

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ**

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

Разрешаю на депонирование

Генеральный директор

ФГУП "СТАНДАРТИНФОРМ"



А. А. Коровайцев

УДК 547.216:536.7

**ТАБЛИЦЫ СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ**

**М-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 299 – 2014**

**(ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ РЕДАКЦИЯ, тема RU.3.062-2014)**

Москва – 2014

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

ОДОБРЕНЫ экспертной комиссией в составе:

д-ра техн. наук А. 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**

м–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  
299-2014**

**Tables of Standard Reference Data**

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

**GSSSD  
299-2014**

---

## ДЕПОНИРОВАННАЯ РУКОПИСЬ

УДК 547.216:536.7

Таблицы стандартных справочных данных ГСССД 299 – 2014. м–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., № 881–2014 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	17
5. Приложение Б. Б.1. Анализ результатов и оценка точности табличных значений ТДС	22
Таблица Б.1 Результаты сравнения данных о термодинамических свойствах м-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 м-ксилола с рассчитанными по уравнению (17) значениями	35
Таблица Б.4. Теплофизические свойства м-ксилола в однофазной области	37
Таблица Б.5. Теплофизические свойства м-ксилола на линии насыщения	53
Таблица Б.6 Поля неопределенности расчета плотности	56
Таблица Б.7 Теплофизические свойства м-ксилола в однофазной области	56
Таблица Б.8 Поля неопределенности расчета скорости распространения звука	57
Таблица Б.9 Поля неопределенности расчета коэффициента теплопроводности	57
Таблица Б.10 Поля неопределенности расчета коэффициента динамической вязкости	58
Таблица Б.11 Поля неопределенности расчета теплофизических свойств на линии равновесия «жидкость – газ»	59

# 1. Термодинамические свойства

Таблицы стандартных справочных данных о термодинамических свойствах м-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  $\alpha^0(\delta, \tau)$  и избыточной части  $\alpha^r(\delta, \tau)$  уравнением (1).

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

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

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

где  $\delta = \rho/\rho_c$ ;  $\tau = T_c/T$ ;  $\rho_c$ ,  $T_c$  – параметры приведения, в качестве которых приняты критические значения. В частности для м-ксилола:  $\rho_c = 2,68348$  кмоль/м<sup>3</sup>,  $T_c = 617,00$  К.

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

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

Безразмерная идеально-газовая часть свободной энергии Гельмгольца определяется по соотношению

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

где  $\delta_0 = \rho_0/\rho_c$ ;  $\tau_0 = T_c/T_0$ ;  $T_0, p_0$  – вспомогательная опорная точка ( $T_0 = 298,15$  К;  $p_0 = 101325$  Па);  $\rho_0$  – плотность идеального газа при температуре  $T_0$  и давлении  $p_0$ ;  $h_0^g, s_0^g$  – 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

$$\frac{C_p^g}{R} = \sum_{i=-3}^3 c_i T^i \quad (4)$$

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  $\alpha^g$

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

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

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

$i$	$c_i$	$\alpha_i$
-3	-	-0,628447
-2	$-0,1549502 \cdot 10^6$	$0,6289201 \cdot 10^1$
-1	$0,3363371 \cdot 10^4$	$-0,3860254 \cdot 10^2$
0	$-0,2348792 \cdot 10^2$	$-0,7404753 \cdot 10^2$
1	0,1251298	$0,2845685 \cdot 10^2$
2	$-0,9912344 \cdot 10^{-4}$	0,2035129
3	$0,321066 \cdot 10^{-7}$	$-0,2448792 \cdot 10^2$
4	-	$-0,5451169 \cdot 10^1$

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) м-ксилола

$i$	$n_i$	$t_i$	$d_i$	$p_i$
1	$0,19269917 \cdot 10^1$	1,506	1	0
2	$0,11231541 \cdot 10^1$	0,244	1	0
3	$-0,37796738 \cdot 10^1$	1,249	1	0
4	$0,11184624 \cdot 10^0$	0,253	3	0
5	$0,29753505 \cdot 10^{-3}$	0,873	7	0
6	$-0,26057213 \cdot 10^0$	1,383	2	0
7	$-0,69065703 \cdot 10^{-2}$	0,970	1	1
8	$-0,23452306 \cdot 10^0$	2,403	1	1
9	$0,30154544 \cdot 10^0$	1,938	2	1
10	$-0,13035331 \cdot 10^{-1}$	2,129	5	1
11	$-0,39945906 \cdot 10^0$	3,549	1	2
12	$0,71294599 \cdot 10^{-2}$	6,803	1	2
13	$-0,97938531 \cdot 10^{-1}$	4,677	4	2
14	$-0,15033531 \cdot 10^{-1}$	11,726	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 м-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] ( $h_0 = 382,55$  кДж·кг<sup>-1</sup>,  $s_0 = 2,3831$  кДж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>).

Таблицы термодинамических свойств м-ксилола рассчитаны по ФУС (1) в диапазоне температуры от тройной точки ( $T_t = 225,31$  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  $p_* = 359,1$  МПа;  $c = 2,510$ . Значения коэффициентов уравнения (12) определены по экспериментальным данным [5, 6].

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

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

Таблица 3. Оценки неопределенности расчетных значений  
термодинамических свойств м-ксилола

Свойство	Неопределенность, % в области			
	$\mathcal{K}$	$\Gamma$	$\Phi$	$K$
$p_v$	-	0,15 – 0,2	-	0,5
$\rho_l$	0,10 – 0,15	-	-	до 1,0
$\rho_v$	-	1,5 – 2,5	-	до 3,0
$p, \rho, T$	0,12 – 0,20	0,3 – 0,8	0,5 – 0,8	-
$C_p$	0,4 – 0,6	0,6 – 1,0	0,5 – 1,0	-
$C_v$	1,5 – 2,0	1,5 – 2,5	1,0 – 1,3	-
$w$	0,4 – 0,8	-	-	-

## 2. Коэффициенты переноса

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

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

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

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

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

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

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

где вязкость  $\eta^0$ , мкПа·с;  $M = 106,165$  – масса киломоля, кг/кмоль;  $T$  – температура, К;  $\sigma$  – линейный масштабный параметр потенциала Леннарда – Джонса, нм;  $\varepsilon/k_B$  – энергетический масштабный параметр, К;  $S_\eta^*$  – приведенный эффективный интеграл столкновений, аппроксимированный уравнением (15);  $T^*$  – приведенная температура  $T^* = k_B T / \varepsilon$ .

Избыточная вязкость аппроксимирована уравнением

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

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

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

$a_0$	$a_1$	$a_2$	$\sigma$ (нм)	$\varepsilon/k_B$ (К)
0,232896	-0,507041	0,179761	0,5951	514,9

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

Таблица 5. Коэффициенты и показатели степени уравнения (16)

$i$	$N_i$	$t_i$	$d_i$	$l_i$
1	$0,72599131 \cdot 10^2$	0,14	2	0
2	$0,89063506 \cdot 10^2$	3,18	3	0
3	$-0,61576267 \cdot 10^2$	3,23	6	1
4	$-0,25575813 \cdot 10^3$	1,34	3	1
5	$-0,51014539 \cdot 10^2$	2,74	6	2
6	$-0,80553311 \cdot 10^0$	1,15	12	2
7	$-0,25142154 \cdot 10^2$	2,93	2	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 м-ксилола. Результаты сравнения с имеющимися экспериментальными данными представлены в Приложении.

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

$$\lambda(\rho, T) = \lambda^0(T) + \lambda'(\delta, \tau) \quad (17)$$

где  $\lambda^0(T)$  – теплопроводность разреженного газа при нулевой плотности;  $\lambda'(\delta, \tau)$  – избыточная теплопроводность;  $\delta = \rho/\rho_r$ ;  $t = T_r/T$ ;  $\rho_r$ ,  $T_r$  – опорные значения плотности и температуры (как правило, принимают критические значения:  $T_c = 617,00$  К;  $\rho_c = 2,68348$  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	367,31479727	-	-	-
2	-324,66235457	-2,4812	-	-
3	0,04782051	-12,979	-	-
4	$-0,17838333 \cdot 10^{-2}$	6,7192	4	0
5	$0.22440657 \cdot 10^2$	1,2731	1	0
6	$0.16179966 \cdot 10^2$	1,1538	3	1
7	$0.52989322 \cdot 10^3$	7,8725	4	2
8	$-0.20129223 \cdot 10^3$	7,5817	5	2
9	$-0.411581866 \cdot 10^3$	6,8954	3	2

Средняя вероятная ошибка определения коэффициента теплопроводности м-ксилола по уравнению (17) не превышает 2,0 %. Уравнение (17) не учитывает критическую аномалию теплопроводности, которая экспериментально не исследована для м-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 м-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. 2. The Thermodynamic Properties of m-Xylene / R. D. Chirico [et al.] // J. Chem. Eng. Data. – 1997. – Vol. 42, № 3. – P. 475-487.
5. Thermophysical properties of liquid m-xylene at high pressures / M. Taravillo [et al.] // J. Chem. Soc., Faraday Trans. – 1994. – Vol. 90, № 9. – P. 1217-1221.
6. 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.
7. Lemmon, E. W. Viscosity and thermal conductivity equations for nitrogen, oxygen, argon and air / E. W. Lemmon, R. T. Jacobsen // Int. J. Thermophys. – 2004. – V. 25, № 1. – P. 21-69.
8. 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.
9. 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.
10. Taravillo, M. Thermophysical Properties of Liquid m-Xylene at High Pressures / M. Taravillo M, S.Castro, V.G. Baonza et.al. // J. Chem. Soc. Faraday Trans. – 1994. – V.90, No.9. – P.1217 – 1221.
11. Chirico, R. D. V. Thermodynamic Equilibria in Xylene Isomerization. 2. The Thermodynamic Properties of m-Xylene / R. D. Chirico, S. E. Knipmeyer, A. Nguyen, et. al. // J. Chem. Eng. Data.- 1997. – Vol. 42, No.3. – P. 475-487.
12. 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.
13. Ambrose, D. Vapor Pressures of Some Aromatic Hydrocarbons / D. Ambrose // J. Chem. Thermodyn. – 1987. – Vol. 19. – P. 1007.
14. Александров И.С. Термические свойства ароматических углеводородов на линии насыщения / И.С. Александров, А.А. Герасимов // Известия КГТУ. – 2010. - №18. – С. 220-225.
15. 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.

16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. Neubeck, F. Molecular Volumes of Aromatic Compounds / F. Neubeck // *Z. Phys. Chem., Stoechiom. Verwandtschaftsl.* – 1887. – Vol. 1. – P. 649-666.
22. Perkin, W.H. LXIX. On Magnetic Rotatory Power, especially of Aromatic Compounds / W.H. Perkin // *J. Chem. Soc.* – 1896. – Vol. 69. – P. 1025-1257.
23. 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.
24. Francis, A. W. Pressure-Temperature-Liquid Density Relations of Pure Hydrocarbons / A. W. Francis // *Ind. Eng. Chem.* – 1957. – Vol. 49. – P. 1779.
25. Shraiber, L. S. Temperature Variation of the Density of Certain Organic Liquids / L. S. Shraiber, N. G. Pechenyuk // *Russ. J. Phys. Chem. (Engl. Transl.).* – 1965. – Vol. 39. – P. 219.
26. 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.
27. 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.
28. 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.
29. Chang, J. S. Densities of m-Cresol + m-Xylene and m-Cresol + Tetralin Mixtures at 298-348 K and up to 30 MPa / J. S. Chang, M. J. Lee // *J. Chem. Eng. Data.* – 1995. – Vol. 40. – P. 1115-1118.

30. Chang, J. S. Densities of m-Xylene + Quinoline and m-Xylene + Tetralin from (333 to 413) K and up to 30 MPa / J. S. Chang, M. J. Lee, H. M. Lin // J. Chem. Eng. Data. – 1996. – Vol. 41. – P. 1117-1120.
31. Caudwell, D. R. Viscosity of Dense Fluid Mixtures : Doctorate of Philosophy Thesis ; Imperial College, London, United Kingdom, 2004.
32. Malanowski, S. / S. Malanowski, B. Zegalska, B. Swiatek //Int. DATA Ser., Sel. Data Mixtures. – 1994. - Ser. A. – Vol. 22, № 4. – P. 313-344.
33. Kremann, R. Volume Change and Heats of Mixing for Binary Systems and Thermal Effects on Formation of Binary Mixtures / R. Kremann, R. Meingast, F. Gugl // Monatsh. Chem. – 1914. – Vol. 35. – P. 1235.
34. Tyrer, D. CCXXXVI.--Adiabatic and Isothermal Compressibilities of Liquids between One and Two Atmospheres' Pressures / D. Tyrer // J. Chem. Soc. Trans. – 1914. – Vol. 105. – P. 2534.
35. Azim, M. A. XLVIII. Influence of Temp. on the Diamagnetism of Certain Liquids / M. A. Azim, S. S. Bhatnagar, R. N. Mathur // Philos. Mag. – 1933. – Vol. 16. – P. 580.
36. San Jose, J. L. Measurement of the Isobaric Heat Capacity of Liquids and Certain Mixtures above the Normal Boiling Point / J. L. San Jose, G. Mellinger, R. C. Reid // J. Chem. Eng. Data – 1976. – Vol. 21. – P. 414-417.
37. Paramo, R. Saturated Heat Capacities of Some Linear and Branched Alkyl-Benzenes between 288 and 348 K. / R. Paramo, M. Zouine, M.C. Casanova // Int. J. Thermophys. – 2003. – V. 24, № 1. – P. 185-199.
38. Aralaguppi, M. I. Excess molar volume, excess isentropic compressibility and excess molar refraction of binary mixtures of methyl acetoacetate with benzene, toluene, m-xylene, mesitylene and anisole / M. I. Aralaguppi, T. M. Aminabhavi, R. H. Balundgi // Fluid Phase Equilibria. – 1992. – Vol.71. – P. 99-112.
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. Park, S. J. Isobaric Vapor-Liquid Equilibrium Data for the Binary Systems 1,3,5-Tri- methylbenzene/N-Formylmorpholine and m-Xylene/N-Formylmorpholine / S. J. Park, J. Gmehling // J. Chem. Eng. Data. – 1989. – Vol. 34. – P. 399.
41. Cox, J.D. The second virial coefficients of pyridine and benzene and some methyl homologues between 135 degrees and 165 degrees C / J. D. Cox, R.J.L. Andon // Trans. Faraday Soc. – 1958. – V.54. – P.1622-1629.
42. Sastry, N. V. Ultrasonic behaviour of methyl methacrylateqhydrocarbon 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.
43. 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.
44. Isobaric Vapor-Liquid Equilibria for the Binary Mixtures of Styrene with Ethylbenzene, o-Xylene, m-Xylene, and p-Xylene / A. Aucejo [et al.] // J. Chem. Eng. Data. – 2006. – Vol. 51. – P. 1051-1055.
45. Determination and correlation of vapor liquid equilibrium for binary systems consisting of close-boiling components / S. Uno [et al.] // Fluid Phase Equilibria. – 2007. – Vol. 257, № 2. – P. 139-146.
46. Ахундов Р.Т. Динамическая вязкость алкилбензолов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Баку, 1992. – 24 с.
47. 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.
48. 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.
49. Assael, M.J. Measurements of the Viscosity of Benzene, Toluene, and m-Xylene at Pressure up to 80 MPa / M.J. Assael, M. Papadaki, W.A. Wakeham // Int. J. Thermophys. – 1991. – Vol. 12, № 3. – P. 449-457.
50. Caudwell, D. R. Viscosity of Dense Fluid Mixtures : Doctorate of Philosophy Thesis ; Imperial College, London, United Kingdom, 2004.
51. 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.
52. 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.
53. 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.
54. 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.
55. 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.
56. Мустафаев Р.А. Теплофизические свойства углеводородов при высоких параметрах состояния. – М.: Изд-во «Энергия», 1980. – 296 с.
57. Пугач В.В. Исследование теплопроводности воды и некоторых органических жидкостей при высоких давлениях: Дис. ... канд. техн. наук. – Грозный, 1971. – 162 с.



58. 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.
59. 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.
60. 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.
61. 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.
62. 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.
63. 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.
64. 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 м-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 м-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 м-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:

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

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

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

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

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

Как видно из соотношения (A3) ограничения входят в виде дополнительных слагаемых в минимизируемый функционал. Например, для контроля знака производной какой-либо термодинамической величины численно вычисляется производная на основе расчетных значений по уравнению состояния, сохраненных на последних итерациях. После этого вычисленное значение производной по соответствующему свойству в безразмерном виде с соответствующим весовым коэффициентом включается в квадратичный функционал со знаком противоположным заданному. Замена знака на противоположный осуществляется для того, чтобы при правильном знаке производной это ограничение не влияло на функционал (A3).

Ограничения не влияют на критерий оптимальности до тех пор, пока параметры находятся в области допустимых значений. Стоит изменить параметр таким образом, что он пересечет границу, движение по траектории ми-

нимизации 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 (А7) вычисляется новое значение функционала  $S_{k+1}$ . Далее осуществляется дробление шага поиска изменением коэффициента  $\alpha$  исходя из следующих условий

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

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

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

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

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

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

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

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

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

где  $\varepsilon_s$  - константа, определяющая требуемую точность решения по  $S$ .

Если ни одно из условий останова не выполнено, то осуществляется переход к шагу 6, на котором переопределяются границы поиска в соответствии с новыми значениями переменных, предыдущему значению функционала присваивается текущее значение, и алгоритм переходит к следующей итерации. Таким образом, осуществляется цикл поиска глобального оптимума для разрабатываемого уравнения с учетом заданного количества итераций.

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

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



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

## 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 *m*-ксилола с расчетами по фундаментальным уравнениям состояния, а на рис.Б.1 – Б.10 показан характер отклонений для *m*-ксилола. Значения температуры, измеренные по разным температурным шкалам, пересчитаны на Международную температурную шкалу 1990 г. (МТШ-90).

Комплексное экспериментальное исследование теплофизических свойств *o-m-p*-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 [8] и Султанова [9], на которые мы в дальнейшем и будем делать ссылки, чтобы несколько сократить список литературы. Исследование  $p, \nu, T$ -зависимости в [8] 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 [8] также измерено давление насыщенной газовой фазы  $p_v$  в диапазоне температуры 498 –  $T_c$ . В работе Султанова [9] 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., данные Ахундова [8] 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, особенностями 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 [9], в жидкой фазе описывается с отклонениями, в среднем не превышающими 0,6 %. 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 %.

