.669	13.815
660	1.9507	1477.3	4.7073	2.262	2.3438	229.51	48.991	14.019
670	1.9208	1500.8	4.7428	2.2854	2.3671	231.3	50.329	14.222
680	1.8917	1524.6	4.778	2.3086	2.3901	233.07	51.683	14.426
690	1.8636	1548.6	4.8131	2.3316	2.4129	234.82	53.052	14.628

700	1.8363	1572.9	4.8479	2.3543	2.4355	236.56	54.439	14.831
p=0.5 МПа								
290	864.51	407.27	2.2837	1.2568	1.6803	1350.8	129.47	673.96
300	855.57	424.25	2.3413	1.2932	1.7161	1307.8	127.38	592.26
310	846.61	441.59	2.3981	1.3295	1.7521	1265.9	125.11	525.24
320	837.64	459.29	2.4543	1.3655	1.7883	1225.1	122.71	469.71
330	828.62	477.36	2.5099	1.4012	1.8246	1185.3	120.26	423.24
340	819.56	495.78	2.5649	1.4365	1.861	1146.3	117.78	383.95
350	810.43	514.58	2.6194	1.4715	1.8975	1108.1	115.28	350.41
360	801.23	533.73	2.6734	1.5061	1.9342	1070.5	112.79	321.48
370	791.93	553.26	2.7269	1.5403	1.9709	1033.6	110.34	296.29
380	782.52	573.15	2.7799	1.5741	2.0077	997.16	107.93	274.15
390	772.99	593.41	2.8325	1.6074	2.0446	961.17	105.57	254.49
400	763.31	614.05	2.8848	1.6404	2.0817	925.55	103.27	236.89
410	753.46	635.05	2.9366	1.6729	2.1191	890.22	101.03	221
420	743.43	656.43	2.9882	1.7049	2.1567	855.12	98.865	206.52
430	733.17	678.19	3.0393	1.7366	2.1948	820.16	96.771	193.24
440	722.67	700.33	3.0902	1.7678	2.2334	785.28	94.753	180.96
450	711.88	722.86	3.1409	1.7986	2.2728	750.4	92.81	169.53
460	700.76	745.78	3.1913	1.829	2.313	715.41	90.945	158.83
470	689.26	769.12	3.2415	1.859	2.3545	680.22	89.158	148.74
480	677.32	792.88	3.2915	1.8887	2.3977	644.7	87.447	139.18
490	14.97	1101.2	3.9294	1.8399	1.9894	175.67	28.811	10.697
500	14.503	1121.2	3.9698	1.8662	2.0078	179.38	29.856	10.926
510	14.075	1141.4	4.0097	1.8927	2.0278	182.88	30.924	11.149
520	13.681	1161.8	4.0493	1.9193	2.049	186.2	32.011	11.366
530	13.316	1182.4	4.0886	1.9459	2.0709	189.36	33.118	11.58
540	12.975	1203.2	4.1275	1.9723	2.0934	192.39	34.244	11.791
550	12.657	1224.2	4.1661	1.9986	2.1162	195.31	35.387	11.999
560	12.358	1245.5	4.2044	2.0246	2.1392	198.12	36.547	12.205
570	12.076	1267	4.2425	2.0503	2.1623	200.84	37.724	12.41
580	11.81	1288.8	4.2803	2.0758	2.1854	203.48	38.918	12.613
590	11.558	1310.7	4.3179	2.101	2.2085	206.04	40.127	12.815
600	11.318	1332.9	4.3552	2.1259	2.2315	208.54	41.352	13.016
610	11.091	1355.4	4.3922	2.1505	2.2544	210.97	42.593	13.216
620	10.874	1378	4.4291	2.1748	2.2772	213.34	43.849	13.415
630	10.666	1400.9	4.4657	2.1989	2.2998	215.66	45.121	13.614
640	10.468	1424	4.5021	2.2226	2.3223	217.93	46.408	13.813
650	10.279	1447.4	4.5383	2.2461	2.3446	220.15	47.711	14.011
660	10.097	1470.9	4.5742	2.2694	2.3668	222.34	49.029	14.209
670	9.9222	1494.7	4.61	2.2924	2.3888	224.48	50.364	14.406
680	9.7543	1518.7	4.6456	2.3152	2.4107	226.58	51.714	14.604
690	9.5928	1542.9	4.6809	2.3378	2.4324	228.65	53.082	14.801
700	9.4372	1567.3	4.7161	2.3601	2.454	230.68	54.466	14.998
p=1.0 МПа								
290	864.88	407.67	2.2831	1.2569	1.68	1353.4	129.66	676.68

300	855.96	424.65	2.3407	1.2934	1.7157	1310.4	127.57	594.69
310	847.02	441.99	2.3975	1.3297	1.7516	1268.7	125.3	527.42
320	838.07	459.68	2.4537	1.3657	1.7877	1228	122.9	471.68
330	829.09	477.74	2.5093	1.4014	1.824	1188.3	120.45	425.03
340	820.05	496.16	2.5643	1.4367	1.8603	1149.4	117.98	385.6
350	810.96	514.95	2.6187	1.4717	1.8968	1111.4	115.49	351.93
360	801.79	534.1	2.6727	1.5063	1.9333	1074	113.01	322.89
370	792.53	553.62	2.7261	1.5404	1.9699	1037.2	110.56	297.62
380	783.16	573.5	2.7791	1.5742	2.0066	1000.9	108.15	275.39
390	773.68	593.75	2.8317	1.6076	2.0434	965.09	105.8	255.68
400	764.05	614.37	2.8839	1.6405	2.0803	929.67	103.51	238.03
410	754.26	635.35	2.9358	1.673	2.1175	894.56	101.28	222.1
420	744.29	656.72	2.9872	1.705	2.1549	859.69	99.128	207.6
430	734.1	678.45	3.0384	1.7367	2.1927	825	97.046	194.3
440	723.68	700.57	3.0892	1.7679	2.2309	790.42	95.039	182.01
450	712.99	723.07	3.1398	1.7986	2.2699	755.86	93.109	170.58
460	701.98	745.97	3.1901	1.829	2.3096	721.24	91.258	159.89
470	690.61	769.27	3.2402	1.859	2.3505	686.47	89.485	149.83
480	678.82	792.99	3.2902	1.8887	2.3928	651.44	87.792	140.3
490	666.55	817.13	3.3399	1.918	2.437	616.03	86.176	131.23
500	653.68	841.73	3.3896	1.947	2.4839	580.07	84.636	122.55
510	640.12	866.82	3.4393	1.9757	2.5344	543.36	83.169	114.21
520	625.69	892.44	3.4891	2.0043	2.5902	505.63	81.77	106.14
530	30.559	1165.1	4.0095	1.9824	2.213	165.27	33.9	11.84
540	29.355	1187.2	4.0508	2.0037	2.213	170.52	34.903	12.073
550	28.294	1209.4	4.0915	2.0259	2.2189	175.3	35.949	12.295
560	27.346	1231.6	4.1315	2.0487	2.2286	179.72	37.031	12.51
570	26.489	1253.9	4.1711	2.0718	2.2411	183.83	38.144	12.719
580	25.708	1276.4	4.2102	2.0951	2.2556	187.7	39.284	12.923
590	24.991	1299	4.2489	2.1185	2.2715	191.35	40.449	13.123
600	24.328	1321.8	4.2872	2.1418	2.2885	194.82	41.637	13.321
610	23.712	1344.8	4.3252	2.1651	2.3063	198.13	42.845	13.517
620	23.138	1368	4.3628	2.1882	2.3246	201.3	44.074	13.711
630	22.599	1391.3	4.4002	2.2112	2.3434	204.35	45.322	13.904
640	22.093	1414.8	4.4372	2.2341	2.3626	207.28	46.589	14.096
650	21.616	1438.6	4.474	2.2568	2.3819	210.12	47.873	14.287
660	21.165	1462.5	4.5105	2.2793	2.4015	212.86	49.176	14.477
670	20.737	1486.6	4.5468	2.3017	2.4211	215.53	50.496	14.667
680	20.331	1510.9	4.5828	2.3238	2.4409	218.11	51.835	14.857
690	19.944	1535.4	4.6186	2.3459	2.4607	220.63	53.191	15.046
700	19.575	1560.1	4.6541	2.3678	2.4806	223.09	54.566	15.236
p=1.5 MIIa								
290	865.24	408.08	2.2825	1.2571	1.6797	1356	129.84	679.4
300	856.34	425.05	2.3401	1.2936	1.7153	1313.1	127.75	597.12
310	847.43	442.38	2.3969	1.3299	1.7512	1271.5	125.48	529.61
320	838.51	460.08	2.4531	1.3659	1.7872	1230.9	123.09	473.66

