

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ**

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



УДК 547.216:536.7

**ТАБЛИЦЫ СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ**

**ЭТИЛБЕНЗОЛ. 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 302 – 2014**

**(ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ РЕДАКЦИЯ, тема RU.3.065-2014)**

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**

Этилбензол. 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  
302-2014**

**Tables of Standard Reference Data**

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

**GSSSD  
302-2014**

---

## ДЕПОНИРОВАННАЯ РУКОПИСЬ

УДК 547.216:536.7

Таблицы стандартных справочных данных ГСССД 302 – 2014. Этилбензол. Теплофизические свойства (плотность, теплоемкость, энтальпия, энтропия, скорость звука, коэффициенты теплопроводности и вязкости) в диапазоне температуры от тройной точки до 700 К при давлениях до 100 МПа/ Григорьев Б. А., Герасимов А. А., Александров И. С. Григорьев Е. Б., Сафронов Г. А., Российский научно-исследовательский центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия (ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ») ” – М., 2014, - 63 с.: Ил. – Библиогр. назв. – Рус. – назв. Депонированы во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» **31.10.2013 г., № 882– 2014 кк.**

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

## Содержание

1. Термодинамические свойства	5
2. Коэффициенты переноса	9
3. Список литературы	11
4. Приложение А. Методика разработки уравнения состояния	17
5. Приложение Б. Б.1. Анализ результатов и оценка точности табличных значений ТДС	22
Таблица Б.1 Результаты сравнения данных о термодинамических свойствах этилбензола с рассчитанными по фундаментальному уравнению состояния значениями	27
Таблица Б.2 Анализ результатов и оценка точности табличных значений свойств переноса	28
Таблица Б.3 Результаты сравнения экспериментальных данных о теплопроводности этилбензола с рассчитанными по уравнению (17) значениями	30
Таблица Б.4. Теплофизические свойства этилбензола в однофазной области	33
Таблица Б.5. Теплофизические свойства этилбензола на линии насыщения	51
Таблица Б.6 Поля неопределенности расчета плотности	54
Таблица Б.7 Теплофизические свойства этилбензола в однофазной области	54
Таблица Б.8 Поля неопределенности расчета скорости распространения звука	55
Таблица Б.9 Поля неопределенности расчета коэффициента теплопроводности	55
Таблица Б.10 Поля неопределенности расчета коэффициента динамической вязкости	56
Таблица Б.11 Поля неопределенности расчета теплофизических свойств на линии равновесия «жидкость – газ»	57

## 1. Термодинамические свойства

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

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

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

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

где  $\delta = \rho/\rho_c$ ;  $\tau = T_c/T$ ;  $\rho_c$ ,  $T_c$  – параметры приведения, в качестве которых приняты критические значения. В частности для этилбензола:  $\rho_c = 2,73152$  кмоль/м<sup>3</sup>,  $T_c = 617,10$  К.

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

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

Безразмерная идеально-газовая часть свободной энергии Гельмгольца определяется по соотношению

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

где  $\delta_0 = \rho_0/\rho_c$ ;  $\tau_0 = T_c/T_0$ ;  $T_0, p_0$  – вспомогательная опорная точка ( $T_0 = 298,15$  К;  $p_0 = 101325$  Па);  $\rho_0$  – плотность идеального газа при температуре  $T_0$  и давлении  $p_0$ ;  $h_0^0, s_0^0$  – соответственно энтальпия и энтропия в идеально-газовом состоянии при температуре  $T_0$ .

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

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

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

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

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

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

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

$i$	$c_i$	$\alpha_i$
-3	-	-0,9118194
-2	$-0,1630185 \cdot 10^6$	$0,8276215 \cdot 10^1$
-1	$0,3754169 \cdot 10^4$	$-0,4562 \cdot 10^2$
0	$-0,2903322 \cdot 10^2$	$-0,2033458 \cdot 10^2$
1	0,1478529	$0,3079505 \cdot 10^2$
2	$-0,1303983 \cdot 10^{-3}$	0,2140405
3	$0,4656113 \cdot 10^{-7}$	$-0,3003322 \cdot 10^2$
4	-	$-0,6083567 \cdot 10^1$

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

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

плотность

$$\frac{P}{\rho R T} = 1 + \delta \alpha_\delta^r, \quad (6)$$

Таблица 2. Коэффициенты и показатели степени ФУС (2) этилбензола

$i$	$n_i$	$t_i$	$d_i$	$p_i$
1	$0,16363301 \cdot 10^1$	1,500	1	0
2	$0,10349132 \cdot 10^1$	0,249	1	0
3	$-0,34745235 \cdot 10^1$	1,250	1	0
4	$0,11694548 \cdot 10^0$	0,251	3	0
5	$0,34448462 \cdot 10^{-3}$	0,873	7	0
6	$-0,26257682 \cdot 10^0$	1,375	2	0
7	$-0,66719533 \cdot 10^{-2}$	0,603	1	1
8	$-0,11355477 \cdot 10^0$	2,291	1	1
9	$0,45438848 \cdot 10^0$	1,995	2	1
10	$-0,11625503 \cdot 10^{-1}$	2,123	5	1
11	$-0,46955846 \cdot 10^0$	3,400	1	2
12	$0,11830893 \cdot 10^{-1}$	5,781	1	2
13	$-0,12044053 \cdot 10^0$	4,765	4	2
14	$-0,13384532 \cdot 10^{-1}$	15,657	2	3

энтальпия

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

энтропия

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

изохорная теплоемкость

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

изобарная теплоемкость

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

скорость звука

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

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



За термодинамическое начало отсчета при составлении таблиц термодинамических свойств этилбензола 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] ( $h_0 = 378,98$  кДж·кг<sup>-1</sup>,  $s_0 = 2,4047$  кДж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>).

Таблицы термодинамических свойств этилбензола рассчитаны по ФУС (1) в диапазоне температуры от тройной точки ( $T_t = 178,19$  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  $p_* = 625,3$  МПа;  $c = 2,112$ . Значения коэффициентов уравнения (12) определены по обобщенным зависимостям, полученным в [5] и носят оценочный характер.

Величина неопределенности расчетных значений термодинамических свойств оценена в результате сравнения с наиболее надежными экспериментальными данными. Представленные в табл. 3 оценки даны для жидкой фазы  $\mathcal{J}$  ( $T < T_c$ ,  $\rho > 1,3\rho_c$ ), для газовой фазы  $\Gamma$  ( $T < T_c$ ,  $\rho < 0,7\rho_c$ ), для сверхкритического флюида  $\Phi$  ( $T > T_c$ , исключая критическую область  $K$ :  $T_s \leq T \leq 1,05T_c$ ,  $0,7\rho_c \leq \rho \leq 1,3\rho_c$ ). 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 этилбензола

Свойство	Неопределенность, % в области			
	$\mathcal{J}$	$\Gamma$	$\Phi$	$K$
$p_v$	-	0,1 – 0,15	-	0,5
$\rho_l$	0,1 – 0,15	-	-	до 1,0
$\rho_v$	-	0,5 – 1,5	-	до 3,0
$p, \rho, T$	0,10 – 0,20	0,3 – 0,8	0,5 – 0,8	-
$C_p$	0,4 – 0,6	0,6 – 1,0	0,5 – 1,0	-
$C_v$	1,5 – 2,0	1,5 – 2,5	1,0 – 1,3	-
$W$	0,5 – 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  $\eta(\rho, T)$  использовалась форма уравнения, предложенная Леммоном и Якобсеном [6], 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  $T^* = k_B T / \varepsilon$ ;  $k_B$  – постоянная Больцмана.

Избыточная вязкость аппроксимирована уравнением

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

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

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

$a_0$	$a_1$	$a_2$	$\sigma$ (нм)	$\varepsilon/k_B$ (К)
0,23537163	-0,50641503	0,15482800	0,6139	454,1

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	$0,847987468073 \cdot 10^2$	3,7633	1	0
2	$0,968033387835 \cdot 10^2$	0,9405	2	0
3	$-0,184857682696 \cdot 10^3$	0,0068	2	1
4	$-0,179040982166 \cdot 10^3$	2,5142	4	1
5	$0,114425950218 \cdot 10^0$	3,2027	9	1
6	$0,284050052033 \cdot 10^{-1}$	9,1300	13	2
7	$-0,702250094974 \cdot 10^2$	4,4030	1	2
8	$-0,918427329404 \cdot 10^{-2}$	8,0921	15	2

Средняя вероятная ошибка определения коэффициента динамической вязкости по уравнению (13) составляет 2,5 %. Уравнение (13) не учитывает критическую аномалию вязкости, которая не исследована для этилбензола.

Для описания теплопроводности  $\lambda(\rho, T)$  использовалась форма уравнения, предложенная Леммоном и Якобсеном [6], которая имеет вид

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

где  $\lambda^0(T)$  – теплопроводность разреженного газа при нулевой плотности;  $\lambda^r(\delta, \tau)$  – избыточная теплопроводность;  $\delta = \rho/\rho_r$ ;  $t = T_r/T$ ;  $\rho_r$ ,  $T_r$  – опорные значения плотности и температуры (принимаются критические значения:  $T_c = 617,10$  К;  $\rho_c = 2,73152$  кмоль/м<sup>3</sup>).

Теплопроводность разреженного газа, в свою очередь, определяется как

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

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

Избыточная теплопроводность аппроксимирована уравнением

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

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

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

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

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

$i$	$N_i$	$t_i$	$d_i$	$l_i$
1	$0,1114799 \cdot 10^2$	-	-	-
2	$-0,3922716 \cdot 10^3$	-2,6368	-	-
3	$0,4252944 \cdot 10^3$	-2,6181	-	-
4	$-0,85169984 \cdot 10^0$	0,1115	4	-
5	$0,11300126 \cdot 10^0$	0,1411	3	-
6	$-0,88527149 \cdot 10^0$	0,5058	5	1
7	$-0,61933089 \cdot 10^0$	6,4619	7	2
8	$0,26584223 \cdot 10^0$	6,0623	8	2
9	$0,18807430 \cdot 10^0$	7,8459	3	2

Более подробные сведения о результатах сравнения расчетных данных со всеми имеющимися экспериментальными данными о теплопроводности и вязкости этилбензола, 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. Scott R.B. Thermodynamic Properties of Solid and Liquid Ethylbenzene From 0 to 300 K / R.B. Scott, F.G. Brickwedde // J. Res. Natl. Bur. Stand. (U. S.). – 1945. – V. 35. – P. 501-512.
5. Александров И.С. Фундаментальные уравнения состояния углеводородов нефти / Дис. ... канд. техн. наук // Москва, 2012. – 319 с.
6. 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.
7. Ахундов Т. С.-А. Исследование теплофизических свойств углеводородов ароматического ряда: дисс. ... докт. техн. наук. – Баку, 1974. – 520 с.

8. Султанов Ч.И. Экспериментальное исследование изобарной теплоемкости пяти ароматических углеводородов в интервале температур 25 – 400 °С и давлений до 250 бар: дисс. ... канд. техн. наук. – Баку, 1976. – 273 с.
9. Hales J.L. Liquid densities from 293 to 490 K of nine aromatic hydrocarbons. / J.L. Hales, R. Townsend // J. Chem. Thermodyn. – 1972. – V.4, N.5. – P. 763-772.
10. Chirico R.D. Thermodynamic Equilibria in Xylene Isomerization. 4. The thermodynamic Properties of Ethylbenzene / R.D. Chirico, S.E. Knipmeyer, A.Nguyen, W.V. Steele // J. Chem. Eng. Data. – 1997. – V. 42. – P. 772-783.
11. Chylinski K. Liquid-phase PVT data of alkylbenzenes / K. Chylinski, J. Gregorowicz. // Fluid Phase Equilib. – 1991. – V. 64. – P. 237-249.
12. 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. – V. 25. – P. 57-62.
13. Naziev Y.M. The (p,  $\rho$ , T) of (methanol + benzene) and (methanol + ethylbenzene) / Y.M. Naziev, A.N. Shahverdiyev, V.H. Hasanov // J. Chem. Thermodyn. – 2005. – V. 37, No.12. – P. 1268-1275.
14. Hossenlopp I.A. Vapor Heat Capacities and Enthalpies of Vaporization of Four Aromatic and/or Cycloalkane Hydrocarbons / I.A. Hossenlopp, D.W. Scott // J. Chem. Thermodyn. – 1981. – V.13. – P. 423-428.
15. Scott R.B. Thermodynamic Properties of Solid and Liquid Ethylbenzene From 0 to 300 K / R.B. Scott, F.G. Brickwedde // J. Res. Natl. Bur. Stand. (U. S.). – 1945. – V. 35. – P. 501-512.
16. Willingham C.B. Vapor Pressures and Boiling Points of Some Paraffin, Alkylcyclopentane, Alkylcyclohexane and Alkylbenzene Hydrocarbons / C.B. Willingham, W.J. Taylor, J.M. Pignocco, F.D. Rossini // J. Res. Natl. Bur. Stand. (U. S.). – 1945. V. 35. – P. 219.
17. Buck F.R. Some Nuclear-methylated Styrenes and Related Compounds / F.R. Buck, K.F. Coles, G.T. Kennedy, F. Morton // J. Chem. Soc. – 1949. V.45. – P. 2377-2383.
18. 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. – V. 43. – P. 555.
19. Osborn A.G. Vapor Pressure of 17 Miscellaneous Organic Compounds / A.G. Osborn, D.W. Scott // J. Chem. Thermodyn. – 1980. – V. 12. – P. 429.
20. Chianese A. Isobaric vapor-liquid equilibria of the ethylbenzene-p-xylene system / A. Chianese, L. Marrelli // J. Chem. Eng. Data. – 1985. – V. 30. P. 424.
21. Ambrose D. Vapor Pressures of Some Aromatic Hydrocarbons / D. Ambrose // J. Chem. Thermodyn. – 1987. – V. 19. – P. 1007.
22. 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. – V. 50. – P. 1134-1138.
23. Aucejo A. Isobaric Vapor-Liquid Equilibria for the Binary Mixtures of Styrene with Ethylbenzene, o-Xylene, m-Xylene, and p-Xylene / A. Aucejo, S. Loras, V. Martinez-Soria, et. al. // J. Chem. Eng. Data. – 2006. – V. 51. – P. 1051-1055.