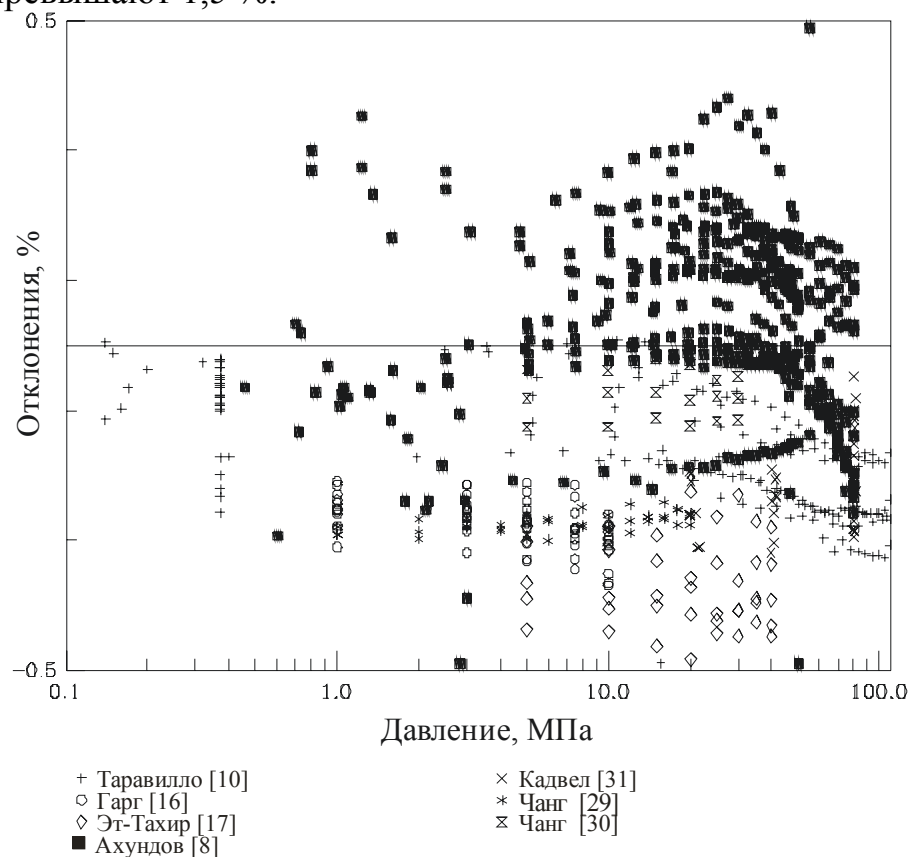


Рис. Б.1. Отклонения экспериментальных данных о плотности жидкой фазы м-ксилола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния

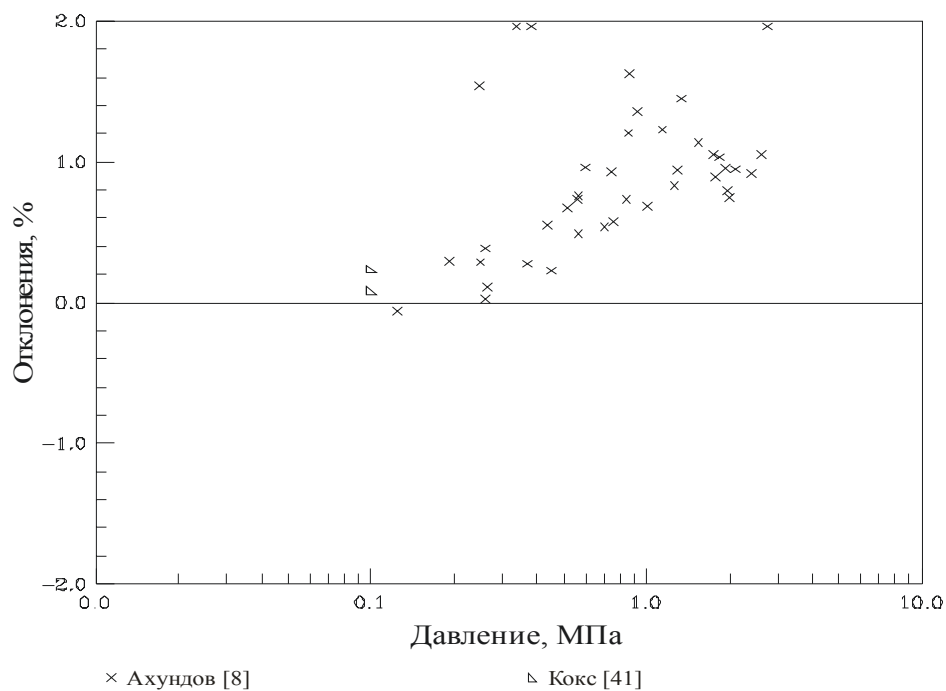


Рис. Б.2. Отклонения экспериментальных данных о плотности газовой фазы м-ксилола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния



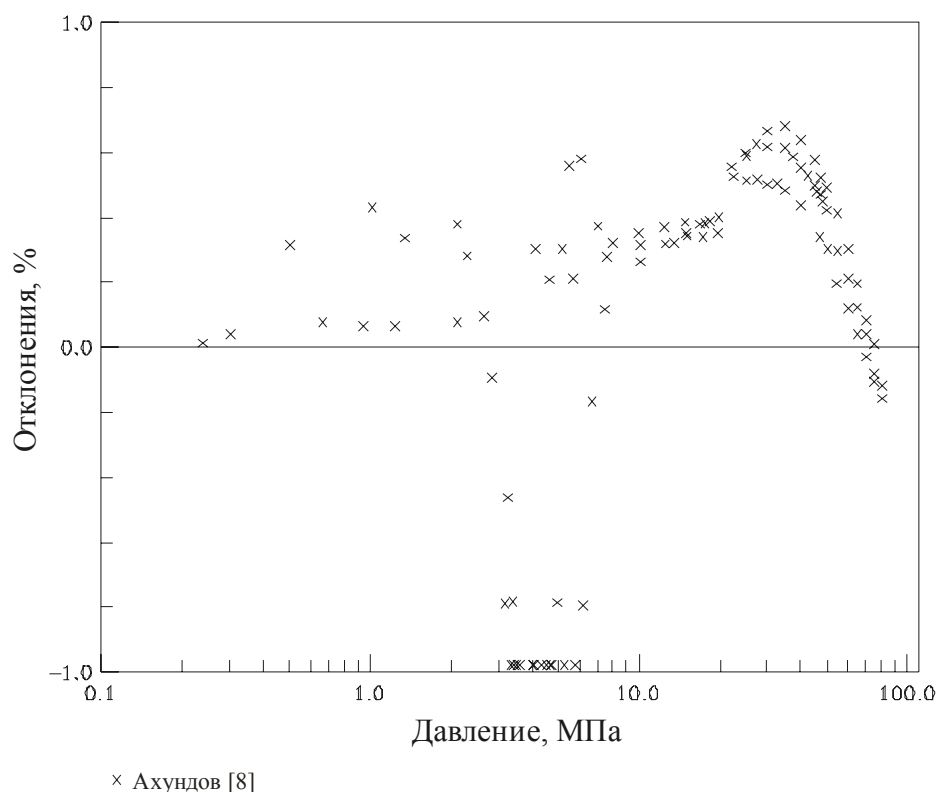


Рис. Б.3. Отклонения экспериментальных данных о плотности *m*-ксилола в критической и сверхкритической областях от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния

В работах Таравилло с соавторами [10] представлены результаты исследования  $p, v, T$ -зависимости *m*-ксилола в низкотемпературной области в диапазоне температуры от точки плавления до 298 – 303 К и при давлениях до 40 – 110 МПа. Погрешность измерения температуры составляла 0,01 К, давления – от 0,02 % при высоких давлениях до 0,07 % при низких. Погрешность измерения плотности составляла 0,03 – 0,06 %. Как видно из табл. Б.1, данные [10] описываются с отклонениями 0,1 – 0,15 %.

Комплексные исследования термодинамических свойств *o-m-n*-ксилолов на линии насыщения выполнены в работах Чирико с соавторами [11]. В [11] сравнительным эбулиометрическим методом измерена упругость насыщенных паров *m*-ксилола в диапазоне 310 – 460 К. В качестве опорных веществ применялись вода и *n*-декан. Как видно из табл. Б.1, данные [11] о  $p_v$  описываются с отклонениями 0,05 – 0,07 %, а теплоемкость  $C_s$  – с отклонениями 0,4 – 0,5%.

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 [8]. 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 [8] и в настоящей работе. Следует учитывать также ограниченные возможности ФУС в критической области.

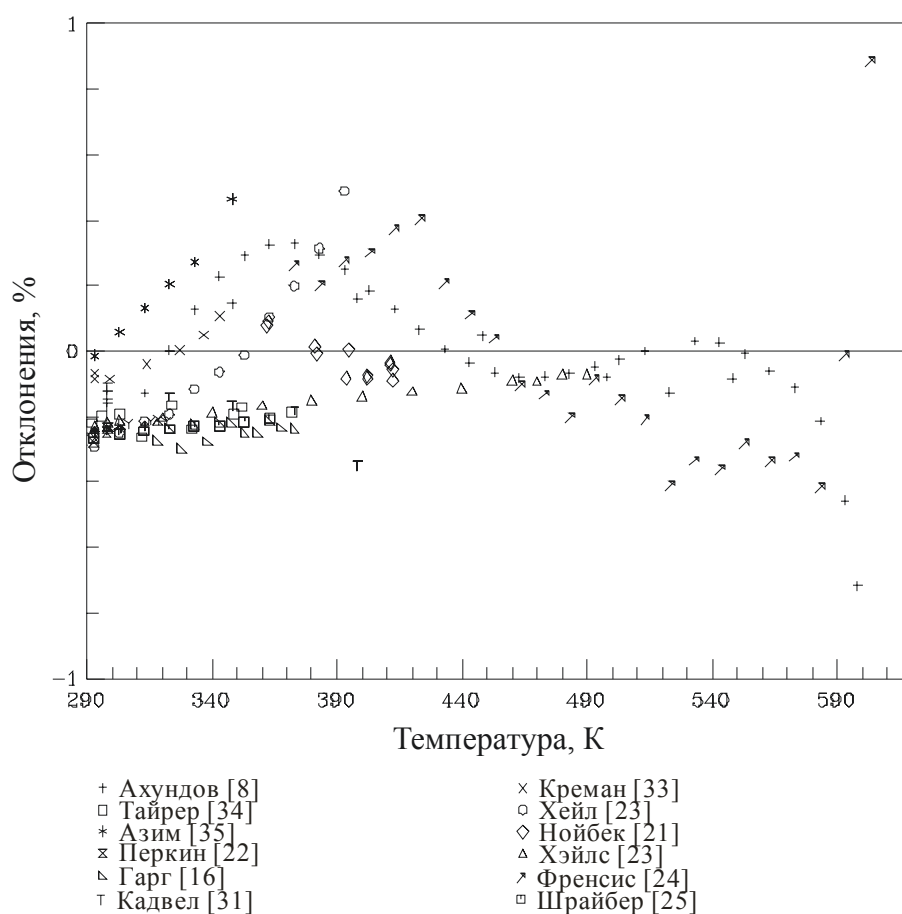
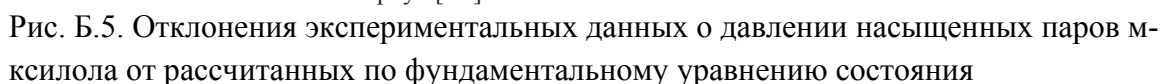


Рис. Б.4. Отклонения экспериментальных данных о плотности насыщенной жидкой фазы м-ксилола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния

Давление насыщенных паров исследовалось многими авторами, однако экспериментальные данные весьма плохо согласуются между собой. Из широкодиапазонных высокотемпературных измерений с достаточно высокой точностью описываются данные Амброуза [12,13]. Средняя относительное отклонение не превышает 0,3 %. Данные Ахундова [8] описываются с отклонениями 0,3 – 0,4 %. В [14], 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.Б.1 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.



27

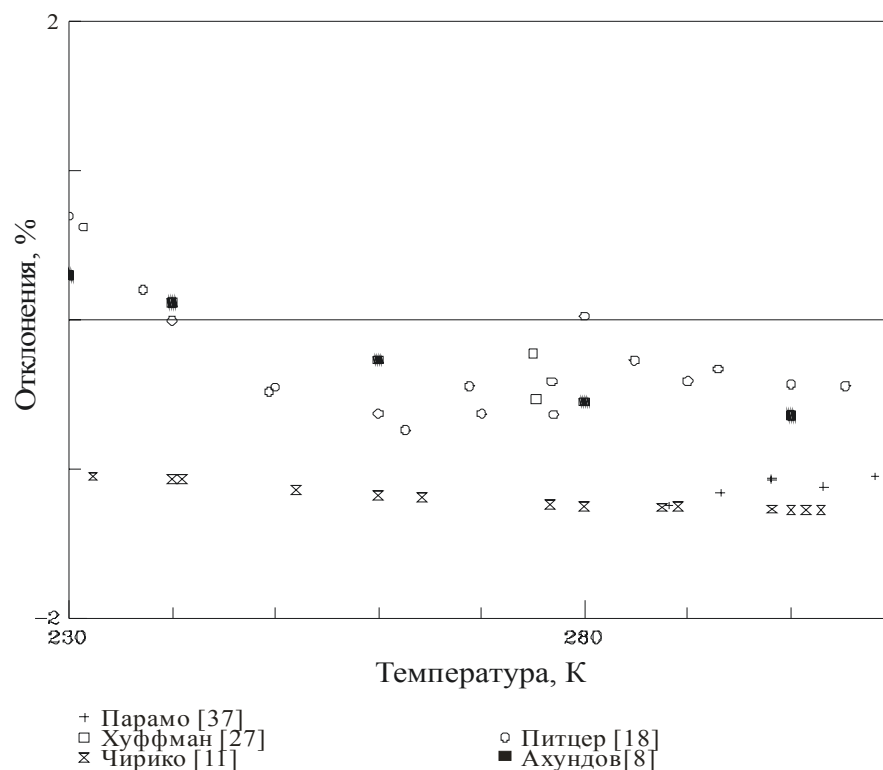


Рис. Б.6. Отклонения экспериментальных данных о теплоемкости насыщенной жидкой фазы м-ксилола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния

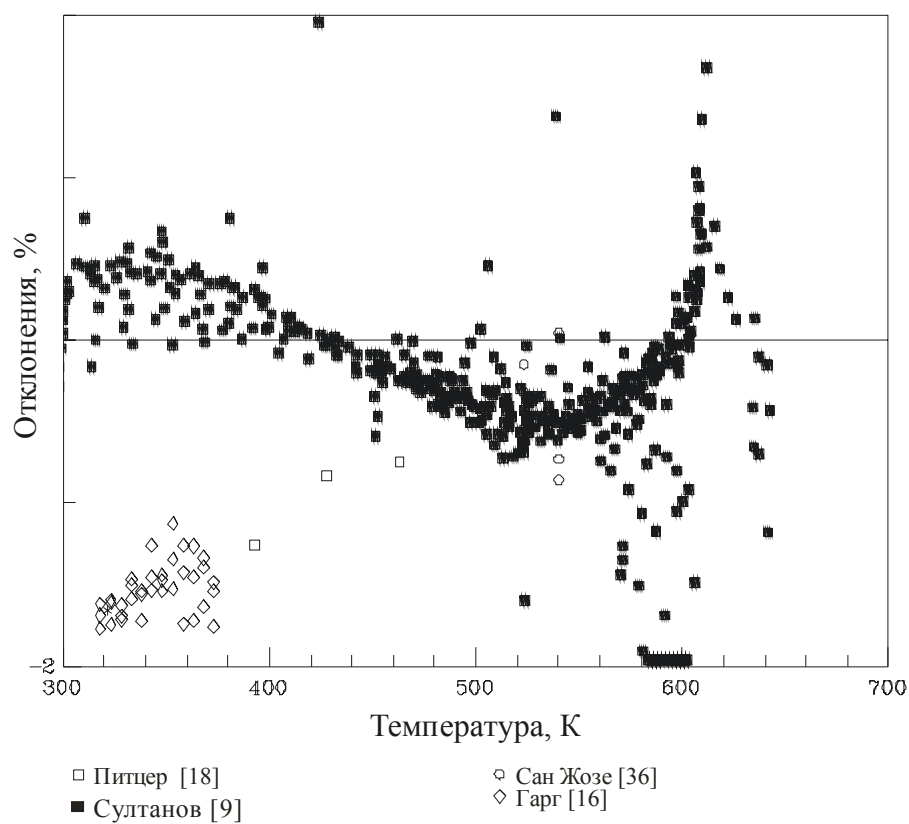


Рис. Б.7. Отклонения экспериментальных данных о изобарной теплоемкости жидкой фазы м-ксилола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния

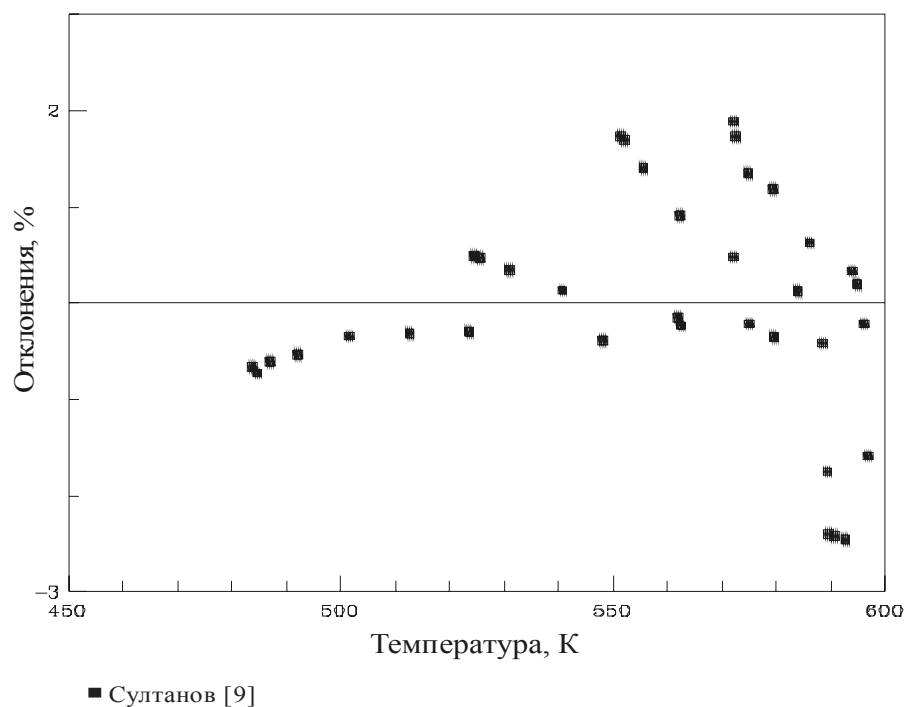


Рис. Б.8. Отклонения экспериментальных данных о изобарной теплоемкости газовой фазы м-ксилола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния

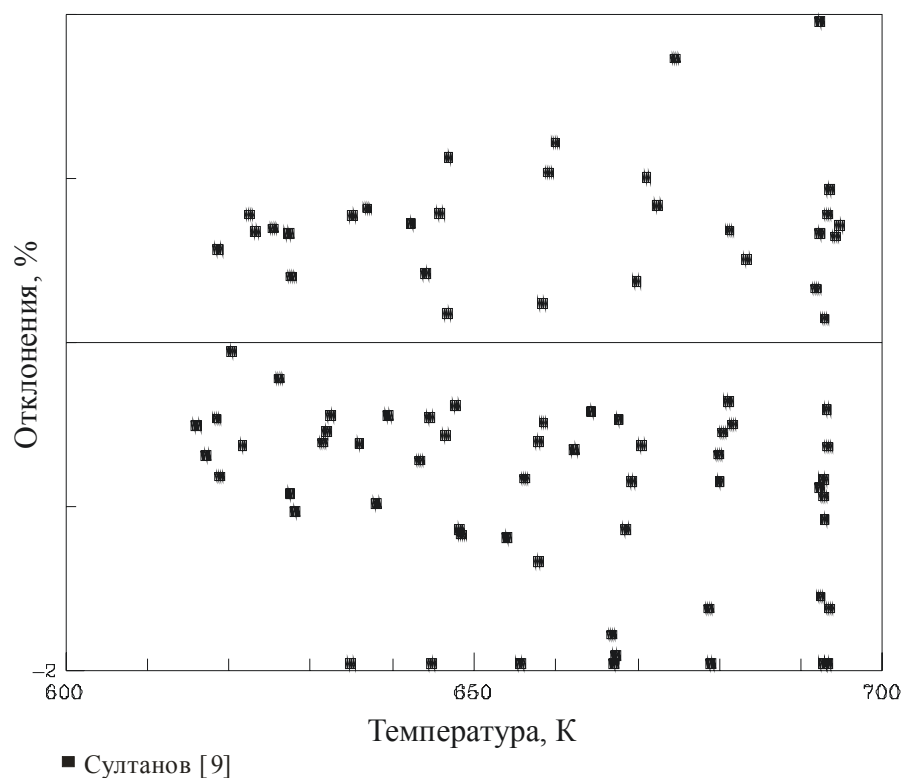


Рис. Б.9. Отклонения экспериментальных данных о изобарной теплоемкости м-ксилола в критической и сверхкритической областях от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния

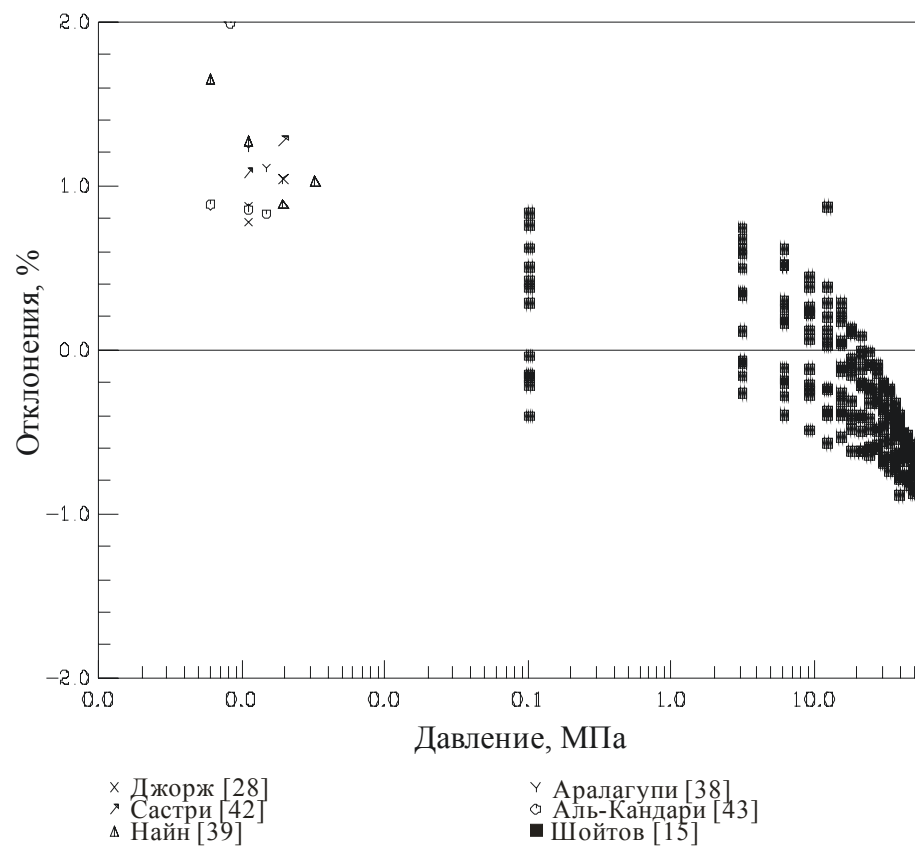


Рис. Б.10. Отклонения экспериментальных данных о скорости звука в жидкой фазе м-ксилола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния

Таблица Б.1

Результаты сравнения данных о термодинамических свойствах м-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						
1958	Кокс [41] (Г)	3	409-438	0,093-0,1	0,248	0,306
1974	Ахундов [8]	548	298-673	0,124-80,3		
	Ж	399	298-598	0,124-80,3	0,184	0,269
	Г	40	408-673	0,124-2,75	0,875	0,911
	К	6	617-623	3,7-3,9	7,20	8,75
	Ф	103	623-673	0,124-80,3	0,599	1,102
1993	Гарг [16]	60	318-373	1-10	0,068	0,076
1994	Таравилло [10]	181	223-299	0,14-110	0,123	0,291
1995	Чанг [29]	39	298-348	1-20	0,051	0,052
1995	Эт-Тахир [17]	40	298-363	5-40	0,153	0,161
1996	Чанг [30]	19	333-413	5-30	0,107	0,108
2004	Кадвел [31]	100	298-473	19,9-198	0,095	0,123
Давление насыщенных паров $p_v$						
1943	Питцер [18]	5	273-333		0,341	0,359
1949	Форциати[19]	20	332-413		0,236	0,311
1967	Амброуз [12]	8	460-600		0,251	0,336
1974	Ахундов [8]	30	448-616		0,301	0,355
1974	Ахундов [8] (К)	4	603-617		0,573	0,625
1987	Амброуз [13]	47	428-617		0,223	0,293
1989	Парк [40]	18	327-412		0,397	0,537
1994	Малановский [32]	8	361-410		0,125	0,128
1997	Чирико [11]	24	309-453		0,059	0,067
2005	Родригес [20]	18	362-423		0,969	1,071
2006	Аусейо и др. [44]	15	308-372		0,836	0,927
2007	Ано[45]	5	381-409		0,341	0,359
2010	Александров [14]	10	225-300		0,838	0,872
Плотность насыщенной жидкой фазы $\rho_l$						
1887	Нойбэк [21]	12	362-412		0,117	0,138
1896	Перкин [22]	12	277-298		0,046	0,049
1914	Креман [33]	7	293-343		0,188	0,196
1914	Тайрер [34]	10	273-372		0,024	0,028
1932	Хэйл [23]	18	233-393		0,176	0,237
1933	Азим [35]	12	293-348		0,388	0,414
1957	Фрэнсис [24]	24	373-603		0,328	0,373
1965	Шрайбер [25]	16	293-363		0,039	0,039
1972	Хейлс [26]	14	293-490		0,014	0,020
1974	Ахундов [8]	39	298-613		0,213	0,287

Окончание табл. Б.1

Год	Первый автор, источник	Точ-Ки	Диапазон по температуре и давлению		Отклонения, %	
			$T$ , К	$p$ , МПа	СОО	СКО
1974	Ахундов [8] (К)	2	603-603		0,462	0,616
1993	Гарг [16]	12	318-373		0,058	0,062
2004	Кадвел [31]	14	298-398		0,094	0,123
<b>Плотность насыщенной газовой фазы <math>\rho_v</math></b>						
1974	Ахундов [8]	39	298-613		1,063	1,677
1974	Ахундов [8] (К)	3	603-613		4,599	4,877
<b>Изобарная теплоемкость <math>c_p</math></b>						
1943	Питцер [18]	3	393-463	0,022-0,1	0,947	1,120
1976	Султанов [9]	568	298-695	0,5-25		
	Ж	438	298-607	0,5-25	0,587	0,623
	Г	41	484-610	0,5-2,5	0,851	1,187
	Ф	89	616-695	0,5-25	1,052	1,285
1976	Сан Жозе [36]	7	523-540	1-2,5	0,284	0,320
1993	Гарг [16]	36	318-373	0,1-10	0,959	0,971
<b>Теплоемкость по линии насыщения <math>C_s</math></b>						
1930	Хуфман [27]	3	217-275		0,255	0,331
1943	Питцер [18]	20	230-320		0,463	0,613
1974	Ахундов [8]	5	230-300		0,553	0,678
1997	Чирико [11]	36	225-550		0,410	0,435
2006	Парамо [37]	8	332-401		0,293	0,401
<b>Скорость звука <math>w</math></b>						
1972	Шойтов [15]	216	303-413	0,1-51,8	0,479	0,537
1992	Аралугупи [38]	4	298-308	0,1	1,080	1,088
1995	Зотов []	91	313-433	10-250	0,535	0,729
1999	Састри [42]	2	298-308	0,1	1,194	1,98
2003	Джорж [28]	2	298-308	0,1	0,929	0,938
2006	Аль-кандари [43]	4	303-313	0,1	1,161	1,260
2007	Найн [39]	8	288-318	0,1	1,226	1,261

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



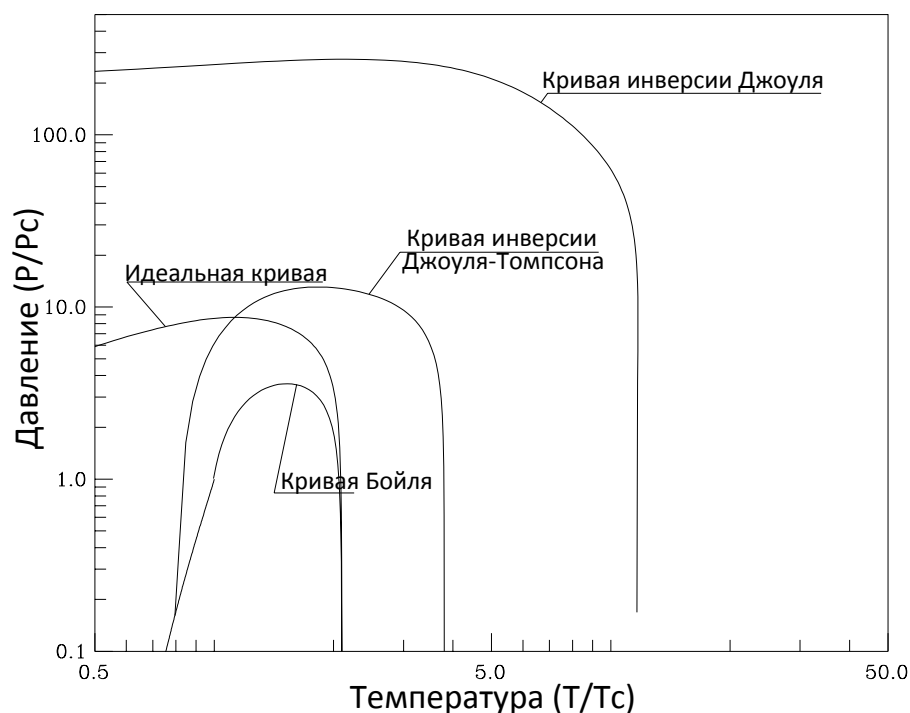


Рис. Б11. Поведение идеальных кривых для м-ксилола по ФУС.

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

### Б.2.1. Вязкость

Достаточно подробное исследование вязкости *м*-ксилола в жидкой фазе в диапазоне температур 298 – 548 К при давлениях до 40 МПа выполнено Т.А. Ахундовым с сотрудниками. Эти данные опубликованы в ряде статей и в собранном виде представлены в диссертации [8]. Измерения выполнены капиллярным методом. Погрешность отдельного измерения вязкости по оценке автора [8] не превышает  $\pm 1,5$  %. Дальнейшее расширение диапазона исследования вязкости *м*-ксилола реализовано Р.Т. Ахундовым [46]. Измерения выполнены на экспериментальной установке с вынесенным капилляром в диапазоне температуры 417 – 673 К при давлениях до 40 МПа. Исследована жидкая и газовая фазы, а также сверхкритическая область. Погрешность отдельного измерения вязкости также не превышает  $\pm 1,5$  %.

Кашиваги и Макита [47] выполнили измерения коэффициента динамической вязкости углеводородов, включая *м*-ксилол, в жидкой фазе на изотермах 25, 30, 50 и 75 °С при давлениях до 110 МПа. Измерения реализованы вибрационным методом в относительном варианте. Погрешность измерения вязкости при атмосферном давлении по оценке авторов [9] не превышает  $\pm 1,0$  % и может возрастать до 2 % при предельных давлениях. Экспериментальные данные аппроксимированы на каждой изотерме уравнением Тэйта со средним относительным отклонением 0,3 %. В [47] представлены не первичные экспериментальные данные, а именно коэффициенты уравнения Тэйта,

по которым авторы настоящей работы рассчитали значения коэффициента динамической вязкости.

Эт-Тахир [48] с соавторами капиллярным методом измерили вязкость *м*-ксилола в жидкой фазе в диапазоне температуры 313 – 363 К при давлениях до 100 МПа. Погрешность отдельного измерения вязкости по оценке авторов [48] не превышает  $\pm 1,0$  %.

Ассаэл и Пападаки [49] измерили вязкость ароматических углеводородов, включая *м*-ксилол, в жидкой фазе при температурах 303,15 и 323,15 К и давлениях до 80 МПа (для *м*-ксилола – до 56,3 МПа). Измерения выполнены вибрационным методом, погрешность отдельного измерения вязкости по оценке авторов [11] не превышает  $\pm 0,5$  %.

Кадвел [50] измерил динамическую вязкость *м*-ксилола вибрационным методом в жидкой фазе в диапазоне температуры 298 – 473 К при давлениях до 200 МПа. Погрешность отдельного измерения вязкости не превышает  $\pm 2,0$  %.

В литературе опубликовано весьма много данных о вязкости *м*-ксилола в жидкой фазе при атмосферном давлении в диапазоне температур 293 – 343 К. Измерения обычно выполняются капиллярным методом на стандартных вискозиметрах. Погрешность определения вязкости, как правило, составляет 1,0 – 1,5 %. Во многих работах исследовалась не собственно динамическая вязкость, а другие свойства. Данные же о вязкости носили вспомогательный характер и использовались лишь как физико-химическая характеристика вещества. В таких работах, как правило, измерения выполнены при одном, либо при двух значениях температуры и мы не включали их в табл. Б.2, чтобы не увеличивать список литературы. В табл. Б.2 представлены результаты сравнения с наиболее представительными данными. При разработке уравнений и при сравнении экспериментальных данных значения температуры, измеренные по разным температурным шкалам, были пересчитаны на Международную температурную шкалу 1990 г. (МТШ-90).

Как видно из представленного выше краткого обзора, широкодиапазонные экспериментальные исследования вязкости *м*-ксилола выполнены только в работах Ахундова Т.С.-А. [8] и Ахундова Р.Т. [46]. Именно эти данные были полностью включены в обрабатываемый массив, за исключением нескольких точек в критической области. Данные других авторов также включались в обработку для расширения диапазона по давлению в жидкой фазе и для контроля взаимной согласованности.

Как видно из табл. Б.2 и рис. Б.12 данные всех авторов описываются с отклонениями, близкими к погрешности экспериментального исследования. В критической области на изотерме 623,1 К две точки [46] отклоняются соответственно на 7,1 и 10,1 %, что вполне объяснимо. Данные Кадвелла [50] при давлениях  $p \leq 100$  МПа описываются с отклонениями, не превышающими 1,5 %. Только на изотерме  $T = 298,15$  К при давлениях  $p \geq 120$  МПа отклонения превышают 2,0 % и достигают 12,0 % при  $p = 198$  МПа. При более высоких температурах отклонения меньше 2,0 % и при давлениях, превышающих 120 МПа.