330	829.55	478.13	2.5086	1.4015	1.8234	1191.3	120.65	426.83
340	820.54	496.54	2.5636	1.4369	1.8597	1152.6	118.18	387.25
350	811.48	515.32	2.618	1.4718	1.896	1114.6	115.69	353.45
360	802.34	534.47	2.6719	1.5064	1.9325	1077.4	113.22	324.31
370	793.12	553.97	2.7254	1.5406	1.9689	1040.7	110.78	298.94
380	783.8	573.85	2.7784	1.5744	2.0055	1004.6	108.38	276.64
390	774.36	594.08	2.8309	1.6077	2.0422	968.98	106.04	256.87
400	764.78	614.69	2.8831	1.6406	2.0789	933.75	103.75	239.17
410	755.05	635.66	2.9349	1.6731	2.1159	898.85	101.54	223.2
420	745.14	657.01	2.9863	1.7051	2.1531	864.22	99.39	208.67
430	735.03	678.73	3.0374	1.7368	2.1906	829.78	97.318	195.35
440	724.69	700.82	3.0882	1.7679	2.2286	795.48	95.322	183.05
450	714.08	723.3	3.1387	1.7987	2.2671	761.24	93.405	171.63
460	703.18	746.16	3.189	1.8291	2.3063	726.97	91.567	160.94
470	691.94	769.43	3.239	1.859	2.3466	692.61	89.809	150.9
480	680.3	793.1	3.2889	1.8886	2.3881	658.04	88.131	141.4
490	668.2	817.2	3.3385	1.9179	2.4314	623.16	86.534	132.37
500	655.55	841.74	3.3881	1.9468	2.4769	587.83	85.014	123.75
510	642.25	866.75	3.4376	1.9755	2.5257	551.88	83.571	115.48
520	628.17	892.26	3.4872	2.004	2.5788	515.09	82.2	107.49
530	613.09	918.34	3.5369	2.0324	2.6383	477.13	80.895	99.751
540	596.74	945.06	3.5868	2.0607	2.7075	437.57	79.645	92.183
550	578.69	972.55	3.6372	2.0893	2.7928	395.69	78.435	84.715
560	47.174	1213.9	4.075	2.0836	2.412	155.75	38.413	12.793
570	44.896	1237.9	4.1174	2.1012	2.387	162.57	39.269	13.028
580	42.967	1261.7	4.1588	2.1203	2.3755	168.6	40.219	13.247
590	41.294	1285.4	4.1994	2.1404	2.3724	174.03	41.237	13.456
600	39.818	1309.1	4.2393	2.1612	2.375	178.99	42.309	13.657
610	38.498	1332.9	4.2786	2.1823	2.3816	183.59	43.425	13.853
620	37.306	1356.8	4.3174	2.2037	2.391	187.87	44.578	14.044
630	36.219	1380.7	4.3557	2.2253	2.4025	191.9	45.763	14.232
640	35.221	1404.8	4.3937	2.2469	2.4156	195.7	46.977	14.418
650	34.299	1429.1	4.4312	2.2685	2.4299	199.31	48.217	14.602
660	33.443	1453.4	4.4684	2.2901	2.4451	202.76	49.482	14.785
670	32.644	1478	4.5053	2.3116	2.461	206.05	50.77	14.967
680	31.897	1502.6	4.5419	2.3331	2.4776	209.22	52.08	15.149
690	31.194	1527.5	4.5782	2.3545	2.4945	212.26	53.412	15.33
700	30.532	1552.5	4.6142	2.3758	2.5119	215.2	54.765	15.511
p=2.0 MPa								
290	865.61	408.48	2.2819	1.2573	1.6793	1358.6	130.02	682.13
300	856.73	425.45	2.3395	1.2938	1.7149	1315.8	127.94	599.56
310	847.84	442.78	2.3963	1.3301	1.7507	1274.2	125.67	531.8
320	838.94	460.47	2.4524	1.366	1.7867	1233.8	123.29	475.64
330	830	478.52	2.508	1.4017	1.8228	1194.3	120.84	428.64
340	821.03	496.93	2.5629	1.437	1.859	1155.7	118.37	388.9
350	811.99	515.7	2.6173	1.472	1.8953	1117.9	115.9	354.97



360	802.89	534.83	2.6712	1.5066	1.9316	1080.7	113.43	325.73
370	793.71	554.33	2.7247	1.5408	1.968	1044.2	111	300.26
380	784.42	574.19	2.7776	1.5745	2.0045	1008.3	108.61	277.89
390	775.03	594.42	2.8302	1.6079	2.041	972.84	106.27	258.05
400	765.5	615.01	2.8823	1.6408	2.0776	937.8	103.99	240.31
410	755.82	635.97	2.934	1.6732	2.1144	903.1	101.79	224.29
420	745.98	657.3	2.9854	1.7053	2.1513	868.7	99.65	209.74
430	735.94	679	3.0365	1.7369	2.1886	834.51	97.588	196.4
440	725.67	701.07	3.0872	1.768	2.2262	800.48	95.603	184.09
450	715.16	723.53	3.1377	1.7988	2.2644	766.54	93.698	172.66
460	704.37	746.36	3.1879	1.8291	2.3032	732.62	91.872	161.99
470	693.24	769.59	3.2378	1.8591	2.3429	698.64	90.129	151.96
480	681.75	793.23	3.2876	1.8886	2.3837	664.52	88.466	142.49
490	669.81	817.27	3.3372	1.9178	2.426	630.14	86.885	133.5
500	657.37	841.75	3.3866	1.9467	2.4704	595.4	85.385	124.92
510	644.32	866.69	3.436	1.9753	2.5175	560.15	83.963	116.71
520	630.54	892.11	3.4854	2.0037	2.5683	524.21	82.618	108.81
530	615.87	918.07	3.5348	2.032	2.6245	487.31	81.343	101.17
540	600.08	944.63	3.5845	2.0601	2.6886	449.11	80.132	93.739
550	582.8	971.89	3.6345	2.0884	2.765	409.09	78.972	86.452
560	563.47	1000	3.6851	2.117	2.8628	366.36	77.842	79.226
570	541.04	1029.3	3.737	2.1466	3.0027	319.31	76.712	71.909
580	66.903	1242.3	4.1092	2.157	2.649	143.2	42.591	13.55
590	62.72	1268.4	4.1538	2.1702	2.5701	152.26	43.058	13.795
600	59.392	1293.8	4.1966	2.1861	2.5272	159.91	43.762	14.016
610	56.629	1319	4.2381	2.2036	2.5037	166.59	44.615	14.221
620	54.269	1343.9	4.2787	2.2223	2.4919	172.56	45.571	14.415
630	52.21	1368.8	4.3186	2.2416	2.4878	177.98	46.604	14.602
640	50.386	1393.7	4.3578	2.2614	2.489	182.96	47.698	14.784
650	48.751	1418.6	4.3964	2.2816	2.494	187.59	48.841	14.962
660	47.271	1443.6	4.4345	2.302	2.5017	191.92	50.027	15.138
670	45.919	1468.7	4.4722	2.3224	2.5115	196	51.249	15.311
680	44.676	1493.8	4.5095	2.343	2.5229	199.86	52.503	15.484
690	43.528	1519.1	4.5464	2.3636	2.5356	203.53	53.788	15.655
700	42.461	1544.5	4.583	2.3842	2.5494	207.03	55.101	15.827
p=2.5 МПа								
290	865.97	408.89	2.2813	1.2575	1.679	1361.1	130.21	684.87
300	857.11	425.86	2.3389	1.294	1.7145	1318.5	128.12	602
310	848.24	443.18	2.3957	1.3302	1.7503	1277	125.86	534
320	839.36	460.86	2.4518	1.3662	1.7862	1236.6	123.48	477.63
330	830.46	478.91	2.5073	1.4019	1.8223	1197.3	121.03	430.44
340	821.51	497.31	2.5623	1.4372	1.8584	1158.8	118.57	390.56
350	812.51	516.07	2.6166	1.4722	1.8946	1121.1	116.1	356.5
360	803.44	535.2	2.6705	1.5068	1.9308	1084.1	113.64	327.14
370	794.29	554.69	2.7239	1.5409	1.9671	1047.7	111.21	301.59
380	785.05	574.54	2.7769	1.5747	2.0034	1012	108.83	279.14