24. Perkin W.H. LXIX. On Magnetic Rotatory Power, especially of Aromatic Compounds / W.H. Perkin // J. Chem. Soc. – 1896. – V.69. – P. 1025-1257.
25. Massart L. Methods and apparatus in use at the bureau of physical-chemical scales: ix experimental research on the variation of density as a function of the temperature for a series of ten hydrocarbons / L. Massart // Bull. Soc. Chim. Belg. – 1936. – V. 45. – P. 76.
26. Panchenkov G.M. Temperature Variation of the Coordination Number and Diffusion Coefficient in a Liquid / G.M. Panchenkov, V.V. Erchenkov // Russ. J. Phys. Chem. (Engl. Transl.). – 1962. – V. 36. – P. 455-457.
27. Francesconi R. Excess enthalpies of binary mixtures containing 1,3-dioxolane and cyclic compounds / R. Francesconi, F. Comelli // Thermochim. Acta. – 1991. – V. 179. – P. 149-155.
28. Determination of the Density/temperature Relationship of Various Industrial Chemicals. Report H&D Fitzgerald Ltd. to E. Yates, Chemical Cargo Inspection Assoc., Brussels Belgium, 1992.
29. Gonzalez-Olmos R. Influence of Temperature on Thermodynamic Properties of Methyl t-Butyl Ether (MTBE)+Gasoline Additives / R. Gonzalez-Olmos, M. Iglesias, J.M. Goenaga, J.M. Resa // Int. J. Thermophys. – 2007. – V. 28, No. 4. – P. 1199-1227.
30. Ye W. Densities and volumetric properties of N-methyl-2-pyrrolidone with aromatic hydrocarbon at different temperature / W. Ye, R. Shen, W. Liu, J. Chen // J. Chem. Thermodyn. – 2007. – V. 39, No. 2. – P. 115-122.
31. Song C.-Y. Densities and Viscosities of Binary Mixtures of Vitamin K3 with Benzene, Toluene, Ethylbenzene, o-Xylene, m-Xylene, and p-Xylene from (303.15 to 333.15) K / C.-Y. Song, H.-Z. Shen, J.-H. Zhao et. al. // J. Chem. Eng. Data. – 2008. – V. 53, No. 5. – P. 1110-1115.
32. Guthrie G. B. Thermal Data. XVIII. The Heat Capacity, Heat of Fusion, Entropy and Free Energy of Ethylbenzene. / G.B. Guthrie, R.W. Spitzer, H.M. Huffman // J. Am. Chem. Soc. – 1944. – V. 66. – P. 2120.
33. Андоленко Р.А. Исследование изобарной теплоемкости ароматических углеводородов при атмосферном давлении / Р.А. Андоленко, Б.А. Григорьев // Изв. ВУЗов. Нефть и газ. – 1979. – № 11. – С. 78, 90.
34. 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.
35. Resa J. M. Influence of temperature on excess molar volumes for butyl acetate+ aromatic hydrocarbons / J.M. Resa, C. Gonzalez, R.G. Concha, M. Iglesias // Phys. Chem. Liq. – 2004. – V.42, No.5. – P. 493-520.
36. 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.
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, No. 1. – P. 185-199.

38. Корабельников А.В. Расчет некоторых термодинамических свойств этилбензола и бромбензола по акустическим измерениям / А.В. Корабельников // Ультразвук и физико-химические свойства веществ: ученые записки. – Вып. 5, Т. 91. – Курск: Изд-во МСС СКМП, 1971. – С. 144.
39. Ахундов Р.Т. Динамическая вязкость алкилбензолов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Баку, 1992. – 24 с.
40. 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.
41. Thorpe, T. E. On the Relations between the Viscosity (Internal Friction) of Liquids and their Chemical Nature. Part II / T. E. Thorpe, J. W. Rodger, R. E. Barnett // Philos. Trans. R. Soc. London, A. – 1897. Vol. 189. P. 71-107.
42. Schmidt, A. W. Preparation and Physical Data for Monoalkyl Benzenes / A. W. Schmidt, G. Hopp, V. Schoeller // Ber. Dtsch. Chem. Ges. – 1939. – Vol. B, № 72. – P. 1893-1897.
43. Singh, R. P. Viscosity and Density of Ternary Mixtures for Toluene, Ethylbenzene, Bromobenzene, and 1-Hexanol / R. P. Singh, C. P. Sinha, J. C. Das et. al. // J. Chem. Eng. Data. – 1989. – Vol. 34. – P. 335
44. Krahn, U. G. Viscosity of Several Liquid Hydrocarbons in the Temperature Range 298-453 K at Pressures up to 200 MPa / U. G. Krahn, G. Luft // J. Chem. Eng. Data. – 1994. – Vol. 39. – P. 670 - 672.
45. Katyal, R. C. Viscosities, Densities, and Ultrasonic Velocities of 3-Pentanone + Ethylbenzene and 3-Pentanone + o-Xylene at (293.15, 303.15, and 313.15) K / R. C. Katyal, S. Singh, V. K. Rattan et. al. // J. Chem. Eng. Data. – 2003. – Vol. 48, № 5. – P. 1262-1265.
46. Yang, C. Excess Molar Volumes and Viscosities of Binary Mixtures of Sulfolane with Benzene, Toluene, Ethylbenzene, p-Xylene, o-Xylene, and m-Xylene at 303.15 and 323.15 K and Atmospheric Pressure / C. Yang, P. Ma, Q. Zhou // J. Chem. Eng. Data. – 2004. – Vol. 49. – P. 881-885.
47. Yang, C. Densities and Viscosities of Binary Mixtures of Ethylbenzene + N-Methyl-2-pyrrolidone, Ethylbenzene + Sulfolane, and Styrene + Octane from (303.15 to 353.15) K and Atmospheric Pressure / C. Yang, W. Yu, P. Ma // J. Chem. Eng. Data. – 2005. – Vol. 50. – P. 1197-1203.
48. Batschinski, A. J. Investigations of the internal friction of fluids / A. J. Batschinski // Zeit. phys. Chem. – 1913. – Vol. 84. – P. 643-706.
49. Panchenkov, G. M. Temperature Variation of the Coordination Number and Diffusion Coefficient in a Liquid / G. M. Panchenkov, V. V. Erchenkov // Russ. J. Phys. Chem. (Engl. Transl.). – 1962. – Vol. 36. – P. 455-457.
50. Song, C.-Y. Densities and Viscosities of Binary Mixtures of Vitamin K3 with Benzene, Toluene, Ethylbenzene, o-Xylene, m-Xylene, and p-Xylene from (303.15 to 333.15) K / C.-Y. Song, H.-Z. Shen, J.-H. Zhao et. al. // J. Chem. Eng. Data. – 2008. – Vol. 53, №5. – P. 1110-1115.
51. Wankhede, D. S. Densities and viscosities of propylene carbonate with aromatic hydrocarbons (benzene, 1,4-dimethylbenzene and ethylbenzene) at 288.15, 298.15 and 308.15 K / D. S. Wankhede, N. Wankhede, M. Lande et. al. // Phys. Chem. Liq. – 2008. – Vol. 46, №3. – P. 319-327.

52. Lark, B. S. Viscosity of Some Binary Mixtures of Arenes / B. S. Lark, M. Mehra, S. L. Oswal et. al. // *Int. J. Thermophys.* – 2003. – Vol. 24, № 6. – P. 1475-1494.
53. Rathnam, M. V. Viscosity, Density, and Refractive Index of Some (Ester + Hydrocarbon) Binary Mixtures at 303.15 K and 313.15 K / M. V. Rathnam, S. Mohite, M. S. S. Kumar // *J. Chem. Eng. Data.* – 2005. – Vol. 50. – P. 325-329.
54. Al-Kandary, J. A. Densities, Viscosities, and Refractive Indices of Binary Mixtures of Anisole with Benzene, Methylbenzene, Ethylbenzene, Propylbenzene, and Butylbenzene at (293.15 and 303.15) K / J. A. Al-Kandary, A. S. Aljimaz, A.-H. Abdul-Latif // *J. Chem. Eng. Data.* – 2006. – Vol. 51, № 1. – P. 99-103.
55. Мустафаев Р.А. Теплофизические свойства углеводородов при высоких параметрах состояния. – М.: Изд-во «Энергия», 1980. – 296 с.
56. Пугач В.В. Исследование теплопроводности воды и некоторых органических жидкостей при высоких давлениях: Дис. ... канд. техн. наук. – Грозный, 1971. – 162 с.
57. Варгафтик Н.Б. Теплопроводность жидкостей и газов / Н.Б. Варгафтик, Л.П. Филипов, А.А. Тарзиманов, Е.Е. Тоцкий. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 472 с.
58. 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.
59. 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.
60. Спирин Г.Г. Исследование теплопроводности переохлажденных жидкостей / Г.Г. Спирин // *Инженерно-физический журнал.* – 1978. – Т.35, № 3. – С.445-459.
61. 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.
62. Пласкунова С.Л. Вязкость жидкого этилбензола / С.Л. Пласкунова, И.М. Сафарова, Б.П. Серебряков // *Азербайджанский химический журнал.* – 1986. – № 4. – С. 96-99.



## 4. ПРИЛОЖЕНИЕ А

### 4.1 Методика разработки уравнения состояния.

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

тролирование 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 этилбензола была применена модификация метода случайного поиска с возвратом при неудачном шаге. Алгоритм модифицирован введением элементов детерминированного поиска на шаге корректировки величины шага поиска и выбора направления.

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

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

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

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

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

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

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

Ограничения не влияют на критерий оптимальности до тех пор, пока параметры находятся в области допустимых значений. Стоит изменить параметр таким

образом, что он пересечет границу, движение по траектории минимизации немедленно прекращается. Эта процедура продолжается вплоть до возвращения параметров в область допустимых значений. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке А1.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

числением 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

Комплексное экспериментальное исследование теплофизических свойств *о-м-п*-ксилолов и этилбензола 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 [7] и Султанова [8]. Исследование  $p, \nu, T$ -зависимости в [7] 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 [7] также измерено давление насыщенной газовой фазы  $p_v$  в диапазоне температуры 498 –  $T_c$ . В работе Султанова [8] 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.

Комплексные исследования термодинамических свойств этилбензола на линии насыщения выполнены в работах Чирико с соавторами [10].

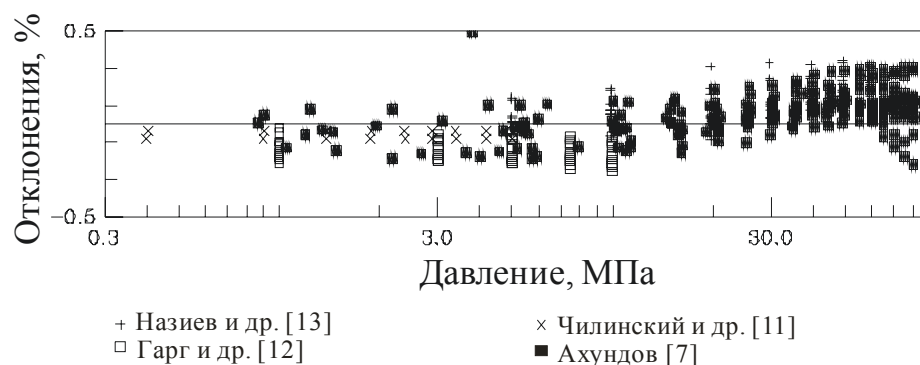


Рис. Б.1. Отклонения экспериментальных данных о плотности жидкой фазы этилбензола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния.

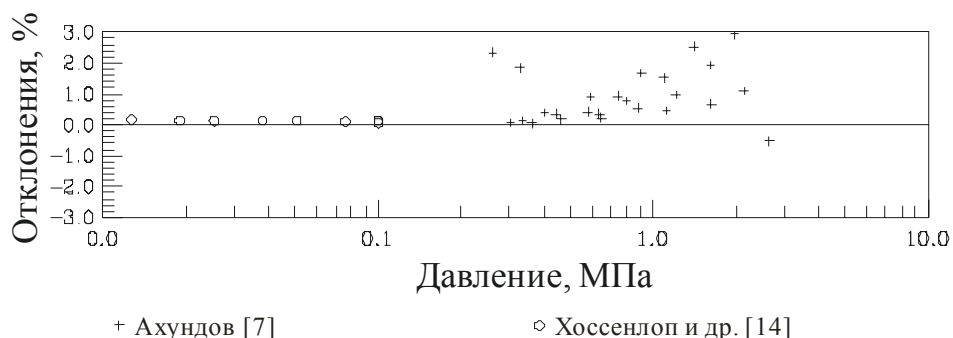


Рис. Б.2. Отклонения экспериментальных данных о плотности газовой фазы этилбензола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния.