Таблица Б.2. Результаты сравнения экспериментальных данных о вязкости м-ксилола с рассчитанными по уравнению (13) значениями

Год	Первый автор, источник	Число точек	Диапазон параметров			Отклонения, %	
			$T$ , К	$p$ , МПа	$\rho$ , кмоль/м <sup>3</sup>	СОО	СКО
1894	Торп [51]	26	273-418	насыщ.	7,2-8,3	0,527	0,596
1946	Гейст [52]	3	273-313	0,1	7,98-8,30	0,702	0,718
1974	Ахундов [8]	182	295-548	0,1-39,3	5,7-8,4	0,996	1,271
1982	Хашивага [47]	44	298-348	0,1-110	7,78-8,65	0,863	0,977
1992	Ахундов [46]	111	412-673	0,1-39,3	0,1-6,8	1,330	1,931
1991	Ассаэл [49]	23	303-323	0,1-56,3	7,9-8,4	0,642	0,852
1995	Эт-Тахир [48]	24	298-363	0,1-100	7,57-8,63	1,326	1,786
2004	Кадвэл [50]	112	298-473	0,1-198	7,1-8,8	1,416	2,495
2006	Аль-Кандари [53]	4	288-303	0,1	8,07-8,2	1,312	1,407
2007	Найн [54]	4	288-318	0,1	7,9-8,2	1,803	1,883
2007	Янг [55]	7	298-353	0,1	7,66-8,12	1,874	1,898
	Расчет по [46]	20	320-700	разреж.	разреж.	0,719	0,767

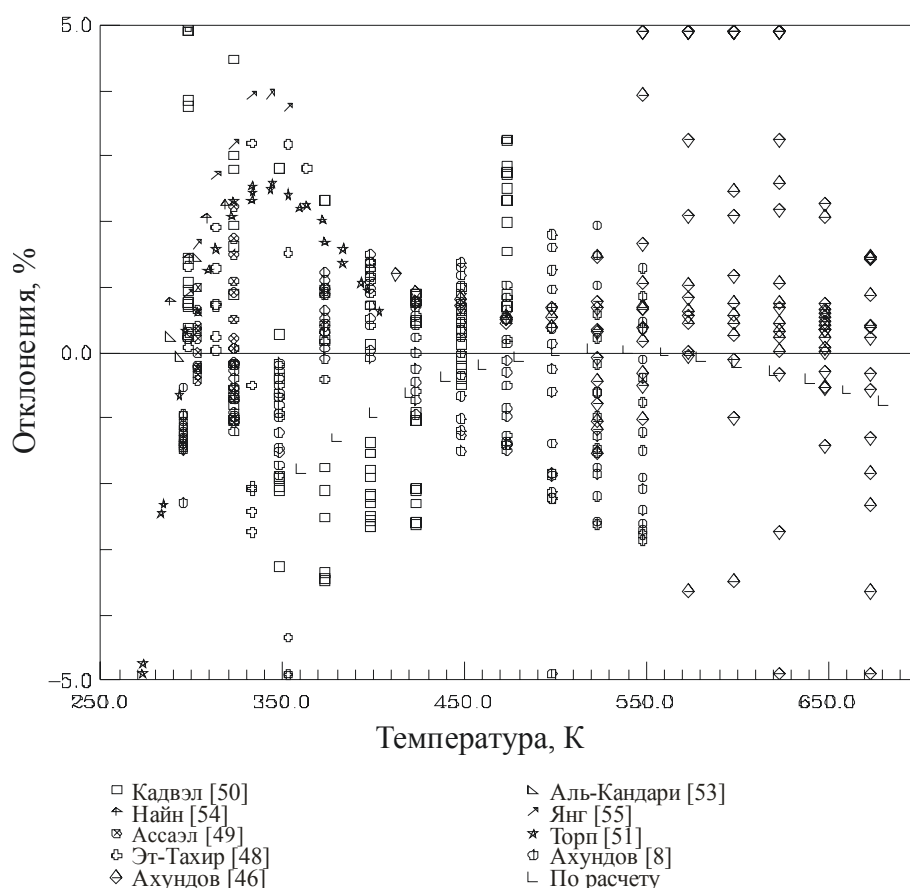


Рисунок Б.12. Сравнение значений вязкости м-ксилола рассчитанных по уравнению (13), с экспериментальными данными различных авторов.

## Б.2.2. Теплопроводность

Широкодиапазонные измерения коэффициента теплопроводности м-ксилола выполнены Ахундовым [8] и Мустафаевым [56]. В работе [8] эксперимент проводился стационарным методом нагретой проволоки. Погрешность данных по оценке автора [8] не превышает 1,5%. В работе Мус-

тафаева [56] использовался метод монотонного разогрева. Погрешность данных оценивается величиной  $\pm 2,0\%$ . В жидкой фазе при повышенных давлениях измерения теплопроводности выполнены в работе Богатова [64], методом нагретой проволоки с погрешностью  $\pm 1,5\%$  и в работе Пугача [57] – методом коаксиальных цилиндров с погрешностью  $\pm 1,5\%$ . Следует также отметить справочно-аналитическое издание Варгафтика с соавторами [58], 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. Б3, так как они уже учтены при составлении таблиц [58].

Таблица Б.3.

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

Год	Первый автор, Источник	Число точек	Диапазон параметров			Отклонения, %	
			$T$ , К	$P$ , МПа	$\rho$ , моль/л	СОО	СКО
1971	Пугач [57]	54	300-450	40-150	7,7-8,35	1,383	1,889
1974	Ахундов [8]	107	304-680	0,1-30	0,02-8,2	0,966	1,241
1978	Варгафтик [58]	161	180-680	0,1-30	0,02-8,2	0,809	1,032
1980	Мустафаев [56]	139	306-672	0,1-100	6,7-8,0	2,698	3,077
1982	Кашиваги [60]	6	298-358	насыщ.	насыщ.	0,331	0,356
1988	Ассаэл [62]	11	294-359	насыщ.	насыщ.	0,360	0,425
1992	Богатов [63]	34	337-476	0,1-59	6,7-7,8	0,648	0,749
2002	Тарзиманов [64]	7	293-593	насыщ.	насыщ.	3,775	4,091
2004	Ватанабе [59]	18	295-330	0,1	7,8-8,3	0,850	0,947

Как видно из табл. Б.3 и рис. Б.13 практически для всех авторов величина ССО не превышает оцененную погрешность экспериментальных данных. Несколько большие отклонения наблюдаются в работе Мустафаева [56] при давлениях, превышающих 50 МПа. Данные Тарзиманова с соавторами [64] систематически занижены. При этом величина отклонений возрастает с увеличением температуры. Авторы [64] объясняют это тем, что их данные не искажены радиационным теплопереносом в отличие от данных других авторов. Однако погрешность определения теплопроводности методом импульсного нагрева в [64] оценивается величиной 2,0%. При такой точности сложно выявить достаточно тонкий эффект радиационного переноса при измерении коэффициента теплопроводности. Поэтому вывод авторов [64] требует дополнительного независимого подтверждения.

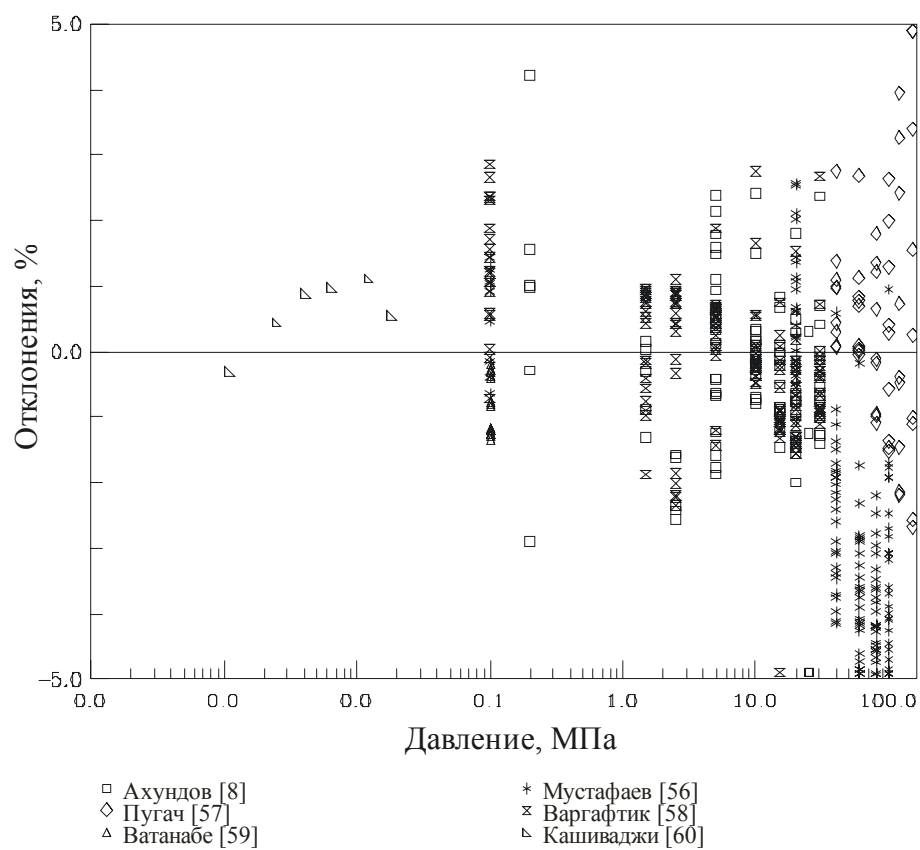


Рисунок Б.13. Сравнение значений теплопроводности м-ксилола, рассчитанных по уравнению (17), с экспериментальными данными различных авторов.

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

T	$\rho$	h	s	Cv	Cr	w	$\lambda$	$\eta$
К	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
p=0.1 МПа								
230	918.8	272.29	1.9639	1.137	1.5299	1605.6	134.81	1634
240	910.15	287.7	2.0295	1.1606	1.5527	1559.4	138.78	1358.9
250	901.53	303.35	2.0933	1.186	1.5778	1514.2	140	1143.1
260	892.95	319.26	2.1557	1.2128	1.6047	1470	139.51	972.34
270	884.37	335.45	2.2168	1.2409	1.6332	1426.8	137.97	836.13
280	875.8	351.93	2.2768	1.2699	1.6631	1384.6	135.78	726.57
290	867.21	368.72	2.3357	1.2997	1.6942	1343.1	133.21	637.71
300	858.6	385.82	2.3936	1.3301	1.7263	1302.5	130.42	565.01
310	849.95	403.25	2.4508	1.3611	1.7592	1262.7	127.52	504.99
320	841.25	421	2.5072	1.3925	1.7929	1223.5	124.59	454.98
330	832.49	439.1	2.5629	1.4241	1.8272	1185	121.69	412.89
340	823.66	457.55	2.6179	1.4559	1.8621	1147.1	118.84	377.11
350	814.74	476.35	2.6724	1.4879	1.8974	1109.7	116.06	346.37
360	805.72	495.5	2.7264	1.5199	1.9333	1072.8	113.34	319.67
370	796.58	515.01	2.7798	1.5519	1.9695	1036.3	110.72	296.23
380	787.31	534.89	2.8328	1.5838	2.0062	1000.1	108.19	275.42
390	777.89	555.14	2.8854	1.6156	2.0432	964.3	105.74	256.77
400	768.31	575.76	2.9376	1.6474	2.0807	928.7	103.4	239.87
410	758.53	596.75	2.9895	1.6789	2.1186	893.29	101.14	224.44
420	3.1639	955.01	3.8593	1.5852	1.6804	179.27	20.968	9.0307
430	3.08	971.97	3.8992	1.6181	1.7117	181.84	21.909	9.2629
440	3.0011	989.24	3.9389	1.6508	1.743	184.33	22.87	9.4935
450	2.9267	1006.8	3.9785	1.6832	1.7742	186.77	23.851	9.7227
460	2.8563	1024.7	4.0178	1.7152	1.8051	189.15	24.852	9.9503
470	2.7896	1042.9	4.0569	1.7469	1.8359	191.48	25.872	10.176
480	2.7263	1061.4	4.0959	1.7781	1.8663	193.77	26.911	10.401
490	2.666	1080.3	4.1347	1.8089	1.8964	196.01	27.969	10.624
500	2.6085	1099.4	4.1733	1.8393	1.9261	198.21	29.044	10.846
510	2.5537	1118.8	4.2117	1.8693	1.9555	200.37	30.137	11.066
520	2.5013	1138.5	4.25	1.8988	1.9844	202.5	31.247	11.284
530	2.4512	1158.5	4.2881	1.9278	2.013	204.6	32.375	11.501
540	2.4031	1178.7	4.326	1.9564	2.0412	206.67	33.519	11.717
550	2.357	1199.3	4.3637	1.9845	2.0689	208.71	34.68	11.931
560	2.3127	1220.1	4.4012	2.0122	2.0962	210.72	35.857	12.143
570	2.2702	1241.2	4.4385	2.0394	2.1231	212.7	37.05	12.354
580	2.2293	1262.6	4.4757	2.0662	2.1495	214.66	38.258	12.564
590	2.1899	1284.2	4.5127	2.0925	2.1755	216.6	39.483	12.772
600	2.1519	1306.1	4.5494	2.1183	2.2011	218.52	40.723	12.979
610	2.1153	1328.2	4.586	2.1437	2.2263	220.41	41.979	13.184
620	2.0799	1350.6	4.6224	2.1687	2.251	222.29	43.25	13.387
630	2.0458	1373.2	4.6586	2.1932	2.2754	224.14	44.536	13.59
640	2.0128	1396.1	4.6947	2.2173	2.2993	225.98	45.838	13.79

650	1.9808	1419.2	4.7305	2.241	2.3228	227.8	47.156	13.99
660	1.9499	1442.6	4.7661	2.2643	2.3459	229.6	48.489	14.188
670	1.92	1466.1	4.8016	2.2872	2.3686	231.38	49.839	14.384
680	1.891	1489.9	4.8368	2.3096	2.391	233.15	51.206	14.579
690	1.8629	1514	4.8719	2.3317	2.4129	234.9	52.59	14.773
700	1.8357	1538.2	4.9068	2.3535	2.4345	236.64	53.991	14.965
p=0.5 MPa								
230	919	272.63	1.9635	1.1371	1.5298	1607.4	134.14	1639.6
240	910.37	288.04	2.029	1.1607	1.5526	1561.3	138.31	1363.7
250	901.77	303.69	2.0929	1.1861	1.5776	1516.1	139.67	1147.1
260	893.19	319.6	2.1553	1.2129	1.6045	1472	139.29	975.82
270	884.63	335.78	2.2164	1.2409	1.633	1428.9	137.84	839.12
280	876.07	352.26	2.2763	1.27	1.6629	1386.7	135.71	729.16
290	867.5	369.05	2.3352	1.2998	1.6939	1345.3	133.19	639.96
300	858.9	386.14	2.3932	1.3302	1.7259	1304.8	130.45	566.98
310	850.27	403.57	2.4503	1.3612	1.7588	1265	127.58	506.73
320	841.59	421.32	2.5067	1.3925	1.7924	1226	124.68	456.53
330	832.86	439.42	2.5624	1.4242	1.8267	1187.6	121.79	414.28
340	824.05	457.86	2.6174	1.456	1.8615	1149.7	118.97	378.36
350	815.15	476.65	2.6719	1.4879	1.8968	1112.4	116.2	347.51
360	806.16	495.8	2.7258	1.5199	1.9326	1075.6	113.5	320.71
370	797.05	515.3	2.7792	1.5519	1.9687	1039.2	110.89	297.19
380	787.81	535.17	2.8322	1.5838	2.0053	1003.2	108.36	276.33
390	778.43	555.41	2.8848	1.6157	2.0422	967.54	105.93	257.62
400	768.89	576.02	2.937	1.6474	2.0795	932.1	103.59	240.69
410	759.16	597	2.9888	1.6789	2.1173	896.87	101.34	225.22
420	749.22	618.36	3.0403	1.7103	2.1555	861.79	99.183	210.98
430	739.05	640.11	3.0914	1.7414	2.1943	826.79	97.113	197.78
440	728.62	662.25	3.1423	1.7723	2.2337	791.8	95.129	185.47
450	717.88	684.79	3.193	1.8031	2.274	756.76	93.227	173.94
460	706.8	707.74	3.2434	1.8335	2.3153	721.57	91.405	163.09
470	695.33	731.1	3.2937	1.8638	2.3579	686.15	89.659	152.86
480	683.41	754.9	3.3438	1.8938	2.4021	650.39	87.987	143.21
490	14.878	1066.6	3.9882	1.8409	1.9876	176.69	29.278	10.671
500	14.42	1086.6	4.0285	1.8675	2.0067	180.33	30.292	10.896
510	14.001	1106.7	4.0684	1.8944	2.0273	183.76	31.326	11.119
520	13.614	1127.1	4.108	1.9213	2.049	187.03	32.38	11.34
530	13.255	1147.7	4.1473	1.9482	2.0714	190.15	33.454	11.559
540	12.92	1168.5	4.1862	1.9749	2.0943	193.14	34.548	11.775
550	12.606	1189.6	4.2248	2.0014	2.1175	196.01	35.661	11.99
560	12.311	1210.9	4.2632	2.0276	2.1408	198.79	36.794	12.203
570	12.033	1232.4	4.3013	2.0536	2.1642	201.48	37.945	12.414
580	11.77	1254.2	4.3391	2.0792	2.1875	204.08	39.114	12.624
590	11.521	1276.2	4.3767	2.1045	2.2108	206.61	40.301	12.832
600	11.285	1298.4	4.4141	2.1295	2.2339	209.08	41.507	13.038
610	11.06	1320.8	4.4512	2.1541	2.2569	211.48	42.729	13.242
620	10.845	1343.5	4.4881	2.1783	2.2796	213.83	43.97	13.445