390	775.7	594.76	2.8294	1.608	2.0398	976.67	106.5	259.24
400	766.22	615.34	2.8815	1.6409	2.0763	941.81	104.23	241.44
410	756.6	636.29	2.9332	1.6734	2.1129	907.32	102.04	225.39
420	746.81	657.6	2.9846	1.7054	2.1496	873.13	99.908	210.8
430	736.84	679.28	3.0356	1.737	2.1866	839.18	97.856	197.44
440	726.65	701.33	3.0863	1.7681	2.224	805.42	95.882	185.13
450	716.23	723.76	3.1367	1.7988	2.2618	771.78	93.988	173.7
460	705.53	746.57	3.1868	1.8292	2.3001	738.18	92.175	163.03
470	694.52	769.77	3.2367	1.8591	2.3393	704.57	90.444	153.01
480	683.16	793.36	3.2863	1.8886	2.3795	670.87	88.796	143.56
490	671.39	817.36	3.3358	1.9178	2.421	636.97	87.231	134.6
500	659.13	841.78	3.3852	1.9466	2.4643	602.79	85.749	126.08
510	646.32	866.65	3.4344	1.9752	2.5099	568.19	84.347	117.92
520	632.83	891.99	3.4836	2.0035	2.5588	533.03	83.025	110.09
530	618.53	917.84	3.5329	2.0316	2.6121	497.09	81.778	102.54
540	603.22	944.26	3.5822	2.0596	2.6719	460.1	80.6	95.229
550	586.62	971.31	3.6319	2.0876	2.7414	421.67	79.483	88.097
560	568.28	999.14	3.682	2.1159	2.8268	381.16	78.409	81.083
570	547.46	1027.9	3.733	2.1447	2.9407	337.54	77.355	74.087
580	522.7	1058.1	3.7855	2.1749	3.1163	288.72	76.289	66.914
590	97.363	1243	4.0997	2.2195	3.2523	120.1	48.366	14.089
600	87.402	1273.4	4.1509	2.222	2.8943	134.76	47.194	14.378
610	80.781	1301.5	4.1973	2.2319	2.7457	145.64	47.113	14.616
620	75.801	1328.5	4.2413	2.2455	2.6679	154.51	47.5	14.825
630	71.81	1355	4.2836	2.2612	2.6237	162.1	48.149	15.017
640	68.484	1381.1	4.3247	2.2784	2.5982	168.78	48.967	15.198
650	65.636	1407	4.3649	2.2964	2.5844	174.79	49.904	15.371
660	63.15	1432.8	4.4043	2.3151	2.5782	180.27	50.929	15.539
670	60.947	1458.6	4.443	2.3343	2.5774	185.33	52.024	15.703
680	58.972	1484.3	4.4812	2.3537	2.5805	190.03	53.177	15.866
690	57.183	1510.2	4.5189	2.3733	2.5865	194.44	54.377	16.027
700	55.55	1536.1	4.5562	2.3931	2.5947	198.59	55.62	16.187
p=3.0 МПа								
290	866.33	409.3	2.2807	1.2577	1.6786	1363.7	130.39	687.61
300	857.49	426.26	2.3383	1.2942	1.7142	1321.1	128.31	604.45
310	848.65	443.58	2.395	1.3304	1.7499	1279.7	126.05	536.2
320	839.79	461.26	2.4512	1.3664	1.7857	1239.5	123.67	479.62
330	830.91	479.29	2.5067	1.4021	1.8217	1200.2	121.22	432.26
340	821.99	497.69	2.5616	1.4374	1.8578	1161.8	118.77	392.22
350	813.02	516.45	2.616	1.4724	1.8939	1124.3	116.3	358.03
360	803.98	535.57	2.6698	1.5069	1.93	1087.4	113.85	328.57
370	794.87	555.05	2.7232	1.5411	1.9662	1051.2	111.43	302.92
380	785.67	574.89	2.7761	1.5748	2.0024	1015.6	109.05	280.4
390	776.36	595.1	2.8286	1.6082	2.0387	980.47	106.73	260.43
400	766.93	615.67	2.8807	1.6411	2.075	945.79	104.47	242.58
410	757.36	636.6	2.9324	1.6735	2.1114	911.49	102.28	226.49

420	747.63	657.9	2.9837	1.7055	2.148	877.52	100.16	211.87
430	737.72	679.56	3.0346	1.7371	2.1847	843.81	98.122	198.49
440	727.61	701.59	3.0853	1.7682	2.2218	810.3	96.158	186.16
450	717.27	724	3.1356	1.7989	2.2593	776.94	94.275	174.72
460	706.67	746.78	3.1857	1.8292	2.2972	743.67	92.474	164.05
470	695.78	769.94	3.2355	1.8591	2.3359	710.41	90.756	154.05
480	684.55	793.5	3.2851	1.8886	2.3754	677.1	89.122	144.62
490	672.92	817.46	3.3345	1.9178	2.4162	643.66	87.572	135.7
500	660.85	841.83	3.3838	1.9466	2.4585	610	86.106	127.21
510	648.26	866.63	3.4329	1.975	2.5028	576.01	84.724	119.11
520	635.04	891.89	3.4819	2.0033	2.5499	541.57	83.423	111.34
530	621.08	917.64	3.531	2.0313	2.6008	506.5	82.201	103.87
540	606.21	943.93	3.5801	2.0591	2.657	470.6	81.053	96.662
550	590.19	970.81	3.6294	2.0869	2.721	433.54	79.972	89.661
560	572.69	998.39	3.6791	2.1149	2.7971	394.9	78.946	82.823
570	553.15	1026.8	3.7294	2.1432	2.8934	353.96	77.956	76.077
580	530.59	1056.4	3.7808	2.1723	3.0282	309.47	76.974	69.304
590	502.96	1087.7	3.8343	2.2035	3.2544	258.81	75.971	62.24
600	463.87	1122.5	3.8929	2.2405	3.8417	194.41	75.133	54.004
610	120.32	1275.6	4.1465	2.2767	3.5611	116.42	53.69	15.109
620	106.44	1308.3	4.1997	2.2774	3.0705	132	51.585	15.311
630	97.63	1338	4.2471	2.2862	2.8782	143.47	51.066	15.501
640	91.164	1366.2	4.2915	2.2988	2.7786	152.8	51.195	15.678
650	86.062	1393.7	4.3341	2.3136	2.7212	160.76	51.676	15.843
660	81.858	1420.7	4.3754	2.33	2.6867	167.76	52.378	16
670	78.291	1447.4	4.4156	2.3473	2.6664	174.04	53.233	16.153
680	75.198	1474	4.455	2.3652	2.6552	179.77	54.201	16.302
690	72.473	1500.6	4.4938	2.3837	2.6504	185.04	55.257	16.45
700	70.042	1527.1	4.5319	2.4025	2.6503	189.94	56.383	16.596
p=4.0 MIIa								
290	867.04	410.11	2.2796	1.2581	1.678	1368.8	130.76	693.11
300	858.24	427.07	2.3371	1.2946	1.7134	1326.4	128.67	609.37
310	849.45	444.38	2.3938	1.3308	1.749	1285.2	126.42	540.61
320	840.64	462.05	2.4499	1.3668	1.7848	1245.1	124.04	483.61
330	831.81	480.07	2.5054	1.4024	1.8207	1206.1	121.6	435.89
340	822.94	498.46	2.5603	1.4377	1.8566	1167.9	119.16	395.55
350	814.03	517.21	2.6146	1.4727	1.8925	1130.6	116.71	361.11
360	805.06	536.31	2.6684	1.5073	1.9285	1094	114.27	331.42
370	796.02	555.78	2.7218	1.5414	1.9645	1058.1	111.86	305.59
380	786.89	575.6	2.7746	1.5752	2.0005	1022.8	109.5	282.91
390	777.67	595.78	2.827	1.6085	2.0365	987.98	107.19	262.82
400	768.33	616.33	2.8791	1.6413	2.0725	953.65	104.95	244.86
410	758.86	637.23	2.9307	1.6738	2.1086	919.73	102.77	228.68
420	749.25	658.5	2.9819	1.7058	2.1448	886.17	100.67	214
430	739.47	680.13	3.0328	1.7373	2.1811	852.9	98.649	200.57
440	729.5	702.12	3.0834	1.7684	2.2176	819.89	96.705	188.21