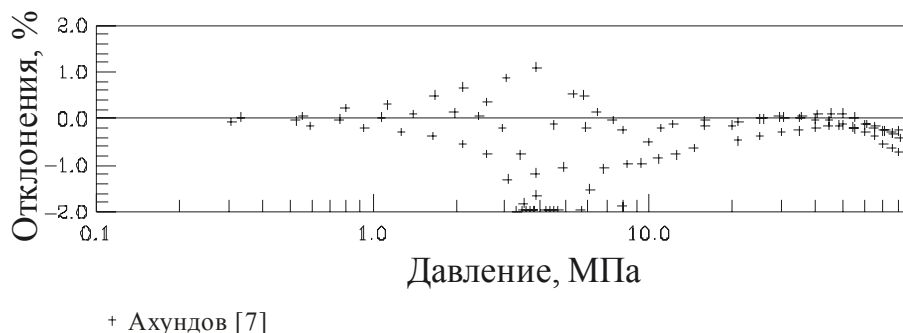


Рис. Б.3. Отклонения экспериментальных данных о плотности в сверхкритической области этилбензола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния.

Теплоемкость конденсированной фазы  $C_s$  измерена рядом авторов [10,15,36,37] в низкотемпературной области в адиабатическом калориметре до температур 300 – 350 К с погрешностью 0,1 – 0,2 % (в работе Хуфмана [36] величина погрешности составляла 1,0%), а при более высоких температурах до 550 К, в работе Чирико с соавторами [10] применялся дифференциальный сканирующий калориметр (ДСК) с погрешностью  $\sim 1\%$ . Также методом ДСК в [10] определена плотность жидкой  $\rho_l$  и газовой  $\rho_v$  фазы на линии насыщения вблизи критической точки. Однако эти данные, как следует из представленных в статьях рисунков, не относятся к прецизионным и носят оценочный характер. В [10] сравнительным эбулиометрическим методом измерена упругость насыщенных паров этилбензола

в диапазоне 310 – 460 К. В качестве опорных веществ применялись вода и н-декан. Как видно из таблицы Б.1, данные [10] о  $p_v$  описываются с отклонениями 0,1 – 0,2 %, а теплоемкость  $C_s$  – с отклонениями 0,2 – 0,8 %.

Как видно из таблицы Б.1 и рисунков, данные Ахундова [7] в жидкой фазе описываются со средними отклонениями 0,05 – 0,15 %. Некоторый рост отклонений сверх 0,1 % наблюдается только вблизи линии насыщения, что и приводит к увеличению средней оценки. В газовой фазе отклонения существенно больше, но и здесь сказывается достаточно большого количество 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 отклонения по величине давления находятся в диапазоне 0,1 – 0,3 %.

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 [21]. Среднее относительное отклонение не превышает 0,44% . Данные Ахундова [7] описываются со средними относительными отклонениями 0,1 – 0,2 %. Низкотемпературная область вблизи тройной точки не исследована.

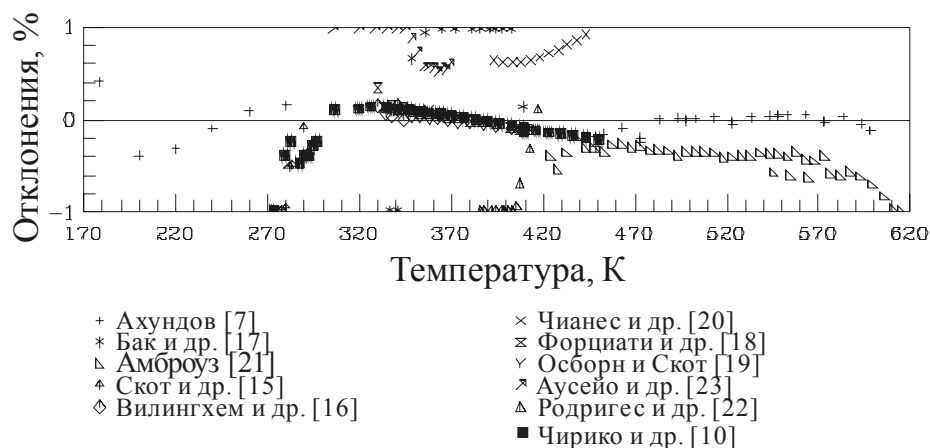


Рис. Б.4. Отклонения экспериментальных данных о давлении насыщенных паров этилбензола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния.

Видно, что отклонения, как правило, не превышают 1,0 % и они существенно меньше, чем для имеющихся экспериментальных данных в диапазоне 293 – 350 К. В диапазоне температуры 320 – 450 К данные Виллингхема с соавторами [16], Форциати с соавторами [18] и Чирико с соавторами [10] передаются со средними отклонениями 0,1 – 0,5 %.

Плотность жидкой фазы на линии насыщения достаточно подробно исследована в диапазоне температуры от тройной точки до 400 К. В этом диапазоне наиболее надежные данные передаются со средними погрешностями, не превы-



шающими 0,1 %. Данные Ахундова [7] описываются со средними отклонениями 0,15 – 0,25 %.

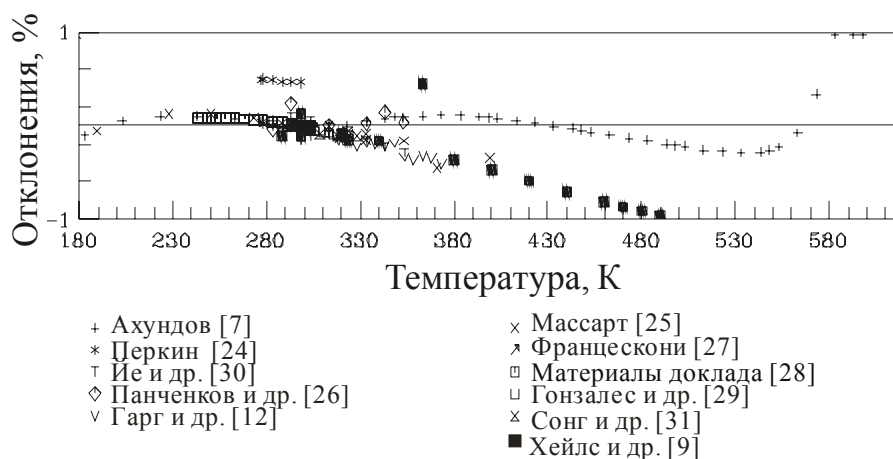


Рис. Б.5. Отклонения экспериментальных данных о плотности насыщенной жидкой фазы этилбензола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния .

Широкодиапазонные данные о плотности насыщенной газовой фазы получены только в работе Ахундова [7]. 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 этилбензола, принятых в работе Ахундова [7] и в настоящей работе. Следует учитывать также ограниченные возможности ФУС в критической области.

Изобарная теплоемкость, подробно исследованная в работе Султанова [8], в жидкой фазе описывается с отклонениями, в среднем не превышающими 0,8 %. В газовой фазе отклонения несколько больше, но как уже отмечалось, только из-за достаточно большого количества экспериментальных данных вблизи пограничной кривой при повышенных давлениях. В сверхкритической области отклонения, как правило, не превышают 2,5 %. Среди других представительных исследований изобарной теплоемкости следует выделить работу Гарга с соавторами [12], в которой представлены результаты измерения в жидкой фазе. Величина среднего относительного отклонения данных [12] находится в диапазоне 0,5 – 1,0%.

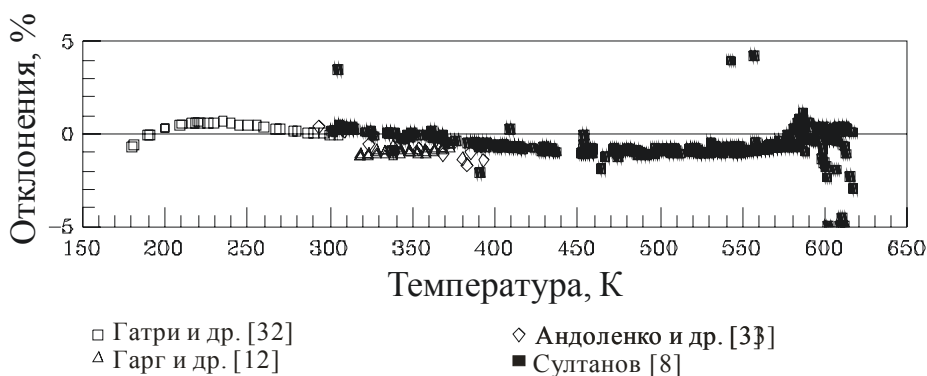


Рис. Б.6. Отклонения экспериментальных данных о изобарной теплоемкости жидкой фазы этилбензола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния.

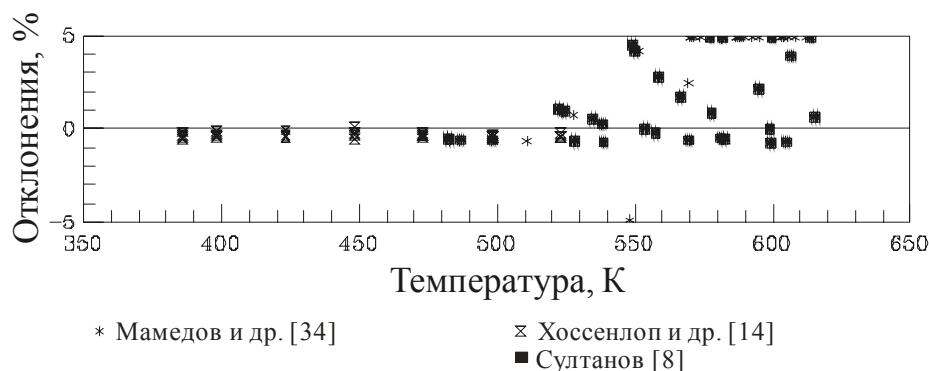


Рис. Б.7. Отклонения экспериментальных данных о изобарной теплоемкости газовой фазы этилбензола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния.

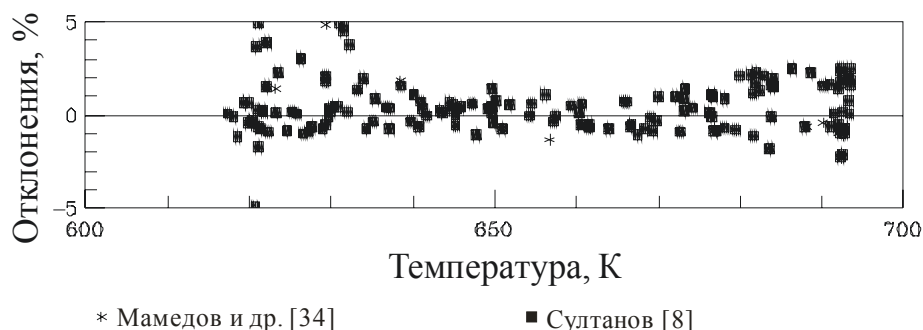


Рис. Б.8. Отклонения экспериментальных данных о изобарной теплоемкости в сверхкритической области этилбензола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния.

Теплоемкость  $c_p$  в жидкой фазе описывается с отклонениями, близкими к погрешности экспериментального исследования. Как видно из таблицы Б.1 величина среднего относительного отклонения для большинства авторов находится в диапазоне 0,2 – 0,8 %.

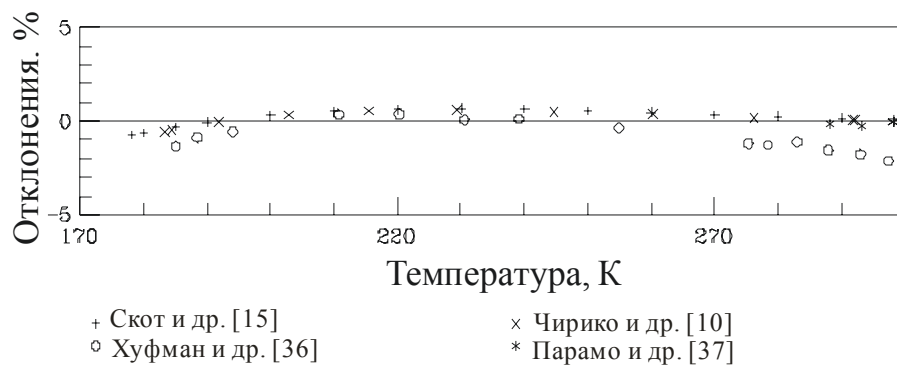


Рис. Б.9. Отклонения экспериментальных данных о теплоемкости насыщенной жидкой фазы этилбензола от рассчитанных по фундаментальному уравнению состояния.

Скорость звука исследована в жидкой фазе на линии насыщения. В работе Корабельникова [38] получены данные в диапазоне температуры 193 – 633 К, среднее относительное отклонение составляет 0,32%. В работах [35, 29] исследования выполнены при комнатных температурах, отклонения находятся в диапазоне 0,5 – 1,0 %.

Как было сказано выше, при определении коэффициентов ФУС включалась система ограничений, обеспечивающих «физическую» форму поверхности состояния и улучшающих экстраполяционные возможности уравнения. В частности, контролировался ход идеальных кривых, вид которых показан на рисунке Б.10.