630	10.64	1366.4	4.5247	2.2022	2.3022	216.13	45.227	13.647
640	10.444	1389.6	4.5612	2.2257	2.3244	218.38	46.502	13.847
650	10.256	1412.9	4.5974	2.2489	2.3464	220.58	47.794	14.046
660	10.076	1436.5	4.6334	2.2716	2.3682	222.74	49.103	14.243
670	9.9025	1460.3	4.6691	2.2941	2.3896	224.87	50.43	14.438
680	9.736	1484.3	4.7047	2.3161	2.4108	226.95	51.774	14.633
690	9.5757	1508.5	4.74	2.3378	2.4317	229.01	53.138	14.825
700	9.4213	1532.9	4.7752	2.3592	2.4523	231.03	54.52	15.017
p=1.0 MPa								
230	919.26	273.06	1.9629	1.1373	1.5296	1609.7	133.31	1646.6
240	910.64	288.46	2.0285	1.1609	1.5524	1563.6	137.72	1369.6
250	902.05	304.11	2.0924	1.1862	1.5774	1518.5	139.27	1152.2
260	893.5	320.02	2.1548	1.213	1.6043	1474.5	139.03	980.17
270	884.95	336.2	2.2159	1.2411	1.6327	1431.4	137.68	842.87
280	876.41	352.68	2.2758	1.2701	1.6625	1389.3	135.64	732.41
290	867.86	369.46	2.3346	1.2999	1.6935	1348	133.18	642.79
300	859.28	386.55	2.3926	1.3303	1.7255	1307.6	130.48	569.46
310	850.68	403.97	2.4497	1.3613	1.7583	1267.9	127.66	508.91
320	842.02	421.72	2.5061	1.3926	1.7919	1229	124.79	458.46
330	833.31	439.81	2.5617	1.4242	1.8261	1190.7	121.92	416.01
340	824.53	458.24	2.6167	1.4561	1.8608	1153	119.13	379.92
350	815.66	477.03	2.6712	1.488	1.896	1115.8	116.38	348.93
360	806.7	496.17	2.7251	1.52	1.9317	1079.2	113.69	322.02
370	797.63	515.66	2.7785	1.5519	1.9677	1042.9	111.1	298.4
380	788.44	535.52	2.8315	1.5839	2.0042	1007.1	108.58	277.46
390	779.11	555.75	2.884	1.6157	2.0409	971.56	106.16	258.69
400	769.61	576.34	2.9362	1.6474	2.0781	936.32	103.83	241.71
410	759.94	597.31	2.9879	1.6789	2.1156	901.31	101.59	226.21
420	750.07	618.66	3.0394	1.7102	2.1536	866.46	99.446	211.94
430	739.97	640.38	3.0905	1.7414	2.1922	831.72	97.385	198.73
440	729.61	662.5	3.1413	1.7723	2.2313	797.03	95.41	186.4
450	718.97	685.01	3.1919	1.8029	2.2711	762.31	93.518	174.86
460	708.01	707.93	3.2423	1.8334	2.3119	727.5	91.705	164.02
470	696.66	731.25	3.2925	1.8636	2.3538	692.5	89.969	153.8
480	684.89	755.01	3.3425	1.8936	2.3973	657.22	88.307	144.15
490	672.61	779.21	3.3924	1.9234	2.4427	621.53	86.715	135.04
500	659.75	803.87	3.4422	1.953	2.4907	585.28	85.19	126.43
510	646.17	829.03	3.492	1.9825	2.5423	548.29	83.73	118.29
520	631.72	854.73	3.5419	2.0119	2.5989	510.29	82.331	110.59
530	30.23	1131.1	4.0691	1.9842	2.2069	166.85	34.863	11.728
540	29.071	1153.1	4.1103	2.0061	2.209	171.96	35.927	11.949
550	28.045	1175.3	4.1509	2.0287	2.2163	176.64	37.001	12.167
560	27.125	1197.5	4.191	2.0519	2.2271	180.96	38.088	12.381
570	26.292	1219.8	4.2305	2.0752	2.2405	185	39.191	12.593
580	25.53	1242.3	4.2696	2.0987	2.2555	188.79	40.312	12.803
590	24.83	1264.9	4.3083	2.1222	2.2719	192.38	41.451	13.01
600	24.182	1287.7	4.3466	2.1455	2.2892	195.79	42.609	13.215



610	23.579	1310.7	4.3846	2.1688	2.3072	199.05	43.786	13.418
620	23.016	1333.9	4.4223	2.1918	2.3257	202.17	44.982	13.619
630	22.488	1357.2	4.4596	2.2146	2.3444	205.18	46.197	13.819
640	21.991	1380.8	4.4967	2.2372	2.3634	208.07	47.431	14.017
650	21.522	1404.5	4.5335	2.2595	2.3825	210.87	48.685	14.213
660	21.078	1428.4	4.57	2.2815	2.4017	213.58	49.958	14.407
670	20.657	1452.5	4.6063	2.3032	2.4209	216.21	51.251	14.6
680	20.257	1476.8	4.6423	2.3247	2.44	218.76	52.563	14.792
690	19.875	1501.3	4.678	2.3458	2.459	221.26	53.895	14.982
700	19.511	1526	4.7136	2.3667	2.4779	223.68	55.248	15.171
p=1.5 MIIa								
230	919.52	273.48	1.9624	1.1374	1.5295	1611.9	132.49	1653.7
240	910.91	288.89	2.028	1.161	1.5522	1565.9	137.14	1375.6
250	902.34	304.53	2.0919	1.1863	1.5772	1520.9	138.87	1157.3
260	893.8	320.44	2.1542	1.2132	1.604	1477	138.77	984.52
270	885.27	336.62	2.2153	1.2412	1.6324	1434	137.52	846.62
280	876.75	353.09	2.2752	1.2702	1.6622	1391.9	135.56	735.65
290	868.22	369.87	2.3341	1.3	1.6932	1350.7	133.17	645.62
300	859.66	386.96	2.392	1.3304	1.7251	1310.4	130.53	571.93
310	851.08	404.37	2.4491	1.3614	1.7579	1270.8	127.74	511.1
320	842.45	422.12	2.5054	1.3927	1.7914	1232	124.91	460.4
330	833.76	440.2	2.5611	1.4243	1.8255	1193.8	122.06	417.75
340	825.01	458.63	2.6161	1.4561	1.8601	1156.2	119.29	381.49
350	816.17	477.41	2.6705	1.4881	1.8953	1119.2	116.56	350.35
360	807.25	496.54	2.7244	1.52	1.9308	1082.6	113.89	323.33
370	798.22	516.02	2.7778	1.552	1.9668	1046.6	111.31	299.62
380	789.06	535.87	2.8307	1.5839	2.0031	1010.9	108.81	278.59
390	779.77	556.09	2.8832	1.6157	2.0397	975.54	106.4	259.76
400	770.33	576.67	2.9354	1.6474	2.0767	940.5	104.08	242.74
410	760.71	597.62	2.9871	1.6789	2.1141	905.69	101.85	227.2
420	750.9	618.95	3.0385	1.7102	2.1518	871.08	99.709	212.91
430	740.87	640.66	3.0896	1.7413	2.1901	836.59	97.658	199.67
440	730.6	662.76	3.1404	1.7722	2.2289	802.19	95.692	187.34
450	720.05	685.24	3.1909	1.8028	2.2683	767.79	93.809	175.79
460	709.19	708.12	3.2412	1.8332	2.3086	733.33	92.005	164.95
470	697.97	731.42	3.2913	1.8634	2.35	698.73	90.279	154.73
480	686.34	755.13	3.3412	1.8933	2.3927	663.91	88.627	145.1
490	674.24	779.28	3.391	1.9231	2.4371	628.75	87.045	136
500	661.58	803.88	3.4407	1.9526	2.4838	593.14	85.53	127.41
510	648.26	828.96	3.4904	1.982	2.5336	556.9	84.08	119.29
520	634.15	854.56	3.5401	2.0112	2.5877	519.81	82.69	111.63
530	619.05	880.74	3.5899	2.0405	2.6481	481.6	81.358	104.38
540	602.68	907.56	3.6401	2.0699	2.7179	441.83	80.081	97.492
550	584.62	935.15	3.6907	2.0995	2.8031	399.82	78.859	90.896
560	46.526	1180.4	4.1354	2.0858	2.4002	157.48	39.269	12.665
570	44.351	1204.3	4.1776	2.1041	2.3793	164.13	40.393	12.877
580	42.498	1228.1	4.2189	2.1236	2.3703	170.03	41.51	13.086

590	40.885	1251.8	4.2594	2.144	2.369	175.35	42.631	13.293
600	39.456	1275.5	4.2993	2.1648	2.3727	180.23	43.761	13.496
610	38.176	1299.2	4.3385	2.186	2.38	184.75	44.904	13.696
620	37.017	1323.1	4.3773	2.2073	2.3899	188.97	46.064	13.895
630	35.958	1347	4.4156	2.2287	2.4017	192.94	47.241	14.091
640	34.984	1371.1	4.4536	2.25	2.4148	196.69	48.437	14.285
650	34.084	1395.3	4.4911	2.2712	2.429	200.25	49.652	14.477
660	33.247	1419.7	4.5283	2.2923	2.444	203.65	50.888	14.668
670	32.465	1444.2	4.5652	2.3132	2.4595	206.9	52.144	14.857
680	31.732	1468.9	4.6017	2.3339	2.4755	210.03	53.421	15.044
690	31.043	1493.7	4.638	2.3544	2.4918	213.04	54.72	15.23
700	30.393	1518.7	4.674	2.3746	2.5083	215.95	56.04	15.414
p=2.0 MPa								
230	919.78	273.91	1.9619	1.1375	1.5294	1614.2	131.68	1660.7
240	911.18	289.31	2.0275	1.1611	1.5521	1568.2	136.57	1381.6
250	902.63	304.96	2.0913	1.1865	1.577	1523.3	138.48	1162.4
260	894.1	320.86	2.1537	1.2133	1.6038	1479.4	138.51	988.87
270	885.59	337.04	2.2148	1.2413	1.6322	1436.5	137.37	850.37
280	877.09	353.51	2.2747	1.2703	1.6619	1394.5	135.49	738.9
290	868.57	370.28	2.3335	1.3001	1.6928	1353.4	133.17	648.45
300	860.04	387.37	2.3914	1.3305	1.7247	1313.2	130.57	574.41
310	851.48	404.78	2.4485	1.3615	1.7574	1273.7	127.83	513.29
320	842.87	422.52	2.5048	1.3928	1.7908	1235	125.02	462.35
330	834.21	440.6	2.5605	1.4244	1.8249	1196.9	122.21	419.48
340	825.48	459.02	2.6155	1.4562	1.8595	1159.4	119.45	383.06
350	816.68	477.79	2.6699	1.4881	1.8945	1122.5	116.74	351.78
360	807.79	496.91	2.7237	1.5201	1.93	1086.1	114.09	324.64
370	798.79	516.39	2.7771	1.5521	1.9658	1050.2	111.52	300.83
380	789.68	536.23	2.83	1.584	2.002	1014.7	109.03	279.73
390	780.43	556.43	2.8825	1.6158	2.0385	979.5	106.63	260.84
400	771.04	577	2.9346	1.6474	2.0753	944.64	104.32	243.76
410	761.47	597.94	2.9863	1.6789	2.1125	910.04	102.1	228.19
420	751.72	619.25	3.0376	1.7102	2.1501	875.65	99.973	213.87
430	741.76	640.94	3.0886	1.7413	2.1881	841.41	97.93	200.61
440	731.57	663.01	3.1394	1.7721	2.2266	807.28	95.973	188.27
450	721.11	685.47	3.1899	1.8027	2.2657	773.18	94.1	176.72
460	710.35	708.33	3.2401	1.8331	2.3055	739.06	92.306	165.87
470	699.25	731.59	3.2901	1.8632	2.3463	704.85	90.589	155.67
480	687.76	755.26	3.3399	1.8931	2.3883	670.47	88.947	146.04
490	675.82	779.36	3.3896	1.9228	2.4318	635.82	87.375	136.95
500	663.36	803.9	3.4392	1.9522	2.4773	600.79	85.871	128.38
510	650.29	828.91	3.4887	1.9815	2.5256	565.25	84.431	120.29
520	636.49	854.42	3.5383	2.0106	2.5775	529	83.052	112.65
530	621.78	880.48	3.5879	2.0397	2.6346	491.83	81.729	105.44
540	605.95	907.14	3.6378	2.0688	2.6995	453.39	80.46	98.606
550	588.65	934.51	3.688	2.0981	2.7763	413.19	79.24	92.094
560	569.32	962.74	3.7388	2.1279	2.8736	370.41	78.07	85.799

570	546.97	992.11	3.7908	2.1586	3.0108	323.57	76.959	79.53
580	65.834	1209.4	4.1703	2.159	2.6283	144.75	42.516	13.481
590	61.855	1235.3	4.2145	2.173	2.5575	153.65	43.694	13.678
600	58.667	1260.6	4.2572	2.1894	2.5189	161.18	44.85	13.874
610	56.006	1285.7	4.2986	2.2071	2.4979	167.78	45.998	14.069
620	53.725	1310.6	4.3391	2.2257	2.4877	173.67	47.147	14.262
630	51.729	1335.5	4.3789	2.245	2.4846	179.04	48.304	14.453
640	49.958	1360.3	4.418	2.2645	2.4863	183.97	49.474	14.641
650	48.367	1385.2	4.4566	2.2843	2.4915	188.55	50.659	14.828
660	46.924	1410.2	4.4947	2.3041	2.4992	192.84	51.862	15.013
670	45.604	1435.2	4.5324	2.324	2.5088	196.88	53.085	15.196
680	44.39	1460.4	4.5696	2.3437	2.5198	200.7	54.328	15.378
690	43.266	1485.6	4.6065	2.3634	2.5319	204.34	55.593	15.558
700	42.221	1511	4.643	2.383	2.5448	207.81	56.881	15.737
p=2.5 MIIa								
230	920.04	274.33	1.9614	1.1376	1.5292	1616.4	130.88	1667.8
240	911.46	289.74	2.027	1.1612	1.5519	1570.5	136.01	1387.5
250	902.92	305.38	2.0908	1.1866	1.5768	1525.7	138.1	1167.5
260	894.4	321.28	2.1532	1.2134	1.6035	1481.8	138.27	993.23
270	885.91	337.46	2.2142	1.2414	1.6319	1439	137.23	854.12
280	877.42	353.92	2.2741	1.2704	1.6616	1397.1	135.43	742.15
290	868.93	370.69	2.3329	1.3002	1.6924	1356.1	133.16	651.28
300	860.41	387.77	2.3909	1.3306	1.7243	1315.9	130.62	576.9
310	851.87	405.18	2.4479	1.3616	1.7569	1276.6	127.92	515.48
320	843.29	422.92	2.5042	1.3929	1.7903	1237.9	125.14	464.29
330	834.66	440.99	2.5598	1.4245	1.8243	1199.9	122.35	421.23
340	825.96	459.4	2.6148	1.4563	1.8588	1162.6	119.62	384.63
350	817.18	478.17	2.6692	1.4882	1.8938	1125.8	116.92	353.21
360	808.32	497.28	2.723	1.5202	1.9292	1089.6	114.29	325.95
370	799.36	516.75	2.7764	1.5521	1.9649	1053.8	111.73	302.05
380	790.29	536.58	2.8293	1.584	2.001	1018.4	109.25	280.87
390	781.09	556.77	2.8817	1.6158	2.0373	983.41	106.87	261.92
400	771.74	577.33	2.9338	1.6474	2.074	948.74	104.57	244.79
410	762.23	598.25	2.9854	1.6789	2.111	914.34	102.36	229.18
420	752.54	619.55	3.0367	1.7102	2.1484	880.17	100.24	214.83
430	742.65	641.22	3.0877	1.7412	2.1861	846.17	98.203	201.55
440	732.53	663.27	3.1384	1.7721	2.2243	812.3	96.255	189.2
450	722.15	685.71	3.1888	1.8027	2.2631	778.5	94.391	177.64
460	711.49	708.54	3.239	1.833	2.3025	744.71	92.606	166.8
470	700.5	731.76	3.289	1.8631	2.3428	710.87	90.899	156.6
480	689.15	755.4	3.3387	1.8929	2.3841	676.91	89.267	146.98
490	677.37	779.45	3.3883	1.9225	2.4268	642.73	87.706	137.9
500	665.1	803.94	3.4378	1.9519	2.4713	608.26	86.212	129.35
510	652.26	828.88	3.4872	1.9811	2.5181	573.36	84.784	121.27
520	638.73	854.31	3.5366	2.0101	2.5681	537.89	83.416	113.66
530	624.39	880.26	3.586	2.039	2.6225	501.67	82.104	106.48
540	609.04	906.78	3.6356	2.0679	2.6831	464.41	80.845	99.696

550	592.39	933.95	3.6854	2.0969	2.7533	425.76	79.633	93.255
560	574.02	961.9	3.7358	2.1262	2.8389	385.12	78.464	87.072
570	553.22	990.82	3.787	2.1561	2.9519	341.52	77.336	81.009
580	528.58	1021.1	3.8396	2.1874	3.1231	293.05	76.264	74.796
590	95.535	1210.6	4.1616	2.2201	3.2028	121.08	44.825	14.284
600	86.073	1240.7	4.2121	2.2242	2.8724	135.65	45.866	14.401
610	79.718	1268.7	4.2583	2.2348	2.7329	146.5	47.021	14.559
620	74.912	1295.6	4.3021	2.2487	2.6595	155.34	48.183	14.73
630	71.047	1321.9	4.3443	2.2645	2.6176	162.91	49.342	14.906
640	67.817	1348	4.3853	2.2814	2.5934	169.58	50.503	15.083
650	65.047	1373.9	4.4254	2.2991	2.5803	175.57	51.672	15.26
660	62.624	1399.6	4.4648	2.3173	2.5744	181.03	52.853	15.436
670	60.475	1425.4	4.5035	2.3358	2.5736	186.07	54.05	15.611
680	58.545	1451.1	4.5416	2.3544	2.5764	190.75	55.265	15.785
690	56.795	1476.9	4.5793	2.3732	2.5819	195.14	56.5	15.958
700	55.197	1502.7	4.6165	2.3919	2.5894	199.28	57.757	16.129
p=3.0 MIIa								
230	920.3	274.76	1.9609	1.1378	1.5291	1618.6	130.09	1674.8
240	911.73	290.16	2.0265	1.1613	1.5517	1572.8	135.46	1393.5
250	903.2	305.8	2.0903	1.1867	1.5766	1528	137.72	1172.6
260	894.7	321.7	2.1526	1.2135	1.6033	1484.3	138.02	997.59
270	886.23	337.87	2.2137	1.2415	1.6316	1441.5	137.09	857.88
280	877.76	354.34	2.2736	1.2705	1.6613	1399.7	135.37	745.41
290	869.28	371.1	2.3324	1.3003	1.6921	1358.8	133.17	654.12
300	860.79	388.18	2.3903	1.3307	1.7239	1318.7	130.67	579.39
310	852.27	405.58	2.4473	1.3617	1.7565	1279.4	128	517.67
320	843.71	423.32	2.5036	1.393	1.7898	1240.9	125.26	466.24
330	835.1	441.38	2.5592	1.4246	1.8237	1203	122.5	422.97
340	826.43	459.79	2.6142	1.4564	1.8582	1165.8	119.78	386.2
350	817.68	478.55	2.6685	1.4883	1.8931	1129.1	117.1	354.64
360	808.86	497.66	2.7224	1.5202	1.9284	1093	114.49	327.26
370	799.93	517.12	2.7757	1.5522	1.964	1057.3	111.94	303.27
380	790.9	536.94	2.8285	1.5841	1.9999	1022.1	109.48	282.01
390	781.74	557.12	2.881	1.6158	2.0362	987.3	107.1	262.99
400	772.44	577.66	2.933	1.6475	2.0727	952.81	104.81	245.82
410	762.98	598.57	2.9846	1.6789	2.1095	918.6	102.61	230.17
420	753.35	619.85	3.0359	1.7102	2.1467	884.64	100.5	215.79
430	743.52	641.51	3.0868	1.7412	2.1842	850.88	98.476	202.5
440	733.47	663.54	3.1375	1.772	2.2221	817.27	96.537	190.13
450	723.18	685.95	3.1878	1.8026	2.2605	783.75	94.681	178.57
460	712.61	708.75	3.238	1.8329	2.2996	750.28	92.906	167.72
470	701.74	731.94	3.2878	1.8629	2.3394	716.79	91.209	157.52
480	690.51	755.54	3.3375	1.8927	2.3801	683.22	89.587	147.91
490	678.88	779.55	3.387	1.9223	2.422	649.5	88.036	138.85
500	666.79	803.99	3.4364	1.9516	2.4655	615.55	86.554	130.31
510	654.16	828.87	3.4857	1.9806	2.5111	581.26	85.136	122.25
520	640.9	854.22	3.5349	2.0096	2.5594	546.51	83.78	114.66