450	719.33	724.48	3.1336	1.7991	2.2545	787.07	94.843	176.76
460	708.91	747.22	3.1836	1.8294	2.2917	754.39	93.064	166.09
470	698.23	770.32	3.2333	1.8592	2.3295	721.8	91.37	156.11
480	687.24	793.81	3.2827	1.8886	2.3679	689.24	89.762	146.71
490	675.9	817.68	3.3319	1.9177	2.4073	656.65	88.24	137.84
500	664.16	841.96	3.381	1.9464	2.4478	623.95	86.804	129.42
510	651.97	866.64	3.4299	1.9748	2.4899	591.07	85.455	121.4
520	639.24	891.76	3.4786	2.0029	2.5341	557.92	84.192	113.75
530	625.88	917.33	3.5274	2.0307	2.5809	524.38	83.013	106.42
540	611.77	943.39	3.5761	2.0583	2.6315	490.32	81.916	99.38
550	596.75	969.98	3.6249	2.0858	2.6872	455.57	80.896	92.592
560	580.59	997.16	3.6738	2.1133	2.7503	419.88	79.945	86.027
570	562.97	1025	3.7231	2.1408	2.8246	382.91	79.053	79.644
580	543.39	1053.7	3.773	2.1687	2.9169	344.15	78.202	73.392
590	521.01	1083.5	3.8239	2.1974	3.0415	302.78	77.364	67.181
600	494.21	1114.8	3.8765	2.2277	3.2336	257.33	76.507	60.831
610	459.06	1148.7	3.9326	2.2619	3.6142	204.75	75.65	53.857
620	399.7	1190	3.9997	2.3096	5.0762	137.28	75.735	44.053
630	230.59	1270.1	4.1278	2.3732	7.4387	94.905	72.967	21.217
640	170.81	1321.8	4.2093	2.3584	4.0423	114.51	62.917	17.847
650	147.76	1358.3	4.2659	2.3587	3.3826	129.19	59.547	17.421
660	133.71	1390.7	4.3153	2.3662	3.1146	140.71	58.201	17.351
670	123.7	1421	4.361	2.3776	2.9737	150.31	57.777	17.379
680	115.98	1450.3	4.4043	2.3912	2.8904	158.61	57.87	17.444
690	109.73	1479	4.4461	2.4064	2.8384	165.96	58.292	17.527
700	104.5	1507.2	4.4867	2.4227	2.8051	172.59	58.94	17.619
p=5.0 MIIa								
290	867.75	410.92	2.2784	1.2585	1.6774	1373.8	131.12	698.63
300	858.99	427.87	2.3359	1.2949	1.7127	1331.6	129.04	614.3
310	850.24	445.18	2.3926	1.3312	1.7482	1290.6	126.79	545.05
320	841.48	462.84	2.4487	1.3671	1.7839	1250.7	124.42	487.63
330	832.69	480.85	2.5041	1.4028	1.8196	1211.9	121.99	439.55
340	823.88	499.23	2.559	1.4381	1.8554	1174	119.55	398.9
350	815.03	517.96	2.6133	1.473	1.8912	1136.9	117.11	364.19
360	806.12	537.05	2.667	1.5076	1.927	1100.6	114.68	334.29
370	797.15	556.5	2.7203	1.5417	1.9628	1064.9	112.28	308.27
380	788.1	576.31	2.7731	1.5755	1.9986	1029.9	109.94	285.43
390	778.95	596.47	2.8255	1.6088	2.0344	995.38	107.64	265.2
400	769.71	617	2.8775	1.6416	2.0701	961.38	105.42	247.14
410	760.34	637.88	2.929	1.6741	2.1059	927.82	103.26	230.87
420	750.83	659.12	2.9802	1.706	2.1417	894.65	101.17	216.12
430	741.18	680.71	3.031	1.7375	2.1777	861.81	99.168	202.64
440	731.35	702.67	3.0815	1.7686	2.2137	829.26	97.243	190.25
450	721.32	724.99	3.1317	1.7993	2.25	796.95	95.4	178.78
460	711.08	747.67	3.1815	1.8295	2.2865	764.83	93.643	168.11
470	700.59	770.72	3.2311	1.8593	2.3235	732.86	91.971	158.13

480	689.83	794.14	3.2804	1.8887	2.361	700.98	90.386	148.76
490	678.75	817.94	3.3295	1.9177	2.3992	669.15	88.889	139.93
500	667.32	842.13	3.3783	1.9464	2.4383	637.32	87.481	131.56
510	655.48	866.71	3.427	1.9746	2.4785	605.42	86.162	123.62
520	643.18	891.7	3.4755	2.0026	2.5203	573.39	84.931	116.06
530	630.34	917.12	3.524	2.0303	2.564	541.16	83.788	108.84
540	616.88	942.99	3.5723	2.0577	2.6104	508.64	82.732	101.93
550	602.66	969.34	3.6207	2.085	2.6602	475.73	81.76	95.309
560	587.55	996.21	3.6691	2.1121	2.7148	442.3	80.867	88.944
570	571.33	1023.7	3.7177	2.1391	2.7762	408.17	80.046	82.813
580	553.72	1051.8	3.7665	2.1663	2.8472	373.14	79.286	76.888
590	534.29	1080.7	3.8159	2.1937	2.9333	336.89	78.57	71.13
600	512.37	1110.5	3.8661	2.2218	3.0441	299.02	77.87	65.477
610	486.83	1141.7	3.9176	2.251	3.1992	258.95	77.15	59.816
620	455.49	1174.8	3.9714	2.2826	3.445	216.06	76.369	53.895
630	413.66	1211.3	4.0298	2.3189	3.902	170.65	75.521	47.079
640	352.31	1254.1	4.0973	2.3624	4.7069	130.44	74.424	37.95
650	278.18	1303.2	4.1734	2.3958	4.8717	115.46	72.126	27.815
660	225.39	1348.4	4.2423	2.4053	4.1388	120.6	68.873	22.505
670	194.29	1386.8	4.3002	2.411	3.6078	130.53	66.122	20.553
680	174.19	1421.3	4.3513	2.4195	3.3156	140.33	64.44	19.762
690	159.83	1453.5	4.3983	2.4306	3.1454	149.24	63.581	19.4
700	148.86	1484.4	4.4428	2.4437	3.0394	157.29	63.289	19.227
p=10.0 MPa								
290	871.21	415.01	2.2727	1.2604	1.6745	1398.5	132.91	726.56
300	862.65	431.93	2.33	1.2968	1.7094	1357.1	130.84	639.27
310	854.09	449.2	2.3866	1.333	1.7444	1317	128.61	567.51
320	845.55	466.82	2.4426	1.369	1.7796	1278	126.28	507.95
330	837	484.79	2.4979	1.4046	1.8148	1240.2	123.88	458.05
340	828.44	503.12	2.5526	1.4399	1.85	1203.3	121.47	415.84
350	819.85	521.79	2.6067	1.4748	1.8852	1167.3	119.08	379.81
360	811.24	540.82	2.6603	1.5093	1.9203	1132.1	116.71	348.77
370	802.58	560.2	2.7134	1.5434	1.9553	1097.6	114.37	321.79
380	793.87	579.92	2.766	1.5771	1.9902	1063.9	112.09	298.13
390	785.1	600	2.8182	1.6104	2.025	1030.8	109.86	277.21
400	776.25	620.42	2.8699	1.6432	2.0596	998.29	107.7	258.57
410	767.33	641.19	2.9212	1.6755	2.0941	966.32	105.61	241.83
420	758.31	662.31	2.972	1.7074	2.1285	934.85	103.6	226.68
430	749.18	683.76	3.0225	1.7389	2.1628	903.84	101.67	212.9
440	739.94	705.56	3.0726	1.7698	2.197	873.27	99.827	200.27
450	730.58	727.7	3.1224	1.8004	2.2312	843.09	98.068	188.64
460	721.06	750.19	3.1718	1.8305	2.2652	813.28	96.397	177.88
470	711.39	773.01	3.2209	1.8601	2.2993	783.82	94.815	167.87
480	701.55	796.17	3.2697	1.8893	2.3334	754.68	93.324	158.52
490	691.51	819.68	3.3181	1.9181	2.3676	725.84	91.925	149.77
500	681.27	843.52	3.3663	1.9465	2.4018	697.29	90.619	141.54