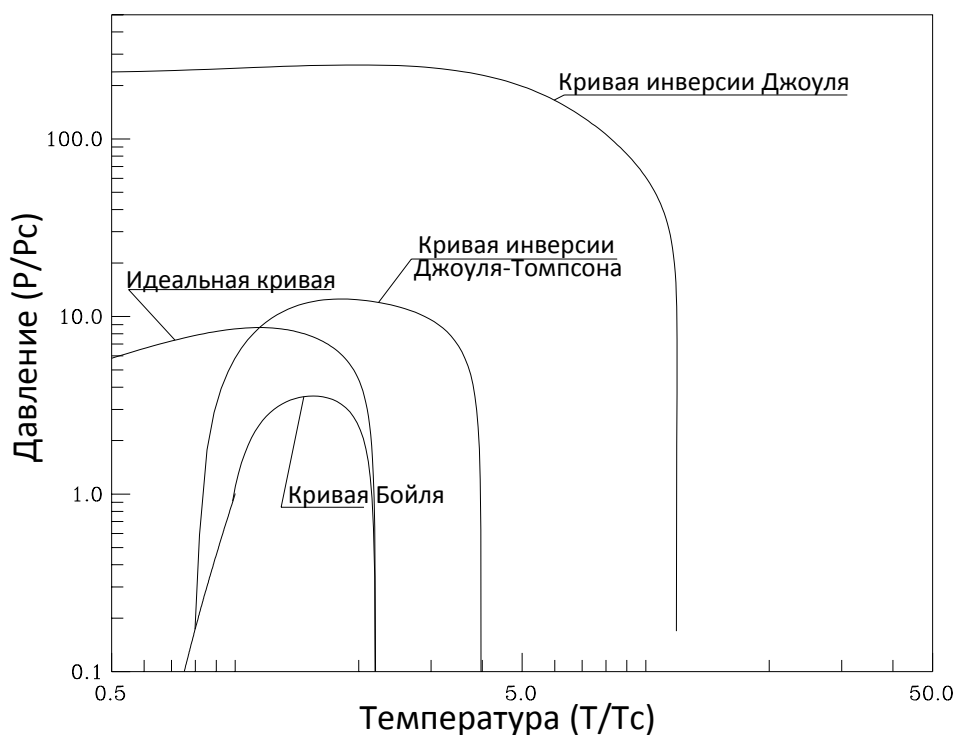


Рис. Б10. Идеальные кривые для этилбензола, рассчитанные по ФУС.

Таблица Б.1

Результаты сравнения данных о термодинамических свойствах этилбензола с рассчитанными по фундаментальному уравнению состояния значениями

Год	Авторы, источник	Точ-Ки	Интервал по температуре и давлению		Отклонения, %	
			$T$ , К	$p$ , МПа	СОО	СКО
$p, V, T$ – данные						
1974	Ахундов [7]:	349				
	Ж	225	298-598	0.4-80	0.107	0.134
	Г	25	346-598	0.01-2.5	0.972	1.294
	Ф	89	623-673	0.4-80	0.669	1.093
	К	10	623-673	3.8-7.4	1.312	1.492
1981	Хоссенлоп [14] (Г)	9	346-437	0.01-0.1	0.06	0.069
1991	Чилинский [11] (Ж)	18	318-333	0.4-5.03	0.061	0.07
1993	Гарг и др. [12] (Ж)	60	318-373	1-10	0.150	0.167
2005	Назиев и др. [13] (Ж)	62	292-490	5-58.9	0.144	0.168
Давление насыщенных паров						
1945	Скот и др. [15]	16	273-297		0.655	0.812
1945	Вилингхем [16]	20	330-410		0.064	0.084
1949	Бак и др. [17]	13	336-409		1.395	1.540
1949	Форциати [18]	20	330-410		0.095	0.112
1974	Ахундов [7]	32	183-603		0.122	0.190
1980	Осборн [19] (Г)	21	339-450		0.094	0.108
1985	Чианес и др. [20]	11	393-443		0.695	0.703
1987	Амброуз [21]	42	424-615		0.439	0.467
1997	Чирико и др. [10]	23	306-450		0.098	0.109
2005	Родригес [22]	12	386-417		1.377	1.596
2006	Аусейо [23]	15	305-369		1.152	1.496
Плотность насыщенной жидкой фазы						
1896	Перкин [24]	12	277-298		0.124	0.161
1936	Массарт [25]	12	178-399		0.078	0.103
1962	Панченков и др. [26]	6	283-353		0.041	0.054
1972	Хейлс и др. [9]	14	293-490		0.228	0.287
1974	Ахундов [7]	45	183-603		0.166	0.254
1974	Ахундов [7] (К)		603-613		3.609	3.88
1991	Францескони [27]	10	292-305		0.012	0.013
1992	Мат. доклада [28]	47	243-303		0.018	0.019
1993	Гарг и др. [12]	12	318-373		0.125	0.139
1997	Чирико и др. [10] (К)	3	609-617		2.95	3.175
2007	Гонзалес и др. [29]	15	288-323		0.042	0.047
2007	Йе и др. [30]	7	293-353		0.067	0.081

2008	Сонг и др. [31]	7	303-333		0.035	0.041
<b>Плотность насыщенной газовой фазы</b>						
1974	Ахундов [7]	45	178-603		1.113	1.674
1974	Ахундов [7] (К)		603-613		3.439	3.67
1997	Чирико и др. [10] (К)	5	607-617		9.838	11.79

Окончание табл. Б.1

Год	Авторы, источник	Точ- ки	Интервал по температуре и давлению		Отклонения, %	
			$T$ , К	$p$ , МПа	СОО	СКО
Изобарная теплоемкость $C_p$						
1976	Султанов [8]:	483				
	Ж	224	314-608	0.1-25	0.831	1.136
	Г	30	483-614	0.5-3.0	1.802	2.435
	Ф	158	618-692	0.5-25	1.09	1.47
	К	71	624-680	4 - 7.5	2.405	2.935
1944	Гатри и др. [32]	29	180-305	0.101	0.375	0.472
1979	Андоленко и др. [33]	10	293-393	0.101	0.914	1.002
1981	Хоссенлоп [14] (Г)	28	386-523	0.01-0.2	0.354	0.438
1993	Гарг и др. [12]	36	318-373	0.1-10	0.897	0.901
Теплоемкость по линии насыщения $C_s$						
1930	Хуфман и др. [36]	16	185-305		1.102	1.280
1945	Скот и др. [15]	44	178-300		0.428	0.484
1997	Чирико и др. [10]	18	183-412		0.366	0.415
2003	Парамо и др. [37]	14	288-348		0.121	0.131
Скорость звука						
1971	Корабельников [38]	44	193-633		0.319	0.409
2004	Реза и др. [35]	6	293-313		0.835	0.894
2007	Гонзалес и др. [29]	15	288-323		0.753	0.818

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

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

### Б.2.1. Вязкость

Результаты сравнения экспериментальных данных о вязкости этилбензола с расчетными значениями по уравнению (13) представлены в таблице Б.2 и на рисунке Б.11. Как было сказано выше, основу массива обрабатываемых данных составили данные Ахундова Т. С.-А. [7], которые описываются со средней относительной погрешностью 0,99 %, а также широкодиапазонные данные Ахундова Р.Т. [39], для которых средняя относительная погрешность составила 4,97 %. Увеличение погрешности, в основном связано со значительными отклонениями нескольких экспериментальных точек вблизи линии насыщения и в сверхкритической области. Экспериментальные данные Крана [44], полученные в диапазонах давлений и температур 0,1-195 МПа и 298-453 К, описываются со средней погрешностью 2,73 %. Кроме

вышеописанных широкодиапазонных данных, измерения остальных авторов в основном выполнены либо при атмосферном давлении либо по линии насыщения и охватывают узкий интервал температур. Средняя относительная погрешность описания таких данных составляет в среднем 1,5 – 2,5 %.

Таблица Б.2

Результаты сравнения экспериментальных данных о вязкости этилбензола с рассчитанными по уравнению (13) значениями

Год	Первый автор, Источник	Число точек	Диапазон параметров			Отклонения, %	
			$T$ , К	$P$ , МПа	$\rho$ , моль/л	САО	СКО
1894	Торп [40]	24	273-404	0,1	7,21-8,33	1,818	2,589
1897	Торп [41]	11	273-405	0,1	7,21-8,33	1,683	1,942
1913	Бачинский [48]	14	273-403	насыщ.	насыщ.	1,451	1,606
1939	Шмидт [42]	7	292-342	0,1	7,75-8,14	14,39	14,41
1962	Панченков [49]	6	283-353	насыщ.	насыщ.	1,150	1,260
1974	Ахундов [7]	131	302-548	0,1-40	5,78-8,34	0,989	1,291
1986	Пласкунова [62]	11	223-353	насыщ.	насыщ.	3,883	5,167
1989	Сингх [43]	5	298-333	0,1	7,83-8,13	2,046	2,082
1992	Ахундов [39]	111	409-673	0,1-39,4	0,1-7,17	4,975	7,65
1994	Кран [44]	16	298-453	0,1-195	7,41-8,95	2,733	3,923
2003	Ларк [52]	2	298-303	0,1	8,08-8,12	2,670	2,725
2003	Катиал [45]	3	293-313	0,1	8,0-8,17	2,866	2,940
2004	Янг [46]	3	298-323	0,1	7,92-8,13	2,030	2,075
2005	Янг [47]	6	303-353	0,1	7,67-8,08	1,221	1,550
2005	Ратнам [53]	2	303-313	0,1	8,0-8,08	2,418	2,419
2006	Аль-Кандари [54]	2	293-303	0,1	0,08-8,16	2,169	2,169
2008	Сонг [50]	7	308-333	насыщ.	насыщ.	1,711	1,931
2008	Ванкхед [51]	3	288-308	насыщ.	насыщ.	1,973	2,228
	По расчету	19	340-700	разреж.	разреж.	0,408	0,420

Кроме экспериментальных данных о вязкости плотного флюида, к обработке привлекались расчетные данные о вязкости разреженного газа, полученные из данных в газовой фазе [39]. Эти данные были необходимы для определения коэффициентов приведенного эффективного интеграла столкновений. В результате совместной обработки этих данных с экспериментальными данными различных авторов в широком диапазоне температур и давлений, средняя относительная погрешность описания вязкости разреженного газа составила 0,408 %.

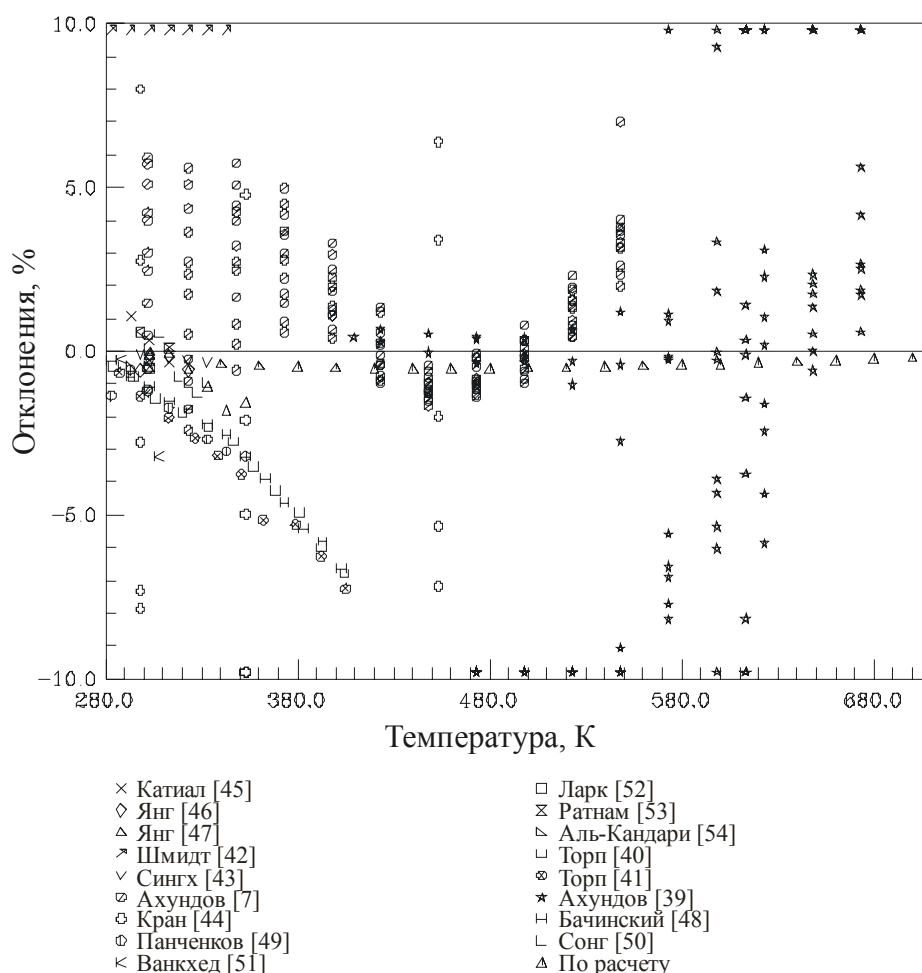


Рисунок Б.11. Сравнение значений вязкости этилбензола, рассчитанных по уравнению (13), с экспериментальными данными различных авторов.