530	626.9	880.07	3.5841	2.0383	2.6113	511.14	82.481	107.51
540	611.97	906.46	3.6334	2.067	2.6686	474.95	81.233	100.77
550	595.9	933.46	3.683	2.0957	2.7334	437.64	80.032	94.384
560	578.35	961.17	3.7329	2.1247	2.81	398.81	78.872	88.293
570	558.78	989.73	3.7835	2.154	2.9063	357.77	77.745	82.385
580	536.24	1019.4	3.8351	2.1842	3.0397	313.36	76.648	76.471
590	508.79	1050.8	3.8887	2.2164	3.2594	263.2	75.601	70.168
600	470.62	1085.6	3.9471	2.2538	3.7991	200.62	74.826	62.41
610	118.82	1243	4.2077	2.2786	3.551	116.15	48.654	15.454
620	105.21	1275.6	4.2607	2.2802	3.0616	132.03	49.347	15.418
630	96.593	1305.1	4.308	2.2892	2.8715	143.66	50.406	15.508
640	90.268	1333.3	4.3524	2.3017	2.7734	153.08	51.535	15.639
650	85.276	1360.7	4.3949	2.3163	2.7167	161.1	52.685	15.787
660	81.161	1387.7	4.4361	2.3322	2.6826	168.15	53.848	15.943
670	77.667	1414.4	4.4763	2.3489	2.6623	174.47	55.024	16.103
680	74.636	1441	4.5156	2.366	2.6508	180.21	56.216	16.264
690	71.964	1467.5	4.5543	2.3836	2.6456	185.5	57.425	16.425
700	69.579	1493.9	4.5923	2.4013	2.6447	190.41	58.655	16.587
p=4.0 MPa								
230	920.81	275.61	1.9599	1.138	1.5288	1623.1	128.53	1688.9
240	912.26	291.01	2.0254	1.1616	1.5514	1577.4	134.37	1405.5
250	903.77	306.65	2.0893	1.1869	1.5762	1532.7	136.99	1182.8
260	895.3	322.54	2.1516	1.2137	1.6029	1489.1	137.56	1006.3
270	886.86	338.71	2.2126	1.2417	1.6311	1446.5	136.82	865.41
280	878.42	355.17	2.2725	1.2707	1.6607	1404.8	135.26	751.93
290	869.98	371.93	2.3313	1.3005	1.6914	1364.1	133.18	659.8
300	861.53	389	2.3891	1.3309	1.7231	1324.2	130.78	584.37
310	853.05	406.39	2.4462	1.3619	1.7556	1285.1	128.19	522.07
320	844.54	424.12	2.5024	1.3932	1.7888	1246.7	125.51	470.15
330	835.98	442.17	2.558	1.4248	1.8226	1209.1	122.8	426.47
340	827.36	460.57	2.6129	1.4566	1.8569	1172.1	120.12	389.36
350	818.68	479.31	2.6672	1.4884	1.8917	1135.6	117.48	357.52
360	809.91	498.4	2.721	1.5204	1.9268	1099.8	114.89	329.9
370	801.06	517.85	2.7743	1.5523	1.9622	1064.4	112.37	305.71
380	792.1	537.65	2.8271	1.5842	1.9979	1029.5	109.93	284.3
390	783.02	557.81	2.8795	1.6159	2.0339	994.98	107.57	265.16
400	773.81	578.33	2.9314	1.6475	2.0702	960.84	105.3	247.88
410	764.45	599.21	2.983	1.679	2.1067	927.01	103.12	232.15
420	754.93	620.46	3.0342	1.7102	2.1435	893.46	101.03	217.72
430	745.23	642.08	3.0851	1.7412	2.1805	860.14	99.021	204.39
440	735.32	664.08	3.1356	1.772	2.2179	827.02	97.1	191.99
450	725.19	686.44	3.1859	1.8025	2.2557	794.04	95.262	180.42
460	714.81	709.19	3.2359	1.8327	2.294	761.17	93.505	169.57
470	704.14	732.33	3.2856	1.8627	2.3329	728.34	91.827	159.37
480	693.15	755.85	3.3352	1.8924	2.3726	695.52	90.224	149.77
490	681.8	779.78	3.3845	1.9218	2.4132	662.64	88.695	140.73
500	670.04	804.12	3.4337	1.951	2.455	629.64	87.234	132.21

510	657.81	828.89	3.4827	1.9799	2.4983	596.45	85.84	124.19
520	645.03	854.1	3.5317	2.0086	2.5437	562.98	84.509	116.64
530	631.61	879.77	3.5806	2.0372	2.5918	529.13	83.235	109.54
540	617.44	905.94	3.6295	2.0655	2.6435	494.77	82.015	102.86
550	602.34	932.66	3.6785	2.0938	2.7003	459.72	80.842	96.566
560	586.1	959.97	3.7277	2.1221	2.7643	423.76	79.71	90.613
570	568.4	987.98	3.7773	2.1506	2.8394	386.56	78.609	84.925
580	548.75	1016.8	3.8274	2.1794	2.9324	347.63	77.527	79.392
590	526.32	1046.7	3.8786	2.2089	3.057	306.19	76.449	73.833
600	499.53	1078.2	3.9314	2.24	3.2478	260.83	75.36	67.922
610	464.6	1112.3	3.9877	2.2746	3.6209	208.65	74.274	60.931
620	406.73	1153.4	4.0545	2.3206	4.9948	142.18	73.618	50.212
630	236.32	1234.1	4.1835	2.3791	7.9717	94.433	62.051	23.73
640	171.23	1288	4.2686	2.3624	4.1249	113.18	55.487	18.608
650	147.42	1325	4.326	2.3621	3.4088	128.1	55.341	17.768
660	133.16	1357.5	4.3756	2.369	3.1256	139.86	56.095	17.535
670	123.1	1388	4.4214	2.3796	2.9784	149.66	57.095	17.495
680	115.38	1417.3	4.4649	2.3925	2.8917	158.12	58.188	17.538
690	109.15	1445.9	4.5067	2.4067	2.8373	165.6	59.327	17.622
700	103.96	1474.1	4.5472	2.4217	2.8022	172.33	60.497	17.727
p=5.0 MPa								
230	921.32	276.47	1.9589	1.1383	1.5285	1627.5	127.02	1703
240	912.8	291.86	2.0244	1.1618	1.5511	1581.9	133.32	1417.4
250	904.33	307.5	2.0882	1.1872	1.5758	1537.4	136.28	1193
260	895.9	323.39	2.1505	1.214	1.6024	1493.9	137.11	1015.1
270	887.48	339.55	2.2115	1.242	1.6306	1451.4	136.58	872.95
280	879.08	356	2.2714	1.271	1.6601	1409.9	135.17	758.47
290	870.68	372.76	2.3302	1.3007	1.6907	1369.3	133.2	665.5
300	862.26	389.82	2.388	1.3312	1.7223	1329.6	130.9	589.37
310	853.83	407.21	2.445	1.3621	1.7547	1290.7	128.39	526.49
320	845.36	424.92	2.5012	1.3934	1.7878	1252.5	125.77	474.08
330	836.85	442.96	2.5568	1.425	1.8215	1215.1	123.1	429.99
340	828.28	461.35	2.6116	1.4567	1.8557	1178.3	120.46	392.53
350	819.66	480.08	2.6659	1.4886	1.8903	1142.1	117.85	360.4
360	810.95	499.16	2.7197	1.5205	1.9253	1106.5	115.29	332.55
370	802.16	518.59	2.7729	1.5524	1.9605	1071.4	112.8	308.17
380	793.28	538.37	2.8257	1.5843	1.996	1036.7	110.38	286.6
390	784.28	558.51	2.878	1.616	2.0318	1002.5	108.05	267.33
400	775.16	579.01	2.9299	1.6476	2.0678	968.73	105.8	249.95
410	765.9	599.86	2.9814	1.679	2.104	935.26	103.63	234.14
420	756.49	621.09	3.0325	1.7102	2.1404	902.1	101.55	219.65
430	746.9	642.67	3.0833	1.7412	2.1771	869.21	99.565	206.28
440	737.13	664.63	3.1338	1.7719	2.214	836.54	97.661	193.86
450	727.15	686.95	3.1839	1.8024	2.2512	804.07	95.84	182.26
460	716.94	709.65	3.2338	1.8325	2.2889	771.75	94.101	171.41
470	706.46	732.73	3.2835	1.8624	2.327	739.55	92.441	161.22
480	695.69	756.2	3.3329	1.8921	2.3657	707.41	90.858	151.63

490	684.6	780.05	3.382	1.9214	2.4051	675.29	89.349	142.6
500	673.14	804.3	3.431	1.9505	2.4455	643.15	87.911	134.1
510	661.26	828.96	3.4799	1.9793	2.487	610.94	86.54	126.1
520	648.91	854.05	3.5286	2.0078	2.53	578.59	85.233	118.58
530	636	879.57	3.5772	2.0362	2.575	546.03	83.987	111.52
540	622.46	905.55	3.6258	2.0643	2.6226	513.18	82.796	104.89
550	608.16	932.03	3.6744	2.0923	2.6737	479.95	81.655	98.669
560	592.95	959.04	3.723	2.1201	2.7294	446.2	80.558	92.812
570	576.62	986.64	3.7719	2.148	2.7919	411.78	79.495	87.27
580	558.9	1014.9	3.821	2.1759	2.8641	376.47	78.456	81.966
590	539.34	1044	3.8707	2.2041	2.9514	339.97	77.425	76.795
600	517.3	1074	3.9212	2.2328	3.0636	301.86	76.38	71.595
610	491.61	1105.4	3.9731	2.2627	3.221	261.56	75.285	66.107
620	460.06	1138.7	4.0273	2.2945	3.4724	218.37	74.08	59.881
630	417.81	1175.6	4.0862	2.3305	3.948	172.36	72.601	52.013
640	355.09	1219.1	4.1548	2.3722	4.801	131.26	69.733	40.988
650	279.71	1268.9	4.2319	2.4022	4.902	116.32	63.956	29.438
660	226.54	1314.3	4.3013	2.4098	4.1687	120.71	60.794	23.486
670	194.89	1353.1	4.3596	2.4143	3.6351	130.01	60.215	21.146
680	174.39	1387.8	4.411	2.4217	3.3342	139.55	60.647	20.155
690	159.8	1420.2	4.4583	2.4316	3.1569	148.4	61.473	19.702
700	148.68	1451.1	4.5029	2.4434	3.0457	156.47	62.472	19.498
p=10.0 MPa								
230	923.82	280.74	1.9539	1.1396	1.5273	1649.2	119.99	1773.7
240	915.43	296.12	2.0194	1.1631	1.5496	1604.1	128.5	1477.4
250	907.09	311.74	2.0831	1.1885	1.574	1560.2	133.11	1244.1
260	898.8	327.61	2.1454	1.2152	1.6003	1517.4	135.18	1059
270	890.54	343.75	2.2063	1.2432	1.6282	1475.6	135.59	910.84
280	882.31	360.18	2.266	1.2722	1.6573	1434.8	134.91	791.35
290	874.08	376.9	2.3247	1.3019	1.6876	1394.9	133.51	694.2
300	865.85	393.93	2.3824	1.3323	1.7188	1356	131.65	614.57
310	857.61	411.28	2.4393	1.3632	1.7508	1317.9	129.49	548.75
320	849.35	428.95	2.4954	1.3944	1.7834	1280.7	127.15	493.88
330	841.07	446.95	2.5508	1.426	1.8165	1244.2	124.71	447.73
340	832.75	465.28	2.6055	1.4577	1.8501	1208.4	122.23	408.56
350	824.38	483.95	2.6596	1.4895	1.8841	1173.3	119.79	374.99
360	815.96	502.97	2.7132	1.5214	1.9183	1138.8	117.36	345.95
370	807.48	522.32	2.7662	1.5532	1.9528	1104.9	114.98	320.58
380	798.93	542.02	2.8188	1.585	1.9874	1071.5	112.66	298.21
390	790.3	562.07	2.8708	1.6167	2.0222	1038.7	110.42	278.28
400	781.57	582.47	2.9225	1.6481	2.057	1006.3	108.25	260.39
410	772.75	603.21	2.9737	1.6794	2.092	974.45	106.17	244.17
420	763.81	624.31	3.0245	1.7105	2.127	942.98	104.17	229.36
430	754.76	645.75	3.075	1.7414	2.162	911.91	102.25	215.75
440	745.57	667.55	3.1251	1.7719	2.1971	881.21	100.42	203.17
450	736.23	689.69	3.1749	1.8022	2.2322	850.86	98.678	191.47
460	726.74	712.19	3.2243	1.8322	2.2674	820.83	97.018	180.56

470	717.07	735.04	3.2734	1.8618	2.3026	791.12	95.441	170.34
480	707.21	758.24	3.3223	1.8912	2.3379	761.71	93.944	160.76
490	697.14	781.8	3.3709	1.9202	2.3733	732.57	92.527	151.77
500	686.85	805.71	3.4192	1.9489	2.4089	703.71	91.186	143.33
510	676.32	829.98	3.4672	1.9773	2.4447	675.1	89.92	135.41
520	665.52	854.6	3.515	2.0053	2.4807	646.75	88.727	127.98
530	654.43	879.59	3.5626	2.033	2.517	618.65	87.603	121.02
540	643.01	904.95	3.61	2.0604	2.5538	590.81	86.546	114.52
550	631.25	930.67	3.6572	2.0874	2.591	563.21	85.554	108.45
560	619.11	956.77	3.7042	2.1142	2.6288	535.89	84.623	102.8
570	606.54	983.25	3.7511	2.1406	2.6674	508.85	83.749	97.545
580	593.51	1010.1	3.7978	2.1667	2.7068	482.12	82.929	92.656
590	579.97	1037.4	3.8445	2.1926	2.7473	455.74	82.158	88.1
600	565.86	1065.1	3.891	2.2181	2.7889	429.76	81.432	83.84
610	551.15	1093.2	3.9374	2.2434	2.8318	404.25	80.746	79.832
620	535.76	1121.7	3.9838	2.2684	2.8761	379.31	80.093	76.026
630	519.64	1150.7	4.0302	2.2932	2.9218	355.07	79.47	72.369
640	502.74	1180.1	4.0766	2.3177	2.9688	331.71	78.87	68.808
650	485.03	1210.1	4.123	2.3419	3.0164	309.47	78.29	65.292
660	466.51	1240.5	4.1694	2.3658	3.0638	288.65	77.73	61.783
670	447.23	1271.3	4.2158	2.3892	3.1091	269.58	77.196	58.261
680	427.33	1302.6	4.2622	2.412	3.1501	252.63	76.701	54.733
690	407.04	1334.3	4.3084	2.4342	3.184	238.11	76.272	51.241
700	386.69	1366.3	4.3544	2.4554	3.2083	226.22	75.946	47.853
p=20.0 MIIa								
240	920.46	304.67	2.0096	1.1659	1.5471	1646.6	120.75	1598.1
250	912.38	320.26	2.0732	1.1911	1.5711	1603.7	128.31	1347.3
260	904.35	336.1	2.1353	1.2179	1.5969	1562	132.58	1147.7
270	896.36	352.2	2.1961	1.2458	1.6242	1521.4	134.66	987.52
280	888.42	368.59	2.2557	1.2747	1.6527	1481.8	135.24	858.01
290	880.5	385.26	2.3142	1.3044	1.6824	1443.3	134.82	752.49
300	872.59	402.24	2.3718	1.3348	1.7129	1405.7	133.71	665.85
310	864.7	419.52	2.4284	1.3656	1.7442	1369.1	132.14	594.14
320	856.82	437.12	2.4843	1.3968	1.776	1333.3	130.26	534.33
330	848.93	455.05	2.5395	1.4283	1.8083	1298.4	128.2	484.03
340	841.02	473.29	2.5939	1.4599	1.841	1264.2	126.02	441.38
350	833.11	491.87	2.6478	1.4917	1.874	1230.9	123.79	404.89
360	825.16	510.77	2.701	1.5235	1.9072	1198.2	121.54	373.41
370	817.19	530.01	2.7537	1.5552	1.9405	1166.2	119.36	346.01
380	809.19	549.58	2.8059	1.5869	1.9739	1134.9	117.19	321.96
390	801.14	569.49	2.8576	1.6184	2.0073	1104.2	115.08	300.66
400	793.05	589.73	2.9089	1.6498	2.0406	1074.1	113.03	281.63
410	784.91	610.3	2.9597	1.681	2.0739	1044.5	111.05	264.51
420	776.71	631.21	3.01	1.7119	2.1071	1015.6	109.16	248.99
430	768.45	652.44	3.06	1.7426	2.1401	987.11	107.34	234.81
440	760.12	674.01	3.1096	1.773	2.173	959.17	105.61	221.8
450	751.71	695.9	3.1588	1.8031	2.2057	931.74	103.97	209.78