510	670.79	867.71	3.4142	1.9745	2.4363	669.02	89.406	133.79
520	660.06	892.25	3.4618	2.0021	2.471	641.01	88.288	126.48
530	649.06	917.13	3.5092	2.0293	2.506	613.27	87.264	119.56
540	637.75	942.37	3.5564	2.0562	2.5415	585.78	86.336	113.02
550	626.1	967.97	3.6034	2.0828	2.5774	558.55	85.502	106.82
560	614.08	993.92	3.6501	2.109	2.614	531.6	84.763	100.96
570	601.66	1020.2	3.6967	2.1349	2.6514	504.94	84.117	95.405
580	588.79	1047	3.7432	2.1606	2.6896	478.59	83.562	90.152
590	575.43	1074	3.7895	2.186	2.7288	452.6	83.094	85.189
600	561.52	1101.5	3.8357	2.2112	2.7692	427.02	82.709	80.506
610	547.03	1129.4	3.8818	2.2362	2.8109	401.92	82.399	76.095
620	531.89	1157.8	3.9279	2.2611	2.8539	377.42	82.157	71.946
630	516.05	1186.5	3.9739	2.2858	2.8981	353.65	81.969	68.047
640	499.47	1215.7	4.0199	2.3103	2.9435	330.78	81.822	64.38
650	482.14	1245.4	4.0659	2.3348	2.9894	309.06	81.699	60.925
660	464.05	1275.5	4.1118	2.359	3.0351	288.74	81.584	57.653
670	445.27	1306.1	4.1578	2.3831	3.0791	270.13	81.462	54.531
680	425.91	1337.1	4.2037	2.4068	3.1198	253.54	81.323	51.524
690	406.18	1368.5	4.2496	2.43	3.1551	239.21	81.168	48.606
700	386.34	1400.2	4.2952	2.4526	3.183	227.3	81.007	45.768
p=20.0 MPa								
300	869.53	440.12	2.3189	1.3006	1.704	1405.3	134.34	690.55
310	861.34	457.33	2.3753	1.3368	1.7383	1366.7	132.15	613.67
320	853.17	474.89	2.431	1.3727	1.7727	1329.3	129.87	549.74
330	845.02	492.79	2.4861	1.4083	1.8071	1293.1	127.55	496.1
340	836.89	511.03	2.5406	1.4435	1.8414	1257.9	125.21	450.68
350	828.76	529.62	2.5944	1.4784	1.8757	1223.6	122.88	411.88
360	820.63	548.55	2.6477	1.5128	1.9097	1190.3	120.6	378.46
370	812.49	567.81	2.7005	1.5469	1.9436	1157.8	118.36	349.43
380	804.34	587.42	2.7528	1.5805	1.9772	1126.2	116.18	324.01
390	796.17	607.36	2.8046	1.6137	2.0106	1095.2	114.06	301.58
400	787.97	627.63	2.8559	1.6464	2.0438	1065	112.01	281.64
410	779.73	648.23	2.9068	1.6787	2.0767	1035.4	110.03	263.78
420	771.46	669.16	2.9572	1.7105	2.1093	1006.5	108.13	247.7
430	763.14	690.42	3.0072	1.7418	2.1416	978.1	106.32	233.12
440	754.77	711.99	3.0569	1.7727	2.1736	950.31	104.59	219.83
450	746.35	733.89	3.1061	1.8031	2.2054	923.08	102.95	207.66
460	737.86	756.1	3.1549	1.8331	2.2367	896.38	101.4	196.46
470	729.31	778.62	3.2033	1.8626	2.2678	870.2	99.938	186.1
480	720.69	801.45	3.2514	1.8916	2.2986	844.53	98.566	176.5
490	711.99	824.59	3.2991	1.9202	2.329	819.35	97.286	167.56
500	703.2	848.03	3.3464	1.9483	2.3591	794.67	96.098	159.22
510	694.33	871.77	3.3935	1.976	2.3889	770.48	95.002	151.42
520	685.37	895.81	3.4401	2.0033	2.4184	746.78	93.998	144.12
530	676.31	920.14	3.4865	2.0302	2.4475	723.57	93.086	137.26
540	667.16	944.76	3.5325	2.0567	2.4763	700.87	92.266	130.81

550	657.9	969.67	3.5782	2.0827	2.5047	678.68	91.538	124.75
560	648.53	994.85	3.6236	2.1084	2.5328	657.01	90.902	119.05
570	639.06	1020.3	3.6686	2.1338	2.5605	635.88	90.355	113.68
580	629.48	1046.1	3.7134	2.1588	2.5878	615.3	89.897	108.64
590	619.79	1072.1	3.7579	2.1834	2.6148	595.3	89.527	103.89
600	610	1098.4	3.802	2.2077	2.6412	575.9	89.243	99.42
610	600.1	1124.9	3.8459	2.2317	2.6673	557.12	89.042	95.225
620	590.1	1151.7	3.8895	2.2554	2.6928	538.98	88.922	91.286
630	580	1178.8	3.9328	2.2788	2.7178	521.51	88.879	87.592
640	569.82	1206.1	3.9758	2.3019	2.7423	504.73	88.91	84.129
650	559.56	1233.6	4.0185	2.3247	2.7662	488.67	89.012	80.886
660	549.24	1261.4	4.0609	2.3472	2.7894	473.34	89.178	77.851
670	538.86	1289.4	4.103	2.3696	2.812	458.78	89.406	75.01
680	528.45	1317.6	4.1448	2.3916	2.8339	444.99	89.689	72.35
690	518.02	1346.1	4.1864	2.4135	2.855	431.99	90.025	69.858
700	507.59	1374.7	4.2276	2.4351	2.8755	419.78	90.406	67.521
p=40.0 MIIa								
300	881.94	456.76	2.2982	1.3082	1.6967	1492.9	141.03	797.4
310	874.32	473.9	2.3544	1.3443	1.7301	1456.5	138.91	709.95
320	866.75	491.36	2.4098	1.3801	1.7635	1421.5	136.73	636.96
330	859.23	509.17	2.4646	1.4156	1.7968	1387.6	134.52	575.51
340	851.75	527.3	2.5187	1.4508	1.83	1354.9	132.31	523.34
350	844.31	545.77	2.5723	1.4856	1.8631	1323.2	130.11	478.69
360	836.91	564.56	2.6252	1.52	1.8959	1292.5	127.95	440.19
370	829.53	583.68	2.6776	1.554	1.9284	1262.8	125.84	406.72
380	822.18	603.13	2.7295	1.5875	1.9607	1233.9	123.79	377.43
390	814.85	622.9	2.7808	1.6206	1.9926	1205.8	121.82	351.61
400	807.54	642.98	2.8317	1.6533	2.0243	1178.6	119.93	328.69
410	800.25	663.38	2.882	1.6855	2.0555	1152	118.11	308.24
420	792.97	684.09	2.9319	1.7172	2.0864	1126.2	116.36	289.87
430	785.7	705.11	2.9814	1.7484	2.1169	1101.1	114.7	273.28
440	778.43	726.43	3.0304	1.7792	2.147	1076.6	113.12	258.22
450	771.17	748.04	3.079	1.8095	2.1766	1052.8	111.62	244.49
460	763.92	769.96	3.1271	1.8393	2.2059	1029.6	110.21	231.92
470	756.67	792.16	3.1749	1.8687	2.2346	1006.9	108.88	220.36
480	749.42	814.65	3.2222	1.8976	2.263	984.92	107.64	209.7
490	742.17	837.42	3.2692	1.926	2.2909	963.47	106.48	199.83
500	734.92	860.47	3.3157	1.954	2.3184	942.57	105.41	190.67
510	727.66	883.78	3.3619	1.9815	2.3454	922.23	104.42	182.14
520	720.41	907.37	3.4077	2.0086	2.3719	902.44	103.52	174.19
530	713.16	931.22	3.4531	2.0353	2.398	883.18	102.7	166.75
540	705.91	955.33	3.4982	2.0616	2.4237	864.46	101.96	159.79
550	698.66	979.69	3.5429	2.0874	2.4489	846.27	101.3	153.27
560	691.41	1004.3	3.5873	2.1129	2.4736	828.6	100.72	147.14
570	684.17	1029.2	3.6313	2.1379	2.4979	811.45	100.22	141.38
580	676.93	1054.3	3.6749	2.1626	2.5217	794.81	99.801	135.97