### Б.2.2. Теплопроводность

Широкодиапазонные измерения коэффициента теплопроводности этилбензола выполнены Ахундовым [7] и Мустафаевым [55]. В работе [7] эксперимент проводился стационарным методом нагретой проволоки. Погрешность данных по оценке автора [7] не превышает 1,5%. В работе Мустафаева [55] использовался метод монотонного разогрева. Погрешность данных оценивается величиной  $\pm 2,0\%$ . В жидкой фазе при повышенных давлениях измерения теплопроводности выполнены в работе Богатова [34], методом нагретой проволоки с погрешностью  $\pm 1,5\%$  и в работе Пугача [56] – методом коаксиальных цилиндров с погрешностью  $\pm 1,5\%$ . Следует также отметить справочно-аналитическое издание Варгафтика с соавторами [57], 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 [57].

Таблица Б.3

Результаты сравнения экспериментальных данных о теплопроводности этилбензола 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 [56]	54	300-450	40-150	7,7-8,35	0,538	0,677
1974	Ахундов [7]	113	304-680	0,1-30	0,02-8,2	0,977	1,315
1978	Варгафтик [57]	183	180-680	0,1-30	0,02-8,2	0,915	1,201
1978	Спирин [60]	15	293-473	насыщ.	насыщ.	5,086	5,515
1980	Мустафаев [55]	139	306-672	0,1-100	6,7-8,0	2,716	3,654
1982	Кашиваги [59]	5	298-358	насыщ.	насыщ.	0,611	0,634
1992	Богатов [34]	50	302-473	0.1-59	6,5-8,1	0,813	0,968
2002	Тарзиманов [61]	7	293-593	насыщ.	насыщ.	5,072	6,779
2002	Тарзиманов [61]	14	293-593	10-30	5,4-8,2	3,154	3,641
2004	Ватанабе [58]	15	258-330	0,1	7,8-8,3	0,676	0,841

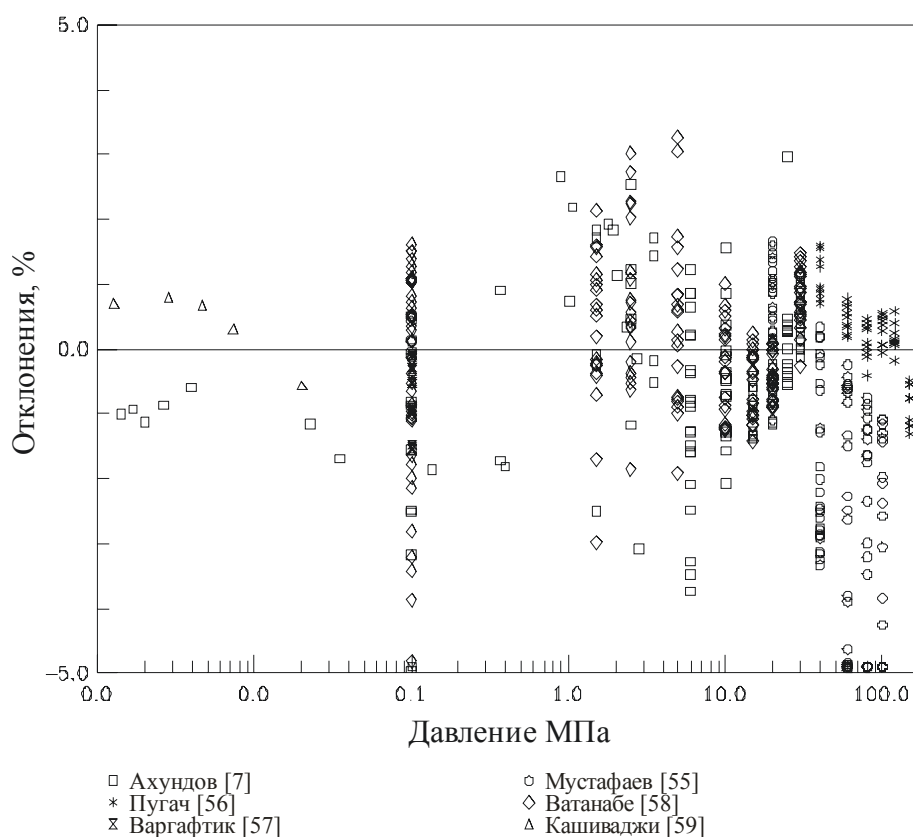


Рисунок Б.12. Сравнение значений теплопроводности этилбензола, рассчитанных по уравнению (17), с экспериментальными данными различных авторов.

Как видно из табл. Б.3, представительные массивы данных [7,34,56,57] характеризуются величиной СОО, не превышающей 1,0% и величиной СКО, не превышающей 1,5%. Только широкодиапазонные данные Мустафаева [55] имеют несколько большие отклонения, особенно при давлениях, превышающих 50 МПа,



но и точность эксперимента в этой работе существенно ниже. Данные Тарзиманова с соавторами [61] систематически занижены. При этом величина отклонений возрастает с увеличением температуры. Авторы [61] объясняют это тем, что их данные не искажены радиационным теплопереносом в отличие от данных других авторов. Однако погрешность определения теплопроводности методом импульсного нагрева в [61] оценивается величиной 2,0%. При такой точности сложно выявить достаточно тонкий эффект радиационного переноса при измерении коэффициента теплопроводности. Поэтому вывод авторов [61] требует дополнительного независимого подтверждения.

Таблица Б.4. Теплофизические свойства этилбензола в однофазной области

T	$\rho$	h	s	Cv	Ср	w	$\lambda$	$\eta$
K	кг/м <sup>3</sup>	кДж/кг	кДж/кг*К	кДж/кг*К	кДж/кг*К	м/с	мВт/м*К	мкПа*с
p=0.1 МПа								
180	967.53	191.38	1.6086	1.059	1.489	1875.5	152.72	25485
190	958.16	206.28	1.6892	1.0686	1.4921	1821.2	154.14	14836
200	948.96	221.24	1.7659	1.0829	1.5009	1767.9	153.93	8931
210	939.88	236.31	1.8394	1.101	1.5144	1715.7	152.65	5588.2
220	930.92	251.54	1.9103	1.1224	1.5319	1664.7	150.68	3655.6
230	922.05	266.96	1.9788	1.1464	1.5526	1614.9	148.26	2512.8
240	913.25	282.6	2.0454	1.1725	1.5762	1566.4	145.58	1819.4
250	904.51	298.49	2.1102	1.2005	1.6021	1519.2	142.74	1385.7
260	895.81	314.65	2.1736	1.2299	1.63	1473.2	139.83	1104.6
270	887.14	331.1	2.2357	1.2604	1.6596	1428.3	136.89	914.68
280	878.48	347.84	2.2966	1.292	1.6906	1384.5	133.96	780.38
290	869.81	364.91	2.3565	1.3243	1.7227	1341.7	131.06	680.89
300	861.14	382.3	2.4154	1.3572	1.756	1299.9	128.21	603.85
310	852.43	400.03	2.4736	1.3905	1.79	1259	125.41	541.83
320	843.69	418.11	2.5309	1.4242	1.8248	1218.8	122.68	490.31
330	834.9	436.53	2.5876	1.458	1.8602	1179.4	120.04	446.44
340	826.03	455.31	2.6437	1.492	1.896	1140.7	117.47	408.41
350	817.09	474.45	2.6992	1.526	1.9324	1102.6	114.95	375
360	808.06	493.96	2.7541	1.56	1.9691	1065	112.51	345.38
370	798.91	513.83	2.8086	1.5938	2.0061	1027.9	110.13	318.95
380	789.64	534.08	2.8626	1.6275	2.0435	991.15	107.81	295.23
390	780.23	554.71	2.9161	1.6611	2.0812	954.8	105.56	273.86
400	770.65	575.71	2.9693	1.6944	2.1192	918.73	103.36	254.54
410	3.2549	932.5	3.8426	1.6004	1.7018	176.45	19.909	8.518
420	3.1638	949.64	3.8839	1.6293	1.727	179.17	20.82	8.8438
430	3.0792	967.05	3.9249	1.6602	1.7551	181.77	21.757	9.1467
440	2.9999	984.75	3.9656	1.692	1.7848	184.29	22.72	9.4312
450	2.9254	1002.8	4.006	1.7242	1.8154	186.74	23.708	9.7008
460	2.855	1021.1	4.0463	1.7564	1.8464	189.12	24.723	9.9581
470	2.7884	1039.7	4.0863	1.7885	1.8774	191.45	25.764	10.205
480	2.7251	1058.6	4.1262	1.8203	1.9083	193.73	26.831	10.444
490	2.6649	1077.8	4.1658	1.8517	1.9389	195.97	27.924	10.676
500	2.6076	1097.4	4.2053	1.8827	1.9692	198.16	29.043	10.902
510	2.5529	1117.2	4.2446	1.9132	1.9991	200.32	30.189	11.122
520	2.5006	1137.4	4.2837	1.9431	2.0285	202.45	31.362	11.339
530	2.4505	1157.8	4.3226	1.9726	2.0575	204.54	32.562	11.552
540	2.4026	1178.5	4.3613	2.0015	2.086	206.6	33.788	11.761
550	2.3566	1199.5	4.3999	2.0298	2.114	208.64	35.042	11.967
560	2.3124	1220.8	4.4382	2.0577	2.1414	210.65	36.324	12.171
570	2.2699	1242.3	4.4764	2.085	2.1684	212.63	37.633	12.373

580	2.229	1264.2	4.5143	2.1117	2.1949	214.59	38.969	12.572
590	2.1897	1286.2	4.552	2.138	2.2209	216.53	40.334	12.77
600	2.1517	1308.6	4.5896	2.1637	2.2464	218.44	41.726	12.965
610	2.1151	1331.2	4.6269	2.189	2.2714	220.33	43.147	13.159
620	2.0798	1354	4.6641	2.2137	2.2959	222.21	44.596	13.352
630	2.0457	1377.1	4.701	2.238	2.32	224.06	46.073	13.543
640	2.0127	1400.4	4.7377	2.2617	2.3436	225.9	47.579	13.732
650	1.9808	1423.9	4.7742	2.2851	2.3667	227.71	49.114	13.92
660	1.95	1447.7	4.8105	2.3079	2.3894	229.51	50.678	14.107
670	1.9201	1471.7	4.8466	2.3304	2.4117	231.3	52.271	14.292
680	1.8911	1496	4.8825	2.3524	2.4336	233.06	53.893	14.476
690	1.863	1520.4	4.9182	2.374	2.4551	234.82	55.545	14.659
700	1.8358	1545.1	4.9537	2.3952	2.4761	236.55	57.226	14.841
p=0.5 MIIa								
180	967.69	191.72	1.6082	1.059	1.489	1877.3	152.85	25433
190	958.33	206.62	1.6887	1.0686	1.4921	1823.1	154.27	14807
200	949.13	221.58	1.7655	1.0829	1.5009	1769.8	154.05	8915.3
210	940.07	236.65	1.839	1.1011	1.5144	1717.6	152.76	5580.2
220	931.12	251.88	1.9099	1.1224	1.5318	1666.6	150.79	3652
230	922.26	267.3	1.9784	1.1464	1.5525	1616.9	148.37	2511.7
240	913.47	282.94	2.045	1.1726	1.576	1568.5	145.69	1819.7
250	904.74	298.83	2.1098	1.2005	1.6019	1521.3	142.86	1386.9
260	896.06	314.98	2.1732	1.2299	1.6298	1475.3	139.94	1106.2
270	887.4	331.43	2.2352	1.2605	1.6593	1430.5	137.01	916.39
280	878.75	348.17	2.2961	1.292	1.6903	1386.8	134.08	782.13
290	870.1	365.24	2.356	1.3243	1.7225	1344.1	131.18	682.59
300	861.44	382.63	2.415	1.3572	1.7556	1302.3	128.34	605.47
310	852.76	400.35	2.4731	1.3905	1.7896	1261.5	125.55	543.36
320	844.04	418.42	2.5304	1.4242	1.8244	1221.4	122.82	491.74
330	835.26	436.84	2.5871	1.458	1.8597	1182.1	120.19	447.77
340	826.42	455.62	2.6432	1.492	1.8955	1143.5	117.62	409.64
350	817.51	474.75	2.6986	1.526	1.9318	1105.5	115.11	376.15
360	808.5	494.25	2.7536	1.5599	1.9684	1068	112.67	346.46
370	799.39	514.12	2.808	1.5938	2.0054	1031	110.3	319.96
380	790.15	534.36	2.862	1.6275	2.0426	994.45	107.99	296.18
390	780.77	554.98	2.9155	1.661	2.0802	958.25	105.75	274.77
400	771.24	575.97	2.9687	1.6943	2.1181	922.36	103.56	255.41
410	761.52	597.34	3.0214	1.7273	2.1563	886.7	101.43	237.85
420	751.6	619.09	3.0739	1.7601	2.1949	851.21	99.358	221.87
430	741.45	641.24	3.126	1.7926	2.2339	815.83	97.337	207.28
440	731.03	663.77	3.1778	1.8247	2.2736	780.48	95.366	193.89
450	720.31	686.71	3.2293	1.8566	2.3139	745.08	93.442	181.57
460	709.25	710.06	3.2806	1.8881	2.3552	709.54	91.562	170.17
470	697.8	733.82	3.3317	1.9194	2.3976	673.76	89.722	159.56
480	685.88	758.01	3.3827	1.9504	2.4417	637.62	87.92	149.64
490	14.858	1064.1	4.019	1.8991	2.0495	176.76	28.217	10.902