460	743.23	718.12	3.2076	1.8328	2.2381	904.8	102.42	198.64
470	734.67	740.66	3.2561	1.8622	2.2703	878.35	100.95	188.27
480	726.02	763.52	3.3042	1.8913	2.3022	852.37	99.561	178.6
490	717.28	786.71	3.352	1.92	2.3339	826.87	98.261	169.55
500	708.44	810.2	3.3995	1.9484	2.3652	801.85	97.044	161.09
510	699.5	834.01	3.4466	1.9763	2.3963	777.3	95.91	153.17
520	690.45	858.13	3.4935	2.0039	2.427	753.24	94.855	145.75
530	681.3	882.55	3.54	2.0311	2.4573	729.66	93.88	138.81
540	672.03	907.27	3.5862	2.0579	2.4873	706.59	92.982	132.32
550	662.65	932.29	3.6321	2.0844	2.5169	684.02	92.16	126.28
560	653.15	957.61	3.6777	2.1104	2.5461	661.97	91.412	120.65
570	643.53	983.21	3.723	2.136	2.5748	640.46	90.736	115.42
580	633.79	1009.1	3.7681	2.1613	2.603	619.51	90.131	110.58
590	623.94	1035.3	3.8128	2.1862	2.6308	599.15	89.596	106.1
600	613.96	1061.7	3.8572	2.2106	2.658	579.38	89.128	101.97
610	603.87	1088.4	3.9014	2.2347	2.6847	560.23	88.725	98.162
620	593.67	1115.4	3.9453	2.2584	2.7107	541.74	88.388	94.655
630	583.36	1142.6	3.9888	2.2817	2.7361	523.93	88.114	91.426
640	572.96	1170.1	4.0321	2.3046	2.7607	506.81	87.903	88.451
650	562.48	1197.9	4.0751	2.3271	2.7846	490.42	87.753	85.703
660	551.92	1225.8	4.1178	2.3493	2.8077	474.78	87.665	83.157
670	541.3	1254	4.1602	2.371	2.8299	459.91	87.638	80.788
680	530.64	1282.4	4.2023	2.3924	2.8512	445.83	87.672	78.573
690	519.96	1311	4.2441	2.4134	2.8715	432.55	87.768	76.488
700	509.28	1339.8	4.2855	2.434	2.8909	420.09	87.927	74.516
p=40.0 MPa								
240	929.76	321.86	1.9911	1.1717	1.5439	1724.8	110.81	1842
250	922.1	337.41	2.0546	1.197	1.5671	1683.6	123.11	1556.4
260	914.51	353.2	2.1166	1.2236	1.5921	1643.7	130.88	1328
270	906.99	369.26	2.1771	1.2515	1.6185	1604.9	135.54	1143.9
280	899.52	385.58	2.2365	1.2804	1.6463	1567.3	138.06	994.37
290	892.11	402.19	2.2948	1.31	1.675	1530.8	139.08	872.1
300	884.73	419.08	2.352	1.3403	1.7046	1495.3	139.06	771.38
310	877.4	436.28	2.4084	1.371	1.7348	1460.8	138.32	687.82
320	870.09	453.78	2.464	1.4022	1.7657	1427.3	137.07	618.02
330	862.81	471.59	2.5188	1.4336	1.7969	1394.6	135.49	559.28
340	855.56	489.72	2.5729	1.4651	1.8284	1362.9	133.68	509.5
350	848.31	508.16	2.6264	1.4968	1.8602	1332	131.73	467
360	841.09	526.92	2.6792	1.5285	1.8921	1301.9	129.71	430.45
370	833.87	546.01	2.7315	1.5602	1.924	1272.5	127.65	398.78
380	826.65	565.41	2.7832	1.5917	1.956	1243.9	125.6	371.14
390	819.44	585.12	2.8345	1.6232	1.9879	1216	123.57	346.83
400	812.23	605.16	2.8852	1.6545	2.0196	1188.8	121.63	325.31
410	805.02	625.52	2.9354	1.6855	2.0512	1162.3	119.74	306.11
420	797.8	646.19	2.9852	1.7163	2.0826	1136.4	117.91	288.87
430	790.57	667.17	3.0346	1.7468	2.1137	1111.1	116.16	273.29
440	783.34	688.46	3.0836	1.7771	2.1446	1086.4	114.49	259.14

450	776.09	710.06	3.1321	1.807	2.1751	1062.4	112.9	246.2
460	768.84	731.96	3.1802	1.8366	2.2053	1038.9	111.4	234.31
470	761.57	754.16	3.228	1.8658	2.2352	1015.9	109.99	223.35
480	754.29	776.66	3.2754	1.8947	2.2646	993.57	108.66	213.21
490	747	799.45	3.3223	1.9232	2.2936	971.76	107.42	203.78
500	739.69	822.53	3.369	1.9513	2.3222	950.49	106.27	195.01
510	732.38	845.9	3.4152	1.9791	2.3504	929.77	105.21	186.83
520	725.05	869.54	3.4611	2.0064	2.378	909.59	104.22	179.2
530	717.7	893.46	3.5067	2.0333	2.4052	889.94	103.32	172.05
540	710.35	917.64	3.5519	2.0599	2.432	870.82	102.5	165.38
550	702.99	942.09	3.5968	2.086	2.4581	852.24	101.76	159.13
560	695.62	966.8	3.6413	2.1117	2.4838	834.18	101.1	153.3
570	688.24	991.77	3.6855	2.137	2.509	816.65	100.51	147.85
580	680.87	1017	3.7293	2.1619	2.5336	799.65	99.994	142.77
590	673.49	1042.4	3.7729	2.1864	2.5577	783.17	99.55	138.03
600	666.11	1068.1	3.816	2.2105	2.5812	767.22	99.176	133.62
610	658.74	1094.1	3.8589	2.2342	2.6042	751.79	98.87	129.53
620	651.38	1120.2	3.9014	2.2575	2.6266	736.89	98.63	125.73
630	644.03	1146.6	3.9436	2.2804	2.6485	722.5	98.455	122.22
640	636.69	1173.2	3.9855	2.3029	2.6698	708.63	98.342	118.97
650	629.38	1200	4.0271	2.3251	2.6905	695.28	98.291	115.97
660	622.09	1227	4.0683	2.3468	2.7107	682.44	98.301	113.21
670	614.83	1254.2	4.1092	2.3682	2.7304	670.1	98.369	110.66
680	607.61	1281.6	4.1498	2.3893	2.7495	658.26	98.495	108.32
690	600.42	1309.2	4.1901	2.41	2.7681	646.92	98.678	106.17
700	593.28	1337	4.23	2.4303	2.7862	636.06	98.916	104.19
p=60.0 MPa								
240	938.24	339.13	1.9739	1.178	1.5423	1795.8	105.68	2088.8
250	930.92	354.66	2.0373	1.2031	1.5649	1756	121.57	1768.6
260	923.69	370.43	2.0991	1.2297	1.5893	1717.5	131.93	1511.4
270	916.54	386.45	2.1596	1.2576	1.6152	1680.1	138.46	1303.4
280	909.46	402.74	2.2188	1.2863	1.6423	1643.9	142.33	1134
290	902.44	419.3	2.2769	1.3159	1.6704	1608.9	144.33	994.9
300	895.48	436.15	2.334	1.3461	1.6993	1575	145.01	880.04
310	888.58	453.29	2.3902	1.3769	1.7289	1542	144.76	784.53
320	881.72	470.73	2.4456	1.4079	1.7591	1510.1	143.87	704.59
330	874.9	488.47	2.5002	1.4393	1.7896	1479.1	142.52	637.26
340	868.13	506.52	2.5541	1.4708	1.8205	1449	140.87	580.17
350	861.38	524.88	2.6073	1.5024	1.8515	1419.8	139.03	531.46
360	854.67	543.55	2.6599	1.5341	1.8827	1391.5	137.06	489.62
370	847.99	562.53	2.7119	1.5657	1.9139	1363.9	135.03	453.45
380	841.34	581.83	2.7634	1.5972	1.945	1337.1	132.98	421.98
390	834.7	601.43	2.8143	1.6286	1.9761	1311	130.94	394.43
400	828.1	621.35	2.8647	1.6598	2.007	1285.6	128.94	370.14
410	821.51	641.57	2.9146	1.6908	2.0378	1260.9	126.99	348.61
420	814.94	662.11	2.9641	1.7216	2.0683	1236.9	125.1	329.39
430	808.38	682.94	3.0131	1.7521	2.0986	1213.5	123.31	312.15

440	801.85	704.08	3.0617	1.7822	2.1285	1190.8	121.61	296.58
450	795.33	725.51	3.1099	1.8121	2.1582	1168.6	119.99	282.46
460	788.82	747.24	3.1576	1.8416	2.1875	1147.1	118.44	269.58
470	782.33	769.26	3.205	1.8708	2.2164	1126.1	116.99	257.78
480	775.85	791.56	3.252	1.8996	2.2449	1105.7	115.63	246.93
490	769.39	814.15	3.2985	1.9281	2.273	1085.8	114.35	236.92
500	762.94	837.02	3.3447	1.9561	2.3006	1066.5	113.16	227.64
510	756.51	860.17	3.3906	1.9838	2.3279	1047.7	112.06	219.02
520	750.09	883.58	3.436	2.011	2.3546	1029.4	111.04	211
530	743.69	907.26	3.4811	2.0379	2.3809	1011.7	110.11	203.52
540	737.31	931.2	3.5259	2.0643	2.4067	994.42	109.26	196.53
550	730.94	955.39	3.5703	2.0904	2.4321	977.67	108.49	189.99
560	724.6	979.84	3.6143	2.116	2.4569	961.4	107.8	183.87
570	718.27	1004.5	3.658	2.1412	2.4813	945.62	107.18	178.14
580	711.97	1029.5	3.7014	2.1661	2.5051	930.32	106.64	172.78
590	705.68	1054.6	3.7444	2.1905	2.5285	915.48	106.17	167.76
600	699.43	1080	3.7871	2.2145	2.5514	901.11	105.77	163.05
610	693.2	1105.7	3.8295	2.2381	2.5738	887.2	105.43	158.65
620	687	1131.5	3.8715	2.2614	2.5957	873.74	105.17	154.54
630	680.83	1157.6	3.9132	2.2842	2.6171	860.72	104.96	150.69
640	674.69	1183.8	3.9546	2.3066	2.638	848.14	104.82	147.11
650	668.59	1210.3	3.9956	2.3287	2.6584	835.98	104.75	143.76
660	662.52	1237	4.0364	2.3504	2.6784	824.25	104.73	140.65
670	656.49	1263.9	4.0768	2.3717	2.6979	812.94	104.77	137.75
680	650.5	1291	4.1169	2.3927	2.717	802.03	104.86	135.05
690	644.56	1318.2	4.1567	2.4134	2.7356	791.51	105.02	132.55
700	638.65	1345.7	4.1962	2.4336	2.7538	781.39	105.22	130.22
p=80.0 МПа								
250	939.02	371.98	2.021	1.2095	1.5639	1822.5	122.11	1983
260	932.09	387.73	2.0828	1.236	1.5879	1785.1	134.42	1697.4
270	925.25	403.74	2.1432	1.2638	1.6133	1748.9	142.32	1465.5
280	918.49	420	2.2023	1.2925	1.6399	1713.9	147.14	1276.1
290	911.8	436.54	2.2604	1.322	1.6676	1680	149.8	1120.2
300	905.18	453.36	2.3174	1.3522	1.6961	1647.3	150.92	991.13
310	898.62	470.47	2.3735	1.3828	1.7252	1615.5	150.97	883.57
320	892.12	487.87	2.4287	1.4139	1.7549	1584.8	150.25	793.39
330	885.67	505.57	2.4832	1.4452	1.785	1555.1	149	717.32
340	879.27	523.57	2.5369	1.4767	1.8153	1526.3	147.39	652.78
350	872.92	541.87	2.59	1.5082	1.8459	1498.3	145.54	597.69
360	866.61	560.49	2.6424	1.5399	1.8766	1471.2	143.54	550.4
370	860.34	579.4	2.6942	1.5714	1.9073	1444.9	141.46	509.55
380	854.11	598.63	2.7455	1.6029	1.938	1419.4	139.34	474.07
390	847.91	618.16	2.7962	1.6343	1.9685	1394.6	137.23	443.07
400	841.75	638	2.8465	1.6654	1.999	1370.5	135.14	415.84
410	835.62	658.14	2.8962	1.6964	2.0293	1347.1	133.11	391.77
420	829.53	678.59	2.9454	1.7271	2.0593	1324.4	131.14	370.38
430	823.46	699.33	2.9943	1.7576	2.0891	1302.3	129.24	351.28

440	817.42	720.37	3.0426	1.7877	2.1185	1280.9	127.43	334.11
450	811.41	741.7	3.0906	1.8175	2.1477	1260	125.7	318.62
460	805.43	763.32	3.1381	1.847	2.1765	1239.7	124.06	304.57
470	799.47	785.23	3.1852	1.8762	2.205	1220	122.55	291.77
480	793.55	807.42	3.2319	1.905	2.233	1200.9	121.12	280.05
490	787.64	829.89	3.2782	1.9334	2.2607	1182.2	119.77	269.29
500	781.77	852.63	3.3242	1.9614	2.2879	1164.1	118.52	259.37
510	775.92	875.64	3.3698	1.989	2.3147	1146.5	117.35	250.19
520	770.1	898.92	3.415	2.0162	2.3411	1129.4	116.27	241.67
530	764.31	922.46	3.4598	2.0431	2.367	1112.8	115.28	233.75
540	758.54	946.26	3.5043	2.0695	2.3925	1096.7	114.37	226.37
550	752.8	970.31	3.5484	2.0955	2.4175	1081.1	113.54	219.48
560	747.1	994.61	3.5922	2.1211	2.442	1065.9	112.79	213.03
570	741.42	1019.1	3.6356	2.1463	2.4661	1051.1	112.12	206.99
580	735.77	1043.9	3.6787	2.1711	2.4897	1036.8	111.52	201.32
590	730.15	1068.9	3.7215	2.1955	2.5129	1022.9	111	196.01
600	724.57	1094.2	3.7639	2.2194	2.5355	1009.5	110.55	191.01
610	719.02	1119.7	3.806	2.243	2.5578	996.42	110.17	186.33
620	713.5	1145.3	3.8478	2.2662	2.5795	983.78	109.86	181.93
630	708.01	1171.2	3.8892	2.289	2.6008	971.54	109.61	177.79
640	702.57	1197.4	3.9303	2.3114	2.6217	959.69	109.42	173.91
650	697.16	1223.7	3.9711	2.3335	2.6421	948.22	109.3	170.26
660	691.79	1250.2	4.0116	2.3552	2.6621	937.12	109.24	166.84
670	686.45	1276.9	4.0518	2.3765	2.6817	926.39	109.23	163.63
680	681.16	1303.8	4.0917	2.3974	2.7009	916.02	109.29	160.62
690	675.91	1330.9	4.1313	2.418	2.7196	905.99	109.4	157.79
700	670.7	1358.2	4.1705	2.4383	2.738	896.3	109.56	155.15
p=100.0 MPa								
250	946.53	389.34	2.0056	1.2159	1.5639	1884.4	123.82	2199.4
260	939.86	405.09	2.0674	1.2423	1.5875	1847.9	137.62	1885.3
270	933.28	421.09	2.1277	1.27	1.6125	1812.6	146.54	1629.7
280	926.79	437.35	2.1869	1.2987	1.6388	1778.5	152.05	1420.2
290	920.37	453.87	2.2448	1.3282	1.6661	1745.6	155.15	1247.5
300	914.04	470.67	2.3018	1.3583	1.6942	1713.8	156.54	1104.1
310	907.77	487.76	2.3578	1.3889	1.723	1683.1	156.74	984.46
320	901.56	505.14	2.413	1.4198	1.7523	1653.3	156.09	883.94
330	895.41	522.81	2.4674	1.4511	1.7821	1624.6	154.85	799.03
340	889.32	540.78	2.521	1.4825	1.8121	1596.7	153.21	726.92
350	883.29	559.05	2.574	1.5141	1.8423	1569.8	151.3	665.32
360	877.3	577.62	2.6263	1.5456	1.8726	1543.6	149.22	612.43
370	871.36	596.5	2.678	1.5772	1.903	1518.3	147.04	566.76
380	865.47	615.68	2.7292	1.6086	1.9333	1493.8	144.82	527.12
390	859.62	635.17	2.7798	1.6399	1.9636	1470	142.6	492.54
400	853.81	654.96	2.8299	1.6711	1.9937	1446.9	140.41	462.2
410	848.04	675.04	2.8795	1.702	2.0236	1424.5	138.27	435.44
420	842.31	695.43	2.9286	1.7327	2.0534	1402.7	136.2	411.74
430	836.62	716.11	2.9773	1.7631	2.0828	1381.6	134.2	390.62

440	830.96	737.08	3.0255	1.7932	2.112	1361.1	132.29	371.72
450	825.34	758.35	3.0733	1.823	2.1409	1341.1	130.47	354.72
460	819.75	779.9	3.1206	1.8525	2.1694	1321.8	128.74	339.36
470	814.2	801.74	3.1676	1.8816	2.1976	1303	127.11	325.42
480	808.67	823.85	3.2141	1.9104	2.2254	1284.7	125.57	312.72
490	803.19	846.24	3.2603	1.9387	2.2528	1266.9	124.12	301.09
500	797.73	868.91	3.3061	1.9667	2.2798	1249.7	122.77	290.42
510	792.31	891.84	3.3515	1.9943	2.3064	1232.9	121.56	280.58
520	786.92	915.03	3.3965	2.0215	2.3326	1216.7	120.42	271.48
530	781.56	938.49	3.4412	2.0483	2.3583	1200.9	119.36	263.05
540	776.24	962.2	3.4855	2.0747	2.3836	1185.5	118.38	255.2
550	770.95	986.16	3.5295	2.1007	2.4084	1170.6	117.49	247.89
560	765.69	1010.4	3.5731	2.1263	2.4328	1156.1	116.69	241.06
570	760.47	1034.8	3.6164	2.1515	2.4568	1142.1	115.96	234.67
580	755.27	1059.5	3.6593	2.1762	2.4803	1128.4	115.31	228.68
590	750.12	1084.4	3.7019	2.2006	2.5034	1115.2	114.73	223.06
600	745	1109.6	3.7442	2.2245	2.526	1102.3	114.23	217.78
610	739.91	1134.9	3.7861	2.2481	2.5482	1089.9	113.8	212.81
620	734.86	1160.5	3.8277	2.2713	2.5699	1077.8	113.44	208.13
630	729.84	1186.3	3.869	2.2941	2.5912	1066.1	113.14	203.72
640	724.86	1212.3	3.91	2.3165	2.6121	1054.7	112.91	199.57
650	719.92	1238.6	3.9507	2.3385	2.6326	1043.7	112.75	195.65
660	715.02	1265	3.991	2.3601	2.6526	1033	112.64	191.96
670	710.15	1291.6	4.031	2.3814	2.6723	1022.7	112.59	188.48
680	705.32	1318.4	4.0708	2.4024	2.6916	1012.6	112.61	185.2
690	700.54	1345.5	4.1102	2.4229	2.7104	1002.9	112.68	182.1
700	695.79	1372.7	4.1493	2.4432	2.7289	993.55	112.81	179.18