590	669.7	1079.6	3.7182	2.187	2.5451	778.7	99.454	130.86
600	662.47	1105.2	3.7612	2.211	2.568	763.1	99.182	126.06
610	655.26	1131	3.8038	2.2346	2.5906	748	98.983	121.53
620	648.07	1157	3.8461	2.258	2.6126	733.42	98.855	117.25
630	640.89	1183.2	3.8881	2.281	2.6343	719.34	98.796	113.22
640	633.73	1209.7	3.9298	2.3037	2.6556	705.76	98.805	109.41
650	626.59	1236.3	3.9711	2.3262	2.6764	692.69	98.88	105.82
660	619.48	1263.2	4.0121	2.3484	2.6969	680.1	99.018	102.42
670	612.41	1290.3	4.0528	2.3704	2.717	668	99.219	99.214
680	605.36	1317.5	4.0932	2.3921	2.7368	656.39	99.479	96.183
690	598.36	1345	4.1333	2.4136	2.7562	645.25	99.797	93.318
700	591.4	1372.6	4.1731	2.435	2.7753	634.58	100.17	90.608
p=60.0 MPa								
310	885.76	490.72	2.3354	1.3517	1.7254	1536.7	145.38	810.14
320	878.64	508.14	2.3907	1.3875	1.7582	1503.3	143.28	727.75
330	871.59	525.89	2.4453	1.4229	1.7908	1471.2	141.15	658.17
340	864.61	543.96	2.4992	1.458	1.8234	1440.2	139.04	598.94
350	857.67	562.35	2.5525	1.4928	1.8557	1410.3	136.94	548.13
360	850.79	581.07	2.6053	1.5271	1.8878	1381.4	134.89	504.23
370	843.96	600.11	2.6574	1.561	1.9196	1353.4	132.89	466.02
380	837.18	619.46	2.709	1.5945	1.9512	1326.4	130.94	432.55
390	830.44	639.13	2.7601	1.6276	1.9823	1300.2	129.06	403.04
400	823.73	659.11	2.8107	1.6602	2.0132	1274.8	127.25	376.85
410	817.07	679.39	2.8608	1.6923	2.0437	1250.2	125.51	353.49
420	810.43	699.98	2.9104	1.724	2.0737	1226.3	123.85	332.52
430	803.84	720.87	2.9595	1.7552	2.1034	1203.1	122.29	313.61
440	797.27	742.05	3.0082	1.7859	2.1326	1180.6	120.81	296.48
450	790.73	763.52	3.0565	1.8161	2.1615	1158.7	119.4	280.89
460	784.23	785.27	3.1043	1.8459	2.1898	1137.4	118.07	266.63
470	777.75	807.31	3.1517	1.8752	2.2178	1116.8	116.82	253.56
480	771.29	829.63	3.1987	1.9041	2.2453	1096.7	115.65	241.52
490	764.87	852.22	3.2452	1.9324	2.2723	1077.2	114.56	230.4
500	758.47	875.07	3.2914	1.9603	2.2989	1058.3	113.55	220.1
510	752.1	898.19	3.3372	1.9878	2.325	1039.9	112.61	210.53
520	745.75	921.57	3.3826	2.0149	2.3507	1022	111.75	201.62
530	739.43	945.21	3.4276	2.0415	2.376	1004.7	110.97	193.31
540	733.14	969.09	3.4723	2.0677	2.4008	987.85	110.27	185.54
550	726.87	993.22	3.5165	2.0934	2.4251	971.5	109.63	178.26
560	720.63	1017.6	3.5604	2.1188	2.4491	955.63	109.07	171.43
570	714.42	1042.2	3.604	2.1438	2.4726	940.24	108.58	165.02
580	708.23	1067	3.6472	2.1684	2.4957	925.31	108.16	158.98
590	702.08	1092.1	3.6901	2.1927	2.5184	910.84	107.81	153.29
600	695.96	1117.4	3.7326	2.2166	2.5407	896.83	107.53	147.93
610	689.87	1142.9	3.7748	2.2402	2.5626	883.25	107.31	142.87
620	683.81	1168.7	3.8166	2.2635	2.5842	870.12	107.16	138.09
630	677.79	1194.6	3.8581	2.2864	2.6054	857.41	107.07	133.56



640	671.8	1220.8	3.8993	2.3091	2.6262	845.12	107.04	129.29
650	665.85	1247.1	3.9402	2.3315	2.6468	833.24	107.07	125.23
660	659.94	1273.7	3.9808	2.3536	2.667	821.77	107.16	121.4
670	654.07	1300.5	4.021	2.3755	2.6869	810.69	107.31	117.76
680	648.24	1327.4	4.061	2.3971	2.7065	800.01	107.51	114.31
690	642.46	1354.6	4.1006	2.4186	2.7259	789.7	107.78	111.03
700	636.72	1382	4.14	2.4399	2.745	779.77	108.09	107.92
p=80.0 MIIa								
320	889.29	525.12	2.373	1.3946	1.7552	1577.6	149.59	821.05
330	882.61	542.83	2.4275	1.43	1.7874	1546.7	147.54	743.11
340	876	560.87	2.4814	1.4651	1.8195	1517	145.5	676.59
350	869.47	579.22	2.5346	1.4997	1.8514	1488.4	143.48	619.4
360	862.99	597.9	2.5872	1.534	1.883	1460.8	141.51	569.9
370	856.58	616.88	2.6392	1.5679	1.9144	1434.2	139.58	526.75
380	850.22	636.18	2.6907	1.6014	1.9455	1408.4	137.72	488.91
390	843.91	655.79	2.7416	1.6344	1.9762	1383.6	135.91	455.51
400	837.66	675.71	2.792	1.6669	2.0066	1359.5	134.18	425.86
410	831.45	695.92	2.8419	1.699	2.0366	1336.2	132.51	399.4
420	825.29	716.44	2.8914	1.7306	2.0663	1313.6	130.92	375.66
430	819.18	737.25	2.9403	1.7618	2.0955	1291.7	129.4	354.26
440	813.11	758.35	2.9888	1.7925	2.1243	1270.5	127.95	334.88
450	807.08	779.73	3.0369	1.8227	2.1526	1249.9	126.58	317.25
460	801.09	801.4	3.0845	1.8524	2.1806	1230	125.28	301.15
470	795.14	823.34	3.1317	1.8817	2.2081	1210.6	124.11	286.4
480	789.23	845.56	3.1785	1.9105	2.2352	1191.8	122.98	272.83
490	783.36	868.04	3.2248	1.9388	2.2618	1173.6	121.93	260.31
500	777.52	890.79	3.2708	1.9667	2.288	1155.9	120.95	248.73
510	771.73	913.8	3.3164	1.9941	2.3137	1138.7	120.05	237.99
520	765.97	937.07	3.3615	2.0211	2.3391	1122	119.21	227.99
530	760.24	960.58	3.4063	2.0477	2.364	1105.8	118.45	218.67
540	754.55	984.34	3.4507	2.0738	2.3884	1090.1	117.76	209.97
550	748.9	1008.3	3.4948	2.0996	2.4125	1074.9	117.13	201.82
560	743.29	1032.6	3.5385	2.1249	2.4361	1060.1	116.57	194.19
570	737.71	1057.1	3.5818	2.1499	2.4594	1045.7	116.08	187.01
580	732.17	1081.8	3.6248	2.1745	2.4822	1031.8	115.66	180.26
590	726.66	1106.7	3.6674	2.1987	2.5047	1018.3	115.29	173.91
600	721.2	1131.9	3.7097	2.2226	2.5268	1005.2	114.99	167.92
610	715.77	1157.2	3.7516	2.2461	2.5486	992.49	114.76	162.26
620	710.38	1182.8	3.7932	2.2693	2.57	980.19	114.58	156.91
630	705.03	1208.6	3.8345	2.2922	2.5911	968.27	114.46	151.85
640	699.71	1234.7	3.8755	2.3149	2.6119	956.72	114.4	147.06
650	694.44	1260.9	3.9161	2.3372	2.6323	945.53	114.39	142.52
660	689.21	1287.3	3.9565	2.3593	2.6525	934.7	114.44	138.21
670	684.02	1313.9	3.9965	2.3812	2.6724	924.22	114.55	134.12
680	678.87	1340.8	4.0363	2.4028	2.6921	914.08	114.71	130.23
690	673.77	1367.8	4.0757	2.4242	2.7115	904.27	114.92	126.54

700	668.7	1395	4.1149	2.4454	2.7308	894.79	115.18	123.03
p=100.0 МПа								
320	898.95	542.24	2.3566	1.4016	1.7539	1645.9	155.71	916.14
410	844.1	712.79	2.8248	1.7055	2.0325	1413.5	139.15	445.81
430	832.56	754.03	2.923	1.7682	2.0907	1371	136.13	395.17
440	826.86	775.08	2.9714	1.7988	2.1193	1350.7	134.72	373.43
450	821.22	796.41	3.0194	1.829	2.1474	1331.1	133.39	353.67
470	810.06	839.91	3.1139	1.8879	2.2023	1293.6	130.94	319.1
490	799.09	884.49	3.2068	1.945	2.2555	1258.4	128.77	289.91
510	788.28	930.12	3.2981	2.0002	2.3071	1225.2	126.93	264.96
560	762	1048.6	3.5195	2.1309	2.4286	1150.4	123.48	216.14
570	756.86	1073	3.5627	2.1558	2.4517	1136.8	122.98	208.15
590	746.71	1122.4	3.648	2.2045	2.4969	1110.6	122.17	193.58
630	726.88	1224.1	3.8147	2.298	2.583	1062.9	121.24	169.06
650	717.21	1276.1	3.896	2.3429	2.6243	1041.1	121.11	158.68
670	707.7	1329	3.9762	2.3868	2.6645	1020.6	121.2	149.34
690	698.34	1382.7	4.0551	2.4298	2.7037	1001.4	121.49	140.9
700	693.73	1409.8	4.0942	2.451	2.723	992.21	121.71	136.98