500	14.398	1084.7	4.0606	1.9207	2.0613	180.44	29.289	11.184
510	13.979	1105.3	4.1015	1.9445	2.0776	183.89	30.398	11.446
520	13.593	1126.2	4.1421	1.9695	2.0967	187.15	31.541	11.69
530	13.236	1147.3	4.1822	1.9953	2.1176	190.25	32.716	11.921
540	12.903	1168.6	4.222	2.0213	2.1396	193.22	33.923	12.141
550	12.592	1190.1	4.2614	2.0474	2.1623	196.08	35.161	12.352
560	12.299	1211.8	4.3006	2.0733	2.1854	198.83	36.428	12.556
570	12.023	1233.8	4.3395	2.0991	2.2086	201.5	37.725	12.754
580	11.762	1256	4.3781	2.1246	2.2318	204.08	39.051	12.947
590	11.515	1278.4	4.4165	2.1498	2.255	206.6	40.407	13.136
600	11.279	1301.1	4.4546	2.1745	2.278	209.04	41.792	13.321
610	11.056	1324	4.4924	2.199	2.3008	211.43	43.206	13.504
620	10.842	1347.1	4.53	2.223	2.3234	213.77	44.649	13.684
630	10.638	1370.5	4.5673	2.2466	2.3457	216.05	46.122	13.863
640	10.443	1394	4.6045	2.2698	2.3677	218.29	47.623	14.039
650	10.255	1417.8	4.6413	2.2925	2.3894	220.48	49.154	14.214
660	10.076	1441.8	4.678	2.3149	2.4108	222.63	50.715	14.388
670	9.9031	1466	4.7144	2.3369	2.4319	224.75	52.304	14.561
680	9.7371	1490.4	4.7506	2.3586	2.4527	226.83	53.924	14.733
690	9.5772	1515.1	4.7865	2.3798	2.4731	228.87	55.573	14.904
700	9.4232	1539.9	4.8223	2.4007	2.4933	230.88	57.251	15.073
p=1.0 MIIa								
180	967.89	192.14	1.6077	1.0591	1.489	1879.6	153.02	25368
190	958.54	207.04	1.6882	1.0687	1.4921	1825.4	154.42	14771
200	949.35	222	1.765	1.083	1.5008	1772.1	154.19	8895.9
210	940.3	237.08	1.8385	1.1011	1.5143	1720	152.9	5570.3
220	931.36	252.3	1.9093	1.1225	1.5317	1669.1	150.93	3647.6
230	922.52	267.72	1.9779	1.1465	1.5524	1619.4	148.51	2510.5
240	913.74	283.36	2.0444	1.1726	1.5759	1571	145.83	1820.3
250	905.03	299.25	2.1093	1.2006	1.6017	1523.9	143	1388.4
260	896.36	315.4	2.1726	1.2299	1.6296	1478	140.09	1108.1
270	887.72	331.84	2.2347	1.2605	1.6591	1433.2	137.15	918.57
280	879.09	348.59	2.2956	1.2921	1.69	1389.6	134.23	784.33
290	870.46	365.65	2.3554	1.3244	1.7221	1347	131.34	684.74
300	861.82	383.03	2.4144	1.3572	1.7552	1305.3	128.5	607.52
310	853.16	400.75	2.4725	1.3906	1.7892	1264.6	125.72	545.29
320	844.46	418.82	2.5298	1.4242	1.8238	1224.6	123	493.53
330	835.72	437.23	2.5865	1.458	1.8591	1185.5	120.37	449.44
340	826.91	456	2.6425	1.492	1.8948	1147	117.8	411.2
350	818.02	475.13	2.698	1.526	1.931	1109.1	115.3	377.6
360	809.05	494.62	2.7529	1.5599	1.9675	1071.8	112.87	347.82
370	799.98	514.48	2.8073	1.5938	2.0044	1034.9	110.51	321.23
380	790.78	534.71	2.8612	1.6274	2.0415	998.54	108.21	297.38
390	781.45	555.31	2.9147	1.6609	2.079	962.53	105.98	275.9
400	771.97	576.29	2.9679	1.6942	2.1167	926.84	103.8	256.49
410	762.31	597.65	3.0206	1.7272	2.1547	891.41	101.69	238.89

420	752.45	619.39	3.073	1.7599	2.1931	856.17	99.626	222.88
430	742.38	641.51	3.125	1.7924	2.2318	821.07	97.62	208.26
440	732.04	664.03	3.1768	1.8245	2.2711	786.03	95.664	194.86
450	721.43	686.94	3.2283	1.8563	2.311	750.98	93.757	182.52
460	710.48	710.25	3.2795	1.8878	2.3518	715.84	91.895	171.11
470	699.16	733.98	3.3305	1.919	2.3936	680.52	90.076	160.51
480	687.4	758.13	3.3814	1.9499	2.4369	644.89	88.297	150.6
490	675.13	782.72	3.4321	1.9806	2.482	608.84	86.555	141.28
500	662.25	807.78	3.4827	2.011	2.5297	572.2	84.846	132.47
510	648.63	833.33	3.5333	2.0413	2.581	534.75	83.167	124.08
520	634.12	859.41	3.584	2.0716	2.6375	496.2	81.514	116.02
530	30.124	1130.8	4.1042	2.0443	2.2681	167.27	33.581	12.342
540	28.974	1153.4	4.1465	2.0607	2.2623	172.36	34.635	12.555
550	27.96	1176	4.188	2.0798	2.2649	176.99	35.757	12.755
560	27.053	1198.7	4.2289	2.1006	2.273	181.26	36.934	12.944
570	26.231	1221.5	4.2692	2.1225	2.2848	185.24	38.158	13.126
580	25.481	1244.4	4.3091	2.145	2.2989	188.98	39.426	13.302
590	24.79	1267.5	4.3485	2.1678	2.3148	192.51	40.733	13.472
600	24.15	1290.7	4.3876	2.1907	2.3317	195.88	42.078	13.639
610	23.554	1314.1	4.4262	2.2135	2.3495	199.09	43.458	13.802
620	22.997	1337.7	4.4646	2.2362	2.3678	202.18	44.872	13.964
630	22.474	1361.5	4.5026	2.2586	2.3864	205.14	46.32	14.124
640	21.982	1385.5	4.5404	2.2808	2.4052	208.01	47.801	14.282
650	21.517	1409.6	4.5778	2.3028	2.4241	210.78	49.313	14.44
660	21.076	1433.9	4.6149	2.3244	2.443	213.46	50.858	14.596
670	20.658	1458.5	4.6518	2.3457	2.4619	216.07	52.433	14.753
680	20.26	1483.2	4.6884	2.3668	2.4807	218.6	54.04	14.909
690	19.88	1508.1	4.7248	2.3875	2.4994	221.07	55.678	15.064
700	19.518	1533.2	4.7609	2.4078	2.5179	223.48	57.347	15.22
p=1.5 MIIa								
180	968.09	192.57	1.6072	1.0591	1.489	1881.9	153.19	25304
190	958.75	207.47	1.6877	1.0687	1.4921	1827.7	154.58	14735
200	949.57	222.43	1.7645	1.083	1.5008	1774.5	154.34	8876.7
210	940.53	237.5	1.838	1.1012	1.5142	1722.4	153.04	5560.5
220	931.61	252.73	1.9088	1.1226	1.5316	1671.5	151.06	3643.3
230	922.77	268.14	1.9774	1.1465	1.5523	1621.9	148.65	2509.3
240	914.02	283.78	2.0439	1.1727	1.5757	1573.6	145.97	1820.9
250	905.32	299.67	2.1087	1.2006	1.6015	1526.5	143.14	1389.9
260	896.66	315.82	2.1721	1.23	1.6293	1480.7	140.23	1110.1
270	888.04	332.26	2.2341	1.2606	1.6588	1436	137.3	920.77
280	879.43	349	2.295	1.2921	1.6897	1392.4	134.38	786.57
290	870.82	366.06	2.3549	1.3244	1.7218	1349.9	131.49	686.92
300	862.2	383.44	2.4138	1.3573	1.7548	1308.3	128.66	609.59
310	853.56	401.16	2.4719	1.3906	1.7887	1267.7	125.88	547.23
320	844.89	419.21	2.5292	1.4242	1.8233	1227.8	123.17	495.35
330	836.17	437.62	2.5859	1.4581	1.8585	1188.8	120.54	451.13

340	827.39	456.39	2.6419	1.492	1.8942	1150.4	117.99	412.77
350	818.54	475.51	2.6973	1.526	1.9303	1112.7	115.5	379.06
360	809.6	494.99	2.7522	1.5599	1.9667	1075.5	113.08	349.18
370	800.56	514.84	2.8066	1.5937	2.0035	1038.8	110.72	322.51
380	791.41	535.06	2.8605	1.6274	2.0405	1002.6	108.43	298.59
390	782.12	555.65	2.914	1.6609	2.0778	966.77	106.21	277.05
400	772.69	576.62	2.9671	1.6941	2.1153	931.28	104.04	257.59
410	763.09	597.96	3.0198	1.7271	2.1531	896.07	101.94	239.94
420	753.3	619.68	3.0721	1.7598	2.1913	861.08	99.892	223.89
430	743.29	641.79	3.1241	1.7922	2.2298	826.25	97.899	209.24
440	733.04	664.28	3.1758	1.8243	2.2687	791.51	95.958	195.82
450	722.52	687.17	3.2272	1.8561	2.3083	756.8	94.067	183.47
460	711.68	710.45	3.2784	1.8875	2.3486	722.03	92.223	172.06
470	700.49	734.14	3.3294	1.9186	2.3898	687.14	90.424	161.46
480	688.88	758.25	3.3801	1.9495	2.4323	652.01	88.668	151.56
490	676.79	782.79	3.4307	1.9801	2.4764	616.53	86.95	142.26
500	664.14	807.79	3.4812	2.0104	2.5228	580.57	85.269	133.47
510	650.8	833.26	3.5317	2.0405	2.5723	543.94	83.622	125.11
520	636.65	859.24	3.5821	2.0706	2.6261	506.4	82.005	117.1
530	621.45	885.8	3.6327	2.1006	2.6864	467.62	80.417	109.36
540	604.92	913.01	3.6835	2.1308	2.7566	427.12	78.856	101.82
550	48.81	1157.3	4.1293	2.1351	2.5028	150.79	37.704	13.267
560	46.24	1182.1	4.1739	2.1433	2.451	158.34	38.458	13.372
570	44.12	1206.5	4.217	2.1566	2.4246	164.84	39.387	13.489
580	42.314	1230.6	4.259	2.173	2.4128	170.59	40.437	13.611
590	40.738	1254.7	4.3002	2.1914	2.4099	175.8	41.578	13.737
600	39.342	1278.8	4.3408	2.2109	2.4129	180.57	42.793	13.865
610	38.087	1303	4.3807	2.2311	2.4199	184.99	44.07	13.995
620	36.949	1327.3	4.4201	2.2517	2.4296	189.13	45.4	14.125
630	35.907	1351.6	4.4591	2.2725	2.4413	193.02	46.779	14.258
640	34.948	1376.1	4.4976	2.2934	2.4544	196.71	48.202	14.391
650	34.06	1400.7	4.5358	2.3142	2.4686	200.21	49.667	14.526
660	33.233	1425.5	4.5736	2.3348	2.4835	203.56	51.17	14.662
670	32.46	1450.4	4.6111	2.3553	2.4989	206.77	52.711	14.799
680	31.734	1475.4	4.6482	2.3756	2.5147	209.86	54.289	14.937
690	31.051	1500.7	4.685	2.3956	2.5307	212.83	55.901	15.077
700	30.406	1526.1	4.7216	2.4154	2.547	215.71	57.548	15.217
p=2.0 MPa								
180	968.28	192.99	1.6067	1.0592	1.489	1884.1	153.36	25240
190	958.96	207.89	1.6872	1.0688	1.4921	1830	154.73	14700
200	949.79	222.85	1.764	1.0831	1.5007	1776.8	154.49	8857.7
210	940.76	237.93	1.8375	1.1013	1.5141	1724.7	153.19	5550.9
220	931.85	253.15	1.9083	1.1226	1.5315	1673.9	151.2	3639.1
230	923.03	268.57	1.9768	1.1466	1.5521	1624.3	148.79	2508.2
240	914.29	284.2	2.0434	1.1727	1.5756	1576.1	146.11	1821.5
250	905.6	300.09	2.1082	1.2007	1.6014	1529.1	143.28	1391.5