Таблица Б.5. Теплофизические свойства м-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
230	0.0000052599	918.74	0.000292	272.2	711.5	1.964	3.8739	1.5299	0.9502	1605.1	140.11	134.98	6.116	1632.6	4.4148
235	0.0000088228	914.41	0.000479	279.88	716.29	1.997	3.8541	1.5411	0.96847	1581.9	141.5	137.37	6.3933	1486.7	4.5393
240	0.000014437	910.09	0.000768	287.62	721.18	2.0296	3.8361	1.5528	0.98687	1558.9	142.88	138.9	6.6766	1357.7	4.6638
245	0.000023082	905.78	0.001203	295.41	726.16	2.0617	3.8199	1.565	1.0054	1536.2	144.24	139.76	6.9659	1243.5	4.7883
250	0.000036112	901.48	0.001845	303.27	731.23	2.0934	3.8053	1.5778	1.024	1513.7	145.59	140.08	7.261	1142.1	4.9128
255	0.000055362	897.18	0.002773	311.19	736.4	2.1248	3.7923	1.5911	1.0427	1491.5	146.93	139.99	7.562	1051.9	5.0372
260	0.000083272	892.89	0.00409	319.18	741.65	2.1559	3.7808	1.6048	1.0614	1469.6	148.25	139.57	7.8688	971.47	5.1616
265	0.00012303	888.6	0.005929	327.24	747	2.1866	3.7706	1.6188	1.0803	1447.8	149.56	138.88	8.1816	899.66	5.2859
270	0.00017873	884.31	0.008455	335.37	752.45	2.2169	3.7617	1.6333	1.0992	1426.3	150.85	138	8.5002	835.38	5.4101
275	0.00025557	880.02	0.011872	343.57	757.98	2.2471	3.754	1.6481	1.1181	1405.1	152.13	136.96	8.8246	777.74	5.5342
280	0.00036003	875.73	0.016427	351.85	763.61	2.2769	3.7475	1.6632	1.1371	1384	153.39	135.8	9.155	725.93	5.6581
285	0.00050009	871.44	0.022421	360.2	769.33	2.3065	3.742	1.6786	1.1562	1363.2	154.64	134.54	9.4913	679.26	5.7819
290	0.00068545	867.14	0.030208	368.64	775.14	2.3358	3.7375	1.6943	1.1753	1342.6	155.87	133.21	9.8335	637.15	5.9056
295	0.00092778	862.84	0.040205	377.15	781.04	2.3649	3.734	1.7102	1.1944	1322.2	157.09	131.83	10.182	599.05	6.029
300	0.0012409	858.52	0.052896	385.74	787.03	2.3938	3.7314	1.7263	1.2135	1302	158.28	130.41	10.536	564.52	6.1523
305	0.0016412	854.2	0.068837	394.41	793.11	2.4224	3.7296	1.7427	1.2327	1282	159.46	128.97	10.896	533.14	6.2754
310	0.0021477	849.87	0.088664	403.17	799.28	2.4509	3.7287	1.7593	1.2519	1262.1	160.62	127.51	11.262	504.56	6.3982
315	0.0027821	845.53	0.11309	412.01	805.53	2.4792	3.7285	1.776	1.2712	1242.5	161.76	126.04	11.635	478.48	6.5209
320	0.0035696	841.17	0.14292	420.93	811.87	2.5073	3.729	1.793	1.2905	1223	162.87	124.57	12.014	454.61	6.6433
325	0.0045385	836.8	0.17905	429.94	818.3	2.5352	3.7302	1.8101	1.3098	1203.6	163.96	123.11	12.399	432.71	6.7654
330	0.0057209	832.41	0.22245	439.03	824.8	2.563	3.732	1.8273	1.3291	1184.4	165.02	121.66	12.79	412.57	6.8873
335	0.0071523	828	0.27422	448.21	831.39	2.5906	3.7344	1.8447	1.3485	1165.4	166.06	120.23	13.188	394	7.0089
340	0.0088723	823.57	0.33552	457.48	838.05	2.618	3.7374	1.8622	1.3679	1146.5	167.07	118.81	13.593	376.83	7.1303
345	0.010925	819.12	0.40764	466.84	844.8	2.6454	3.7409	1.8798	1.3874	1127.8	168.04	117.41	14.004	360.92	7.2514
350	0.013357	814.65	0.49195	476.28	851.62	2.6725	3.7449	1.8976	1.407	1109.1	168.98	116.02	14.422	346.13	7.3721
355	0.016222	810.15	0.58994	485.82	858.51	2.6996	3.7494	1.9154	1.4266	1090.6	169.89	114.66	14.847	332.34	7.4926
360	0.019574	805.63	0.70318	495.44	865.47	2.7265	3.7543	1.9334	1.4462	1072.2	170.76	113.31	15.28	319.46	7.6128

365	0.023477	801.07	0.83337	505.16	872.51	2.7533	3.7597	1.9515	1.4659	1053.9	171.59	111.99	15.719	307.39	7.7327
370	0.027993	796.49	0.9823	514.96	879.61	2.7799	3.7655	1.9697	1.4857	1035.8	172.38	110.69	16.166	296.05	7.8522
375	0.033193	791.88	1.1519	524.86	886.77	2.8065	3.7716	1.9879	1.5056	1017.7	173.13	109.41	16.621	285.37	7.9715
380	0.039151	787.23	1.3441	534.85	894	2.8329	3.7781	2.0063	1.5255	999.67	173.83	108.16	17.083	275.29	8.0904
385	0.045946	782.55	1.5611	544.93	901.3	2.8593	3.7849	2.0248	1.5456	981.75	174.49	106.93	17.553	265.73	8.2089
390	0.053658	777.83	1.8051	555.11	908.65	2.8855	3.792	2.0433	1.5657	963.92	175.09	105.72	18.031	256.67	8.3272
395	0.062377	773.07	2.0785	565.38	916.05	2.9116	3.7994	2.062	1.586	946.16	175.64	104.54	18.517	248.04	8.4451
400	0.072192	768.26	2.3837	575.74	923.51	2.9377	3.8071	2.0808	1.6063	928.46	176.14	103.38	19.012	239.81	8.5628
405	0.083198	763.42	2.7234	586.2	931.02	2.9636	3.815	2.0996	1.6268	910.83	176.58	102.25	19.515	231.95	8.6801
410	0.095496	758.52	3.1002	596.75	938.58	2.9895	3.8232	2.1186	1.6474	893.25	176.97	101.14	20.027	224.43	8.7971
415	0.10919	753.58	3.517	607.4	946.19	3.0152	3.8316	2.1377	1.6682	875.73	177.29	100.05	20.547	217.2	8.9139
420	0.12438	748.58	3.9769	618.15	953.85	3.0409	3.8402	2.1569	1.6891	858.24	177.55	98.986	21.077	210.26	9.0305
425	0.14118	743.53	4.483	628.99	961.54	3.0665	3.849	2.1763	1.7101	840.8	177.74	97.946	21.616	203.58	9.1469
430	0.15971	738.42	5.0386	639.93	969.28	3.0921	3.858	2.1958	1.7314	823.39	177.87	96.928	22.164	197.14	9.2631
435	0.18008	733.25	5.6472	650.97	977.05	3.1175	3.8671	2.2154	1.7528	806.01	177.93	95.934	22.721	190.93	9.3793
440	0.20241	728.02	6.3126	662.1	984.85	3.1429	3.8764	2.2353	1.7745	788.66	177.91	94.961	23.288	184.92	9.4955
445	0.22683	722.71	7.0387	673.34	992.69	3.1682	3.8859	2.2553	1.7964	771.32	177.82	94.012	23.864	179.11	9.6117
450	0.25346	717.34	7.8296	684.68	1000.6	3.1935	3.8954	2.2755	1.8185	753.99	177.65	93.084	24.45	173.48	9.7281
455	0.28244	711.88	8.6898	696.12	1008.4	3.2187	3.9051	2.2959	1.841	736.67	177.39	92.178	25.045	168.03	9.8448
460	0.31389	706.35	9.6239	707.67	1016.4	3.2438	3.9149	2.3166	1.8637	719.34	177.06	91.293	25.651	162.74	9.9619
465	0.34796	700.73	10.637	719.31	1024.3	3.2689	3.9248	2.3376	1.8868	702.02	176.63	90.43	26.266	157.62	10.08
470	0.38478	695.02	11.734	731.07	1032.2	3.2939	3.9347	2.3588	1.9103	684.68	176.12	89.588	26.891	152.65	10.198
475	0.42449	689.22	12.922	742.92	1040.2	3.3189	3.9447	2.3804	1.9342	667.32	175.51	88.767	27.525	147.82	10.317
480	0.46724	683.31	14.206	754.89	1048.2	3.3438	3.9548	2.4024	1.9586	649.93	174.81	87.966	28.169	143.14	10.438
485	0.51317	677.29	15.592	766.97	1056.1	3.3687	3.9649	2.4249	1.9836	632.52	174	87.186	28.823	138.6	10.56
490	0.56244	671.16	17.09	779.16	1064.1	3.3936	3.9751	2.4478	2.0091	615.06	173.08	86.427	29.485	134.2	10.683
495	0.6152	664.9	18.706	791.46	1072.1	3.4184	3.9853	2.4713	2.0354	597.56	172.06	85.687	30.157	129.93	10.809
500	0.67161	658.51	20.449	803.87	1080	3.4432	3.9955	2.4954	2.0625	580.01	170.92	84.967	30.838	125.79	10.936
505	0.73181	651.98	22.329	816.41	1088	3.468	4.0057	2.5203	2.0905	562.39	169.66	84.268	31.528	121.77	11.067
510	0.79599	645.29	24.357	829.07	1095.9	3.4927	4.0159	2.546	2.1196	544.7	168.27	83.588	32.226	117.88	11.2

515	0.8643	638.44	26.545	841.85	1103.8	3.5174	4.026	2.5726	2.1499	526.93	166.74	82.927	32.932	114.11	11.337
520	0.93692	631.41	28.907	854.76	1111.6	3.5421	4.0361	2.6004	2.1816	509.07	165.07	82.286	33.645	110.46	11.477
525	1.014	624.18	31.458	867.8	1119.4	3.5669	4.0462	2.6295	2.2151	491.09	163.26	81.664	34.366	106.93	11.622
530	1.0958	616.74	34.215	880.97	1127.2	3.5916	4.0562	2.66	2.2505	473	161.28	81.061	35.095	103.51	11.771
535	1.1824	609.07	37.2	894.3	1134.9	3.6164	4.0661	2.6925	2.2883	454.78	159.13	80.477	35.83	100.19	11.926
540	1.274	601.14	40.435	907.76	1142.5	3.6411	4.0759	2.727	2.3289	436.4	156.81	79.913	36.572	96.98	12.087
545	1.3709	592.93	43.948	921.39	1150.1	3.6659	4.0855	2.7643	2.3731	417.84	154.29	79.367	37.321	93.862	12.255
550	1.4732	584.4	47.773	935.18	1157.5	3.6908	4.095	2.8047	2.4216	399.08	151.55	78.839	38.077	90.831	12.43
555	1.5813	575.52	51.949	949.15	1164.8	3.7158	4.1043	2.8491	2.4754	380.1	148.6	78.331	38.841	87.878	12.613
560	1.6952	566.23	56.525	963.31	1171.9	3.7408	4.1133	2.8985	2.5361	360.84	145.39	77.841	39.616	84.99	12.806
565	1.8153	556.48	61.561	977.68	1178.9	3.766	4.1221	2.9544	2.6057	341.28	141.92	77.37	40.405	82.154	13.011
570	1.9418	546.19	67.134	992.28	1185.7	3.7913	4.1305	3.0189	2.687	321.34	138.15	76.918	41.211	79.35	13.228
575	2.075	535.27	73.345	1007.1	1192.1	3.8168	4.1386	3.0949	2.7844	300.98	134.05	76.488	42.045	76.556	13.462
580	2.2154	523.59	80.327	1022.3	1198.3	3.8426	4.1461	3.1872	2.9047	280.08	129.58	76.081	42.92	73.743	13.716
585	2.3632	510.97	88.267	1037.8	1204.1	3.8687	4.1529	3.3034	3.0585	258.54	124.71	75.703	43.861	70.871	13.998
590	2.5188	497.15	97.433	1053.7	1209.3	3.8952	4.159	3.4569	3.2651	236.19	119.36	75.365	44.908	67.885	14.321
595	2.683	481.73	108.24	1070.1	1213.8	3.9224	4.1639	3.6736	3.561	212.81	113.48	75.094	46.141	64.706	14.707
600	2.8562	464.04	121.4	1087.3	1217.3	3.9506	4.1672	4.0107	4.0266	188.08	106.98	74.951	47.72	61.206	15.201
605	3.0395	442.79	138.23	1105.6	1219.2	3.9803	4.168	4.6247	4.8781	161.48	99.74	75.108	50.027	57.146	15.908
610	3.2341	414.82	161.98	1125.9	1218.2	4.013	4.1642	6.148	6.965	132.15	91.647	76.107	54.29	51.965	17.127
615	3.4426	366.31	206.39	1152.5	1208.9	4.0554	4.1472	16.483	20.119	98.367	82.743	81.526	69.187	43.289	20.409



Таблица Б.6

## Поля неопределенности расчета плотности

$p$ , МПа	Температура, К														
	230	250	300	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	0,15	0,12	0,12	0,12	0,12	0,15	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,40
2,0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,40	0,35	0,30	0,30	0,30	0,30	0,40
3,0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,30	0,50	0,40	0,30	0,30	0,30	0,40
3,5	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,30	0,60	-	0,50	0,35	0,35	0,40
4,0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,30	0,80	1,0	0,50	0,35	0,35	0,40
5,0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,30	0,60	0,80	0,70	0,40	0,40	0,40
10,0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	0,60	0,50	0,40	0,40
50,0	-	0,20	0,18	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	0,25	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														
	230	250	300	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
2,0	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	1,0	1,0	0,7	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3
3,0	0,6	0,5	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	0,6	0,5	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	0,6	0,5	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	0,7	0,6	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	0,9	0,8	0,8	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	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	1,0	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														
	230	250	300	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	1,0	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6
2,0	1,0	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	1,0	1,5	0,7	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7
3,0	1,0	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	1,0	1,2	2,5	1,5	1,0	0,8	0,7	0,7
3,5	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	1,2	1,5	3,5	-	2,0	1,5	1,0	0,7
4,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,5	1,2	3,5	5,0	2,0	1,7	1,2	0,8
5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,5	3,0	2,0	1,5	1,0
10,0	1,2	1,2	1,2	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	-	1,5	1,2	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	1,5	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														
	230	250	300	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	2,0	1,5	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	2,0	1,5	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	2,0	1,5	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	2,0	1,5	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	2,0	1,5	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	2,0	1,6	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	2,0	1,6	1,6	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	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0
100,0	-	1,9	1,9	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														
	230	250	300	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	3,0	2,0	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	3,0	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	3,0	2,0	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	3,0	2,0	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	3,0	2,0	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	3,0	2,0	1,6	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	3,0	2,1	1,7	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	-	2,2	1,8	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	-	2,5	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0

Таблица Б.11  
Поля неопределенности расчета теплофизических свойств на линии  
равновесия «жидкость – газ»

$T$ , К	$\delta p_v$ , %	$\delta \rho_l$ , %	$\delta \rho_v$ , %	$\delta C_p'$ , %	$\delta C_p''$ , %	$\delta h'$ , %	$\delta s'$ , %	$\delta \Delta h_v$ , %	$\delta \lambda'$ , %	$\delta \lambda''$ , %	$\delta \eta'$ , %	$\delta \eta''$ , %
230	1,00	0,12	1,00	0,4	0,4	0,30	0,30	0,5	2,0	1,6	3,0	1,5
250	0,50	0,10	0,50	0,4	0,4	0,30	0,30	0,5	1,5	1,5	2,0	1,5
300	0,30	0,10	0,30	0,4	0,4	0,30	0,30	0,5	1,5	1,5	1,6	1,5
350	0,15	0,10	0,20	0,4	0,4	0,30	0,30	0,5	1,5	1,5	1,6	1,4
400	0,15	0,10	0,30	0,4	0,5	0,30	0,30	0,7	1,5	1,5	1,6	1,4
450	0,15	0,12	0,40	0,5	0,9	0,30	0,30	0,7	1,5	1,6	1,6	1,4
500	0,15	0,14	0,50	0,6	1,2	0,32	0,32	0,8	1,6	1,7	1,6	1,5
550	0,20	0,18	0,70	0,8	1,5	0,32	0,32	0,9	1,7	1,8	1,7	1,7
600	0,30	0,30	1,00	1,2	2,0	0,34	0,34	1,2	1,8	1,9	1,8	1,9
610	0,35	0,40	1,50	1,5	2,5	0,34	0,34	1,5	2,0	2,2	2,0	2,2
613	0,40	0,50	1,80	2,0	3,0	0,40	0,40	2,5	2,2	2,4	2,2	2,4
615	0,50	0,70	2,50	3,0	4,0	0,45	0,45	3,5	2,5	2,7	2,5	2,7