Таблица Б.5. Теплофизические свойства п-ксилола 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
290	0.00072001	864.15	0.031731	406.86	810.72	2.2843	3.6769	1.6807	1.1629	1348.2	155.93	129.29	10.555	671.26	6.1414
295	0.00097264	859.67	0.042149	415.31	816.57	2.3132	3.6734	1.6986	1.183	1326.5	157.13	128.27	10.911	628.49	6.249
300	0.0012985	855.18	0.055349	423.85	822.5	2.3419	3.6707	1.7165	1.2031	1305.1	158.32	127.2	11.272	589.85	6.3565
305	0.0017142	850.7	0.071899	432.48	828.54	2.3704	3.669	1.7345	1.2231	1283.9	159.49	126.08	11.639	554.85	6.4637
310	0.0022391	846.2	0.092444	441.2	834.66	2.3988	3.668	1.7526	1.2432	1263.1	160.64	124.92	12.01	523.08	6.5708
315	0.0028956	841.71	0.11771	450	840.87	2.427	3.6678	1.7706	1.2633	1242.5	161.77	123.73	12.387	494.15	6.6777
320	0.003709	837.2	0.14852	458.9	847.18	2.455	3.6683	1.7888	1.2833	1222.2	162.88	122.52	12.769	467.76	6.7844
325	0.0047081	832.69	0.18576	467.89	853.57	2.4829	3.6695	1.807	1.3034	1202.1	163.96	121.29	13.156	443.61	6.8911
330	0.0059253	828.16	0.23044	476.97	860.04	2.5106	3.6714	1.8252	1.3234	1182.3	165.01	120.07	13.548	421.47	6.9976
335	0.0073966	823.63	0.28365	486.15	866.61	2.5382	3.6739	1.8434	1.3434	1162.6	166.04	118.83	13.944	401.11	7.1042
340	0.0091618	819.07	0.34656	495.41	873.25	2.5656	3.6769	1.8617	1.3635	1143.2	167.03	117.58	14.346	382.34	7.2107
345	0.011265	814.51	0.42047	504.77	879.97	2.5929	3.6805	1.88	1.3835	1123.9	167.99	116.33	14.753	365	7.3174
350	0.013754	809.92	0.50677	514.21	886.77	2.6201	3.6845	1.8983	1.4036	1104.9	168.92	115.08	15.165	348.94	7.4242
355	0.016681	805.32	0.60692	523.75	893.65	2.6471	3.6891	1.9166	1.4237	1086	169.81	113.83	15.582	334.02	7.5311
360	0.020102	800.69	0.72253	533.39	900.6	2.6741	3.6941	1.935	1.4438	1067.2	170.67	112.59	16.003	320.13	7.6384
365	0.024078	796.04	0.8553	543.11	907.62	2.7009	3.6995	1.9534	1.4639	1048.6	171.48	111.36	16.43	307.17	7.746
370	0.028675	791.36	1.007	552.92	914.71	2.7276	3.7054	1.9718	1.4841	1030.2	172.25	110.13	16.862	295.05	7.8539
375	0.033961	786.66	1.1796	562.83	921.86	2.7542	3.7116	1.9902	1.5043	1011.9	172.97	108.92	17.298	283.68	7.9623
380	0.040011	781.93	1.375	572.84	929.08	2.7806	3.7181	2.0087	1.5246	993.69	173.65	107.72	17.739	273	8.0713
385	0.046901	777.17	1.5954	582.93	936.36	2.807	3.725	2.0272	1.5449	975.62	174.28	106.53	18.186	262.94	8.1808
390	0.054715	772.37	1.8431	593.12	943.7	2.8333	3.7322	2.0457	1.5653	957.65	174.85	105.36	18.637	253.44	8.291
395	0.063539	767.54	2.1204	603.4	951.1	2.8594	3.7397	2.0643	1.5858	939.78	175.38	104.2	19.093	244.45	8.402
400	0.073463	762.68	2.4298	613.77	958.55	2.8855	3.7474	2.083	1.6064	922	175.84	103.06	19.555	235.92	8.5137
405	0.084582	757.77	2.7739	624.24	966.05	2.9115	3.7554	2.1017	1.6271	904.31	176.25	101.93	20.021	227.82	8.6263

410	0.096994	752.82	3.1555	634.8	973.6	2.9373	3.7637	2.1204	1.6479	886.69	176.59	100.83	20.493	220.11	8.7397
415	0.1108	747.82	3.5774	645.46	981.19	2.9631	3.7721	2.1393	1.6688	869.14	176.87	99.737	20.97	212.75	8.8541
420	0.12611	742.78	4.0428	656.21	988.83	2.9888	3.7808	2.1582	1.6899	851.66	177.09	98.667	21.453	205.72	8.9696
425	0.14303	737.68	4.5548	667.06	996.5	3.0145	3.7896	2.1772	1.7111	834.23	177.24	97.616	21.941	198.99	9.0861
430	0.16167	732.53	5.1169	678.01	1004.2	3.04	3.7986	2.1963	1.7325	816.86	177.32	96.584	22.434	192.53	9.2037
435	0.18216	727.33	5.7326	689.05	1012	3.0655	3.8078	2.2155	1.7541	799.52	177.32	95.573	22.934	186.32	9.3225
440	0.20461	722.06	6.4057	700.18	1019.7	3.0909	3.8171	2.2349	1.7759	782.22	177.25	94.582	23.44	180.34	9.4424
445	0.22914	716.73	7.1403	711.42	1027.6	3.1162	3.8266	2.2545	1.7979	764.95	177.1	93.612	23.952	174.58	9.5637
450	0.25589	711.33	7.9406	722.75	1035.4	3.1414	3.8361	2.2742	1.8203	747.7	176.86	92.663	24.47	169.02	9.6862
455	0.28497	705.85	8.8113	734.18	1043.2	3.1666	3.8458	2.2941	1.8429	730.47	176.55	91.736	24.996	163.64	9.8101
460	0.31654	700.3	9.7572	745.72	1051.1	3.1917	3.8556	2.3143	1.8658	713.25	176.15	90.83	25.529	158.44	9.9354
465	0.35071	694.67	10.784	757.35	1059	3.2167	3.8654	2.3347	1.8892	696.02	175.65	89.945	26.07	153.39	10.062
470	0.38764	688.95	11.896	769.09	1066.9	3.2417	3.8754	2.3554	1.9129	678.8	175.07	89.083	26.619	148.5	10.19
475	0.42746	683.14	13.101	780.93	1074.8	3.2667	3.8853	2.3765	1.9371	661.56	174.38	88.243	27.177	143.74	10.32
480	0.47033	677.22	14.404	792.87	1082.7	3.2916	3.8954	2.398	1.9619	644.3	173.6	87.426	27.745	139.11	10.452
485	0.51638	671.21	15.813	804.93	1090.6	3.3164	3.9054	2.4198	1.9872	627.01	172.71	86.632	28.323	134.61	10.585
490	0.56577	665.08	17.336	817.09	1098.5	3.3412	3.9155	2.4422	2.0133	609.69	171.72	85.86	28.912	130.22	10.72
495	0.61867	658.82	18.982	829.36	1106.4	3.3659	3.9256	2.4651	2.0401	592.33	170.61	85.112	29.514	125.94	10.857
500	0.67522	652.44	20.759	841.74	1114.3	3.3907	3.9357	2.4887	2.0678	574.91	169.38	84.386	30.129	121.76	10.996
505	0.7356	645.92	22.678	854.24	1122.1	3.4153	3.9458	2.513	2.0966	557.43	168.03	83.684	30.76	117.68	11.137
510	0.79996	639.24	24.751	866.86	1130	3.44	3.9559	2.5382	2.1265	539.87	166.55	83.006	31.408	113.69	11.28
515	0.86848	632.41	26.991	879.6	1137.8	3.4647	3.9659	2.5643	2.1578	522.24	164.94	82.35	32.075	109.79	11.426
520	0.94135	625.39	29.413	892.46	1145.5	3.4893	3.9759	2.5916	2.1908	504.5	163.18	81.719	32.764	105.98	11.575
525	1.0187	618.19	32.033	905.46	1153.2	3.5139	3.9858	2.6202	2.2256	486.66	161.27	81.11	33.478	102.24	11.726
530	1.1008	610.77	34.87	918.59	1160.8	3.5386	3.9956	2.6504	2.2627	468.69	159.21	80.525	34.22	98.578	11.88
535	1.1878	603.12	37.947	931.85	1168.4	3.5632	4.0053	2.6824	2.3024	450.57	156.97	79.964	34.995	94.992	12.037
540	1.2799	595.21	41.289	945.27	1175.9	3.5879	4.0149	2.7167	2.3454	432.29	154.56	79.425	35.808	91.476	12.198
545	1.3773	587.03	44.926	958.84	1183.2	3.6126	4.0243	2.7537	2.3924	413.82	151.96	78.908	36.667	88.028	12.362
550	1.4803	578.52	48.895	972.57	1190.5	3.6374	4.0336	2.794	2.4442	395.14	149.15	78.414	37.579	84.645	12.53