260	896.96	316.24	2.1716	1.2301	1.6291	1483.3	140.37	1112.2
270	888.35	332.67	2.2336	1.2606	1.6586	1438.7	137.44	923.01
280	879.76	349.41	2.2945	1.2922	1.6894	1395.2	134.53	788.83
290	871.18	366.47	2.3543	1.3244	1.7214	1352.8	131.65	689.12
300	862.58	383.84	2.4132	1.3573	1.7544	1311.3	128.82	611.68
310	853.96	401.56	2.4713	1.3906	1.7883	1270.8	126.05	549.19
320	845.31	419.61	2.5286	1.4243	1.8228	1231	123.34	497.18
330	836.62	438.02	2.5852	1.4581	1.8579	1192.1	120.72	452.83
340	827.87	456.77	2.6412	1.492	1.8936	1153.8	118.17	414.35
350	819.05	475.89	2.6966	1.526	1.9296	1116.2	115.69	380.54
360	810.14	495.36	2.7515	1.5599	1.9659	1079.2	113.28	350.55
370	801.14	515.21	2.8059	1.5937	2.0025	1042.7	110.93	323.8
380	792.03	535.42	2.8598	1.6274	2.0394	1006.6	108.65	299.8
390	782.79	556	2.9132	1.6608	2.0766	970.97	106.44	278.2
400	773.41	576.95	2.9663	1.694	2.114	935.68	104.28	258.68
410	763.86	598.28	3.0189	1.727	2.1516	900.69	102.19	241
420	754.13	619.98	3.0712	1.7597	2.1895	865.93	100.15	224.91
430	744.2	642.07	3.1232	1.792	2.2278	831.36	98.175	210.23
440	734.03	664.54	3.1749	1.8241	2.2665	796.91	96.249	196.79
450	723.6	687.4	3.2262	1.8558	2.3056	762.52	94.374	184.43
460	712.87	710.65	3.2773	1.8872	2.3455	728.12	92.547	173.01
470	701.8	734.31	3.3282	1.9183	2.3861	693.63	90.768	162.4
480	690.33	758.38	3.3789	1.9491	2.4279	658.97	89.032	152.51
490	678.42	782.87	3.4294	1.9795	2.4711	624.04	87.338	143.23
500	665.97	807.81	3.4798	2.0098	2.5163	588.71	85.683	134.46
510	652.9	833.21	3.5301	2.0398	2.5642	552.83	84.066	126.13
520	639.07	859.11	3.5803	2.0696	2.6157	516.21	82.483	118.17
530	624.3	885.54	3.6307	2.0994	2.6725	478.58	80.933	110.49
540	608.36	912.58	3.6812	2.1293	2.7374	439.57	79.416	103.02
550	590.84	940.33	3.7322	2.1595	2.8149	398.62	77.934	95.698
560	571.14	968.95	3.7837	2.1904	2.9147	354.79	76.496	88.408
570	70.166	1185.4	4.1641	2.2144	2.8021	135.71	42.921	14.22
580	65.16	1212.6	4.2115	2.2157	2.6623	146.27	43.042	14.116
590	61.367	1238.8	4.2563	2.2245	2.5915	154.79	43.598	14.094
600	58.306	1264.6	4.2995	2.2377	2.553	162.05	44.409	14.116
610	55.737	1290	4.3415	2.2534	2.5325	168.42	45.392	14.166
620	53.525	1315.2	4.3826	2.2707	2.5228	174.14	46.5	14.235
630	51.582	1340.4	4.4229	2.2889	2.5202	179.35	47.707	14.316
640	49.852	1365.7	4.4626	2.3078	2.5224	184.16	48.993	14.408
650	48.293	1390.9	4.5018	2.327	2.5279	188.64	50.347	14.507
660	46.876	1416.2	4.5404	2.3464	2.5359	192.84	51.761	14.613
670	45.578	1441.6	4.5787	2.3658	2.5457	196.8	53.227	14.724
680	44.381	1467.1	4.6164	2.3851	2.5568	200.56	54.741	14.84
690	43.271	1492.8	4.6539	2.4044	2.5689	204.13	56.301	14.96
700	42.237	1518.5	4.6909	2.4235	2.5818	207.55	57.902	15.083
p=2.5 MIIa								

180	968.48	193.42	1.6062	1.0592	1.489	1886.4	153.53	25176
190	959.17	208.32	1.6867	1.0689	1.492	1832.3	154.89	14665
200	950.01	223.28	1.7635	1.0832	1.5007	1779.1	154.63	8838.9
210	941	238.35	1.837	1.1013	1.5141	1727.1	153.33	5541.5
220	932.09	253.58	1.9078	1.1227	1.5314	1676.3	151.34	3635.1
230	923.29	268.99	1.9763	1.1467	1.552	1626.8	148.92	2507.2
240	914.56	284.62	2.0429	1.1728	1.5754	1578.6	146.24	1822.3
250	905.89	300.51	2.1077	1.2007	1.6012	1531.7	143.41	1393.1
260	897.26	316.65	2.171	1.2301	1.6289	1486	140.51	1114.3
270	888.67	333.09	2.233	1.2607	1.6583	1441.4	137.59	925.28
280	880.1	349.83	2.2939	1.2922	1.6891	1398	134.68	791.12
290	871.53	366.88	2.3537	1.3245	1.7211	1355.7	131.8	691.34
300	862.95	384.25	2.4126	1.3574	1.7541	1314.3	128.98	613.79
310	854.36	401.96	2.4707	1.3907	1.7879	1273.8	126.21	551.17
320	845.73	420.01	2.528	1.4243	1.8223	1234.2	123.51	499.02
330	837.07	438.41	2.5846	1.4581	1.8574	1195.4	120.89	454.54
340	828.34	457.16	2.6406	1.492	1.8929	1157.2	118.36	415.94
350	819.55	476.27	2.696	1.526	1.9288	1119.7	115.88	382.02
360	810.68	495.74	2.7508	1.5599	1.9651	1082.9	113.48	351.94
370	801.72	515.57	2.8052	1.5937	2.0016	1046.5	111.14	325.1
380	792.65	535.77	2.859	1.6273	2.0384	1010.6	108.87	301.03
390	783.45	556.34	2.9125	1.6608	2.0754	975.14	106.66	279.36
400	774.12	577.28	2.9655	1.694	2.1127	940.04	104.52	259.79
410	764.63	598.59	3.0181	1.7269	2.1501	905.25	102.44	242.05
420	754.96	620.28	3.0704	1.7596	2.1879	870.73	100.41	225.93
430	745.09	642.35	3.1223	1.7919	2.2259	836.41	98.448	211.23
440	735	664.8	3.1739	1.8239	2.2642	802.24	96.536	197.76
450	724.66	687.64	3.2252	1.8556	2.3031	768.16	94.677	185.39
460	714.03	710.87	3.2763	1.887	2.3425	734.1	92.867	173.96
470	703.08	734.49	3.3271	1.918	2.3826	700.01	91.106	163.35
480	691.75	758.52	3.3777	1.9487	2.4237	665.79	89.39	153.46
490	680	782.97	3.4281	1.9791	2.4661	631.37	87.718	144.19
500	667.75	807.85	3.4783	2.0092	2.5102	596.63	86.089	135.45
510	654.92	833.18	3.5285	2.0391	2.5566	561.46	84.499	127.15
520	641.39	858.99	3.5786	2.0687	2.6062	525.67	82.948	119.22
530	627.02	885.32	3.6288	2.0983	2.6601	489.08	81.434	111.59
540	611.59	912.22	3.679	2.1279	2.7205	451.38	79.958	104.2
550	594.79	939.76	3.7296	2.1576	2.7909	412.15	78.521	96.967
560	576.16	968.09	3.7806	2.1878	2.8776	370.76	77.131	89.815
570	554.87	997.41	3.8325	2.219	2.9944	326.09	75.81	82.631
580	529.26	1028.2	3.886	2.2524	3.1784	275.9	74.633	75.226
590	93.28	1215.8	4.2059	2.2807	3.1486	124.54	48.97	15.171
600	84.788	1245.7	4.2561	2.2774	2.8731	137.85	48.158	14.741
610	78.883	1273.7	4.3025	2.2837	2.7489	148.02	48.215	14.536
620	74.339	1300.8	4.3466	2.2949	2.6823	156.43	48.718	14.438
630	70.645	1327.5	4.3892	2.309	2.6443	163.68	49.497	14.403



640	67.535	1353.8	4.4306	2.3248	2.6227	170.1	50.467	14.409
650	64.851	1379.9	4.4712	2.3417	2.6113	175.9	51.58	14.443
660	62.493	1406	4.511	2.3593	2.6067	181.21	52.804	14.497
670	60.393	1432.1	4.5502	2.3773	2.6068	186.11	54.119	14.567
680	58.502	1458.2	4.5888	2.3955	2.6103	190.69	55.511	14.649
690	56.782	1484.3	4.627	2.4137	2.6163	194.98	56.97	14.741
700	55.208	1510.5	4.6647	2.432	2.6241	199.04	58.488	14.841
p=3.0 MIIa								
180	968.68	193.85	1.6057	1.0593	1.489	1888.6	153.7	25113
190	959.37	208.75	1.6862	1.0689	1.492	1834.5	155.04	14630
200	950.23	223.71	1.763	1.0832	1.5007	1781.4	154.78	8820.3
210	941.23	238.78	1.8365	1.1014	1.514	1729.4	153.47	5532.2
220	932.34	254	1.9073	1.1228	1.5313	1678.7	151.48	3631.1
230	923.54	269.41	1.9758	1.1467	1.5519	1629.3	149.06	2506.3
240	914.83	285.05	2.0423	1.1729	1.5753	1581.1	146.38	1823
250	906.17	300.93	2.1072	1.2008	1.601	1534.2	143.55	1394.8
260	897.56	317.07	2.1705	1.2302	1.6287	1488.6	140.65	1116.4
270	888.99	333.51	2.2325	1.2607	1.6581	1444.1	137.73	927.58
280	880.43	350.24	2.2934	1.2923	1.6888	1400.8	134.83	793.43
290	871.88	367.29	2.3532	1.3245	1.7208	1358.5	131.96	693.58
300	863.33	384.66	2.4121	1.3574	1.7537	1317.3	129.14	615.91
310	854.76	402.36	2.4701	1.3907	1.7874	1276.9	126.38	553.16
320	846.15	420.41	2.5274	1.4243	1.8218	1237.4	123.68	500.88
330	837.51	438.8	2.584	1.4581	1.8568	1198.6	121.07	456.27
340	828.82	457.55	2.64	1.492	1.8923	1160.6	118.54	417.54
350	820.05	476.65	2.6953	1.526	1.9281	1123.3	116.07	383.51
360	811.22	496.11	2.7502	1.5599	1.9643	1086.5	113.67	353.33
370	802.29	515.94	2.8045	1.5937	2.0008	1050.3	111.35	326.4
380	793.26	536.13	2.8583	1.6273	2.0374	1014.6	109.08	302.26
390	784.11	556.68	2.9117	1.6607	2.0743	979.27	106.89	280.52
400	774.82	577.61	2.9647	1.6939	2.1114	944.35	104.76	260.9
410	765.38	598.91	3.0173	1.7268	2.1487	909.77	102.68	243.12
420	755.77	620.59	3.0695	1.7594	2.1862	875.47	100.67	226.96
430	745.97	642.64	3.1214	1.7918	2.224	841.39	98.719	212.22
440	735.96	665.07	3.173	1.8237	2.2621	807.49	96.821	198.74
450	725.7	687.88	3.2242	1.8554	2.3006	773.71	94.976	186.34
460	715.17	711.08	3.2752	1.8867	2.3396	739.99	93.183	174.91
470	704.33	734.68	3.326	1.9177	2.3793	706.27	91.439	164.3
480	693.14	758.67	3.3765	1.9483	2.4198	672.48	89.743	154.42
490	681.54	783.08	3.4268	1.9786	2.4614	638.54	88.092	145.15
500	669.48	807.9	3.477	2.0086	2.5045	604.36	86.487	136.43
510	656.88	833.17	3.527	2.0384	2.5496	569.83	84.923	128.15
520	643.63	858.9	3.577	2.0679	2.5974	534.82	83.402	120.26
530	629.61	885.13	3.6269	2.0973	2.6488	499.15	81.921	112.68
540	614.64	911.9	3.6769	2.1266	2.7056	462.61	80.482	105.35
550	598.47	939.27	3.7272	2.156	2.7702	424.88	79.086	98.2