555	1.589	569.66	53.239	986.48	1197.6	3.6622	4.0426	2.8384	2.5022	376.21	146.13	77.941	38.556	81.323	12.703
560	1.7038	560.39	58.01	1000.6	1204.6	3.6871	4.0514	2.888	2.568	356.99	142.86	77.489	39.61	78.06	12.88
565	1.8248	550.66	63.275	1014.9	1211.3	3.7122	4.0598	2.9444	2.6439	337.42	139.34	77.058	40.76	74.851	13.062
570	1.9524	540.39	69.117	1029.4	1217.8	3.7374	4.0679	3.0096	2.7334	317.46	135.54	76.648	42.029	71.69	13.251
575	2.0869	529.47	75.646	1044.2	1224.1	3.7627	4.0756	3.087	2.8413	297.03	131.42	76.26	43.449	68.568	13.446
580	2.2287	517.78	83.008	1059.3	1230	3.7884	4.0827	3.1815	2.9755	276.02	126.97	75.896	45.064	65.474	13.651
585	2.378	505.13	91.405	1074.7	1235.5	3.8144	4.0891	3.3014	3.1489	254.3	122.13	75.564	46.939	62.389	13.869
590	2.5354	491.24	101.13	1090.6	1240.4	3.8409	4.0947	3.4614	3.3838	231.72	116.86	75.282	49.169	59.283	14.107
595	2.7015	475.7	112.64	1107	1244.5	3.868	4.0991	3.6904	3.7243	208.01	111.09	75.091	51.915	56.104	14.38
600	2.8768	457.78	126.71	1124.2	1247.6	3.8961	4.1018	4.0541	4.2686	182.83	104.75	75.097	55.459	52.758	14.723
605	3.0623	436.05	144.82	1142.5	1249	3.9258	4.1019	4.7417	5.2919	155.65	97.721	75.595	60.402	49.041	15.222
610	3.2592	406.78	170.76	1163.1	1247.3	3.9589	4.0969	6.5999	7.9755	125.51	89.815	77.552	68.518	44.402	16.17
615	3.4696	349.7	224.42	1191.9	1234.9	4.0051	4.0749	27.973	34.962	90.499	80.863	91.065	95.913	35.748	19.611

Таблица Б.6

## Поля неопределенности расчета плотности

$p$ , МПа	Температура, К												
	290	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	0,10	0,10	0,10	0,12	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,40
2,0	0,10	0,12	0,12	0,12	0,15	0,20	0,45	0,40	0,35	0,35	0,35	0,35	0,40
3,0	0,12	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,30	0,60	0,50	0,40	0,35	0,35	0,40
3,5	0,12	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,30	0,60	-	0,60	0,50	0,40	0,40
4,0	0,12	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,30	0,80	1,0	0,60	0,50	0,40	0,40
5,0	0,12	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,30	0,60	0,90	0,70	0,40	0,40	0,40
10,0	-	0,15	0,15	0,15	0,15	0,25	0,30	0,35	0,50	0,60	0,50	0,40	0,40
50,0	-	0,18	0,18	0,18	0,20	0,25	0,30	0,35	0,45	0,50	0,50	0,40	0,40
100,0	-	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,30	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40

Таблица Б.7

## Поля неопределенности расчета изобарной теплоемкости

$p$ , МПа	Температура, К												
	290	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
2,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,8	1,0	0,7	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3
3,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	1,0	1,5	2,0	1,0	0,5	0,5	0,4	0,4
3,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	1,5	-	1,5	0,7	0,5	0,4
4,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	1,2	2,0	2,5	1,5	1,0	0,5

5,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	1,0	1,5	2,0	2,0	1,2	0,8
10,0	-	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,5	1,8	1,5	0,8
50,0	-	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,5	1,5	1,5	1,0
100,0	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,5	1,5	1,5	1,5

Таблица Б.8

Поля неопределенности расчета скорости распространения звука

$p$ , МПа	Температура, К												
	290	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6
2,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	1,0	1,5	0,7	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7
3,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	1,0	1,2	2,5	1,5	1,0	0,8	0,7	0,7
3,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	1,1	1,7	3,5	-	2,0	1,5	1,0	0,7
4,0	0,9	0,9	0,9	0,9	1,1	1,4	1,8	3,5	5,0	2,0	1,7	1,2	0,8
5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,4	2,0	2,5	3,5	3,0	2,0	1,5	1,0
10,0	-	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,5	2,0	2,5	2,0	2,0	1,7	1,0
50,0	-	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,7	2,5	3,0	2,5	2,5	2,5	1,5
100,0	-	1,5	1,5	1,5	1,6	1,7	2,0	2,2	2,2	2,5	2,5	2,5	2,5

Таблица Б.9

Поля неопределенности расчета коэффициента теплопроводности

$p$ , МПа	Температура, К												
	290	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,8
2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,7	1,8	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,8
3,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	1,7	1,6	1,6	1,6	1,8
3,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	-	1,8	1,7	1,6	1,8

4,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,7	1,7	1,7	2,5	2,0	1,7	1,7	1,8
5,0	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	1,8	2,0	2,0	2,0	1,8	1,9
10,0	-	1,6	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9
50,0	-	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0
100,	-	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0

Таблица Б.10

Поля неопределенности расчета коэффициента динамической вязкости

$p$ , МПа	Температура, К												
	290	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
2,0	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
3,0	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,8	1,9	1,7	1,5	1,5	1,5	1,5
3,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,8	1,9	-	1,7	1,6	1,5	1,5
4,0	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,8	1,8	2,0	1,8	1,6	1,5	1,5
5,0	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6
10,0	-	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	2,0	2,0	2,0	2,0	1,7
50,0	-	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
100,0	-	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0



Таблица Б.11

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

$T$ , К	$\delta p_v$ , %	$\delta \rho_l$ , %	$\delta \rho_v$ , %	$\delta C_p'$ , %	$\delta C_p''$ , %	$\delta h'$ , %	$\delta s'$ , %	$\delta \Delta h_v$ , %	$\delta \lambda'$ , %	$\delta \lambda''$ , %	$\delta \eta'$ , %	$\delta \eta''$ , %
290	0,50	0,10	0,50	0,3	0,4	0,30	0,30	0,5	1,5	1,5	1,6	1,5
350	0,30	0,10	0,30	0,3	0,4	0,30	0,30	0,5	1,5	1,5	1,6	1,4
400	0,15	0,10	0,30	0,3	0,5	0,30	0,30	0,7	1,5	1,5	1,6	1,4
450	0,15	0,12	0,40	0,4	0,9	0,30	0,30	0,7	1,5	1,6	1,6	1,4
500	0,15	0,14	0,50	0,5	1,2	0,32	0,32	0,8	1,6	1,7	1,6	1,5
550	0,18	0,18	0,70	0,7	1,5	0,32	0,32	0,9	1,7	1,8	1,7	1,7
600	0,20	0,30	1,00	1,2	2,0	0,34	0,34	1,2	1,8	1,9	1,8	1,9
610	0,30	0,40	1,50	1,5	2,5	0,34	0,34	1,5	2,0	2,2	2,0	2,2
613	0,35	0,50	1,80	2,0	3,0	0,40	0,40	2,5	2,2	2,4	2,2	2,4
615	0,40	0,70	2,50	3,0	4,0	0,45	0,45	3,5	2,5	2,7	2,5	2,7