560	580.74	967.34	3.7778	2.1856	2.8472	385.49	77.74	91.162
570	560.84	996.28	3.829	2.2159	2.9452	343.72	76.461	84.149
580	537.7	1026.4	3.8813	2.2475	3.0842	298.28	75.291	77.032
590	508.95	1058.3	3.9358	2.2821	3.3239	246.4	74.373	69.556
600	466.82	1094.1	3.9961	2.3258	4.0054	179.59	74.49	60.913
610	115.09	1250.3	4.2554	2.3324	3.3951	120.34	54.799	15.918
620	103.32	1282.2	4.3072	2.329	3.0292	134.54	53.262	15.153
630	95.447	1311.6	4.3542	2.335	2.8708	145.32	52.907	14.769
640	89.524	1339.8	4.3987	2.3457	2.786	154.21	53.14	14.559
650	84.781	1367.4	4.4415	2.359	2.7365	161.86	53.735	14.447
660	80.832	1394.6	4.483	2.374	2.7068	168.63	54.577	14.398
670	77.455	1421.6	4.5236	2.3901	2.6893	174.73	55.6	14.391
680	74.509	1448.4	4.5633	2.4067	2.6799	180.3	56.764	14.415
690	71.901	1475.2	4.6024	2.4238	2.676	185.45	58.04	14.462
700	69.565	1502	4.6409	2.4411	2.6762	190.24	59.41	14.526
p=4.0 MIIa								
180	969.07	194.7	1.6047	1.0594	1.489	1893.1	154.03	24988
190	959.79	209.6	1.6852	1.0691	1.492	1839.1	155.35	14562
200	950.67	224.56	1.762	1.0834	1.5006	1786	155.07	8783.8
210	941.68	239.63	1.8355	1.1015	1.5139	1734.1	153.74	5514.1
220	932.82	254.85	1.9063	1.1229	1.5311	1683.5	151.75	3623.5
230	924.05	270.26	1.9748	1.1469	1.5517	1634.1	149.33	2504.7
240	915.36	285.89	2.0413	1.173	1.575	1586.1	146.65	1824.8
250	906.74	301.77	2.1061	1.2009	1.6006	1539.3	143.83	1398.4
260	898.16	317.91	2.1694	1.2303	1.6283	1493.8	140.93	1120.8
270	889.62	334.34	2.2314	1.2609	1.6576	1449.5	138.02	932.27
280	881.1	351.07	2.2923	1.2924	1.6882	1406.3	135.12	798.14
290	872.58	368.11	2.3521	1.3246	1.7201	1364.2	132.26	698.13
300	864.07	385.47	2.4109	1.3575	1.7529	1323.1	129.45	620.22
310	855.54	403.17	2.4689	1.3908	1.7866	1282.9	126.7	557.2
320	846.98	421.21	2.5262	1.4244	1.8209	1243.6	124.02	504.63
330	838.39	439.59	2.5828	1.4582	1.8558	1205.1	121.41	459.75
340	829.75	458.32	2.6387	1.4921	1.8911	1167.3	118.9	420.78
350	821.05	477.41	2.694	1.526	1.9268	1130.2	116.45	386.52
360	812.28	496.86	2.7488	1.5599	1.9628	1093.7	114.07	356.14
370	803.42	516.67	2.8031	1.5936	1.999	1057.8	111.76	329.04
380	794.46	536.84	2.8569	1.6272	2.0355	1022.4	109.51	304.74
390	785.4	557.38	2.9102	1.6606	2.0721	987.41	107.33	282.87
400	776.2	578.28	2.9631	1.6938	2.1089	952.86	105.22	263.13
410	766.87	599.56	3.0157	1.7267	2.1459	918.67	103.17	245.26
420	757.38	621.2	3.0678	1.7592	2.1831	884.8	101.18	229.02
430	747.71	643.22	3.1196	1.7915	2.2204	851.19	99.253	214.23
440	737.84	665.61	3.1711	1.8234	2.258	817.81	97.381	200.69
450	727.74	688.38	3.2223	1.855	2.2959	784.59	95.564	188.27
460	717.4	711.53	3.2732	1.8862	2.3342	751.5	93.802	176.81
470	706.77	735.06	3.3238	1.9171	2.3729	718.48	92.091	166.19

480	695.83	758.99	3.3741	1.9476	2.4124	685.47	90.432	156.31
490	684.52	783.31	3.4243	1.9778	2.4526	652.42	88.822	147.07
500	672.81	808.05	3.4743	2.0076	2.494	619.26	87.26	138.37
510	660.61	833.2	3.5241	2.0372	2.5369	585.9	85.746	130.14
520	647.87	858.79	3.5738	2.0665	2.5817	552.25	84.278	122.31
530	634.47	884.84	3.6234	2.0955	2.6292	518.21	82.857	114.81
540	620.3	911.39	3.673	2.1244	2.6802	483.64	81.485	107.59
550	605.17	938.46	3.7227	2.1532	2.7364	448.35	80.162	100.57
560	588.87	966.14	3.7725	2.182	2.8	412.1	78.895	93.719
570	571.02	994.5	3.8227	2.211	2.875	374.56	77.693	86.96
580	551.11	1023.7	3.8735	2.2405	2.9688	335.22	76.578	80.224
590	528.21	1054	3.9253	2.2711	3.0965	293.27	75.596	73.404
600	500.52	1085.9	3.9789	2.3039	3.2971	247.25	74.87	66.317
610	463.52	1120.6	4.0363	2.3417	3.7123	194.05	74.813	58.51
620	396.68	1164	4.1069	2.3983	5.6492	124.91	78.037	47.811
630	207.96	1253.1	4.2494	2.4335	6.026	97.659	72.792	22.681
640	163.89	1299	4.3216	2.4094	3.8302	116.84	65.702	17.705
650	143.98	1334.3	4.3764	2.406	3.3184	130.59	63.054	15.946
660	131.24	1366.2	4.4252	2.4111	3.0939	141.55	61.88	15.045
670	121.94	1396.5	4.4707	2.4206	2.9718	150.78	61.495	14.523
680	114.67	1425.8	4.5141	2.4327	2.8983	158.82	61.617	14.206
690	108.73	1454.6	4.5561	2.4463	2.8517	165.97	62.094	14.015
700	103.73	1482.9	4.5969	2.4609	2.8217	172.45	62.836	13.907
p=5.0 MPa								
180	969.46	195.55	1.6037	1.0595	1.4891	1897.5	154.36	24865
190	960.2	210.45	1.6842	1.0692	1.492	1843.6	155.65	14494
200	951.1	225.41	1.761	1.0835	1.5005	1790.6	155.35	8748.1
210	942.14	240.48	1.8345	1.1017	1.5138	1738.8	154.02	5496.5
220	933.3	255.7	1.9053	1.123	1.5309	1688.2	152.02	3616.4
230	924.56	271.11	1.9738	1.147	1.5514	1639	149.6	2503.5
240	915.89	286.74	2.0403	1.1731	1.5747	1591	146.92	1826.8
250	907.3	302.61	2.1051	1.2011	1.6003	1544.4	144.1	1402.1
260	898.75	318.75	2.1684	1.2304	1.6279	1499	141.21	1125.3
270	890.24	335.17	2.2304	1.261	1.6571	1454.9	138.31	937.09
280	881.75	351.89	2.2912	1.2925	1.6877	1411.8	135.42	802.94
290	873.28	368.93	2.3509	1.3248	1.7195	1369.9	132.56	702.76
300	864.8	386.29	2.4098	1.3576	1.7522	1328.9	129.77	624.6
310	856.32	403.98	2.4678	1.3909	1.7858	1288.9	127.03	561.3
320	847.81	422	2.525	1.4244	1.82	1249.8	124.36	508.44
330	839.26	440.38	2.5815	1.4582	1.8547	1211.5	121.76	463.29
340	830.68	459.1	2.6374	1.4921	1.8899	1173.9	119.26	424.06
350	822.03	478.18	2.6927	1.526	1.9255	1137.1	116.82	389.57
360	813.32	497.61	2.7475	1.5599	1.9613	1100.8	114.46	358.99
370	804.53	517.4	2.8017	1.5936	1.9974	1065.2	112.16	331.7
380	795.65	537.56	2.8555	1.6272	2.0336	1030.1	109.93	307.24
390	786.67	558.08	2.9088	1.6606	2.07	995.42	107.77	285.24

400	777.56	578.96	2.9616	1.6937	2.1066	961.21	105.68	265.39
410	768.33	600.21	3.0141	1.7265	2.1433	927.4	103.65	247.42
420	758.94	621.83	3.0662	1.7591	2.1801	893.93	101.68	231.11
430	749.4	643.81	3.1179	1.7913	2.217	860.76	99.777	216.24
440	739.66	666.17	3.1693	1.8231	2.2541	827.86	97.93	202.66
450	729.72	688.89	3.2204	1.8547	2.2915	795.18	96.14	190.2
460	719.56	712	3.2711	1.8858	2.3291	762.67	94.406	178.71
470	709.13	735.48	3.3216	1.9166	2.3671	730.29	92.727	168.09
480	698.41	759.34	3.3719	1.947	2.4056	698	91.101	158.21
490	687.37	783.59	3.4219	1.9771	2.4447	665.75	89.528	148.97
500	675.97	808.24	3.4717	2.0068	2.4846	633.49	88.007	140.3
510	664.14	833.29	3.5213	2.0362	2.5256	601.16	86.536	132.11
520	651.84	858.75	3.5707	2.0652	2.5681	568.69	85.117	124.33
530	638.98	884.65	3.6201	2.094	2.6124	536.03	83.749	116.89
540	625.46	911.01	3.6693	2.1225	2.6593	503.06	82.434	109.75
550	611.18	937.85	3.7186	2.1509	2.7096	469.71	81.174	102.85
560	595.96	965.22	3.7679	2.1791	2.7646	435.83	79.974	96.134
570	579.6	993.17	3.8174	2.2073	2.8264	401.27	78.841	89.559
580	561.77	1021.8	3.8671	2.2356	2.8981	365.81	77.788	83.072
590	542.03	1051.2	3.9174	2.2643	2.9854	329.16	76.84	76.612
600	519.66	1081.6	3.9685	2.2937	3.0987	290.95	76.041	70.102
610	493.39	1113.3	4.0209	2.3244	3.2601	250.64	75.487	63.417
620	460.77	1147.1	4.0759	2.3577	3.5239	207.62	75.396	56.327
630	416.2	1184.6	4.1359	2.396	4.0501	162.06	76.315	48.28
640	347.34	1230.1	4.2074	2.4398	5.1037	122.1	78.549	37.929
650	266.74	1282.2	4.2883	2.4596	4.9384	112.3	77.212	26.752
660	217.96	1326.7	4.3562	2.4567	4.0219	120.82	73.823	20.505
670	190	1364.2	4.4126	2.457	3.5401	131.12	71.501	17.419
680	171.54	1398.2	4.463	2.4623	3.2848	140.64	70.082	15.7
690	158.1	1430.2	4.5098	2.4711	3.1348	149.22	69.302	14.657
700	147.68	1461.1	4.5542	2.4822	3.04	156.99	69.002	13.991
p=10.0 МПа								
180	971.39	199.81	1.5987	1.0603	1.4892	1919.4	155.99	24277
190	962.23	214.71	1.6793	1.0699	1.4919	1865.7	157.15	14175
200	953.23	229.67	1.756	1.0843	1.5002	1813	156.76	8581.8
210	944.38	244.73	1.8295	1.1025	1.5132	1761.6	155.37	5417.3
220	935.66	259.95	1.9003	1.1238	1.5302	1711.4	153.35	3586.7
230	927.04	275.35	1.9687	1.1478	1.5504	1662.6	150.92	2501.7
240	918.5	290.97	2.0352	1.1739	1.5734	1615.2	148.25	1840.3
250	910.04	306.82	2.0999	1.2018	1.5987	1569.2	145.44	1423.4
260	901.64	322.95	2.1632	1.2312	1.626	1524.4	142.58	1150.1
270	893.29	339.35	2.2251	1.2617	1.6549	1480.9	139.71	962.91
280	884.96	356.05	2.2858	1.2932	1.6851	1438.5	136.85	828.4
290	876.66	373.06	2.3455	1.3254	1.7165	1397.3	134.04	727.12
300	868.38	390.38	2.4042	1.3582	1.7489	1357.2	131.29	647.52
310	860.09	408.04	2.4621	1.3914	1.782	1318	128.61	582.66

320	851.79	426.02	2.5192	1.4249	1.8157	1279.8	125.99	528.25
330	843.48	444.35	2.5756	1.4587	1.8499	1242.4	123.45	481.63
340	835.14	463.02	2.6313	1.4925	1.8846	1205.9	120.99	441.06
350	826.76	482.04	2.6865	1.5263	1.9195	1170.1	118.63	405.35
360	818.34	501.41	2.741	1.5601	1.9546	1135	116.34	373.68
370	809.86	521.14	2.7951	1.5937	1.9899	1100.6	114.11	345.44
380	801.32	541.21	2.8486	1.6272	2.0253	1066.8	111.96	320.15
390	792.71	561.64	2.9017	1.6605	2.0607	1033.6	109.89	297.43
400	784.01	582.43	2.9543	1.6934	2.0962	1000.9	107.88	276.96
410	775.21	603.57	3.0065	1.7261	2.1316	968.7	105.94	258.47
420	766.32	625.06	3.0583	1.7585	2.167	936.98	104.07	241.72
430	757.3	646.91	3.1097	1.7905	2.2024	905.69	102.26	226.5
440	748.16	669.11	3.1607	1.8222	2.2377	874.81	100.52	212.62
450	738.88	691.66	3.2114	1.8535	2.2729	844.32	98.849	199.93
460	729.44	714.57	3.2617	1.8843	2.3081	814.19	97.237	188.28
470	719.84	737.82	3.3117	1.9148	2.3433	784.39	95.688	177.54
480	710.05	761.43	3.3615	1.9449	2.3784	754.92	94.201	167.6
490	700.06	785.39	3.4109	1.9745	2.4136	725.76	92.776	158.36
500	689.86	809.7	3.46	2.0037	2.4488	696.89	91.413	149.73
510	679.41	834.37	3.5088	2.0325	2.4841	668.3	90.113	141.63
520	668.7	859.39	3.5574	2.0609	2.5197	639.98	88.875	133.99
530	657.7	884.76	3.6057	2.0889	2.5554	611.93	87.701	126.75
540	646.38	910.5	3.6538	2.1165	2.5915	584.15	86.593	119.86
550	634.72	936.59	3.7017	2.1437	2.628	556.64	85.552	113.27
560	622.67	963.06	3.7494	2.1704	2.665	529.42	84.581	106.95
570	610.21	989.89	3.7969	2.1969	2.7027	502.49	83.684	100.85
580	597.28	1017.1	3.8442	2.2229	2.7413	475.89	82.865	94.95
590	583.84	1044.7	3.8914	2.2486	2.7808	449.65	82.129	89.219
600	569.83	1072.7	3.9385	2.2739	2.8215	423.82	81.484	83.638
610	555.21	1101.2	3.9855	2.2989	2.8635	398.49	80.938	78.188
620	539.89	1130	4.0324	2.3236	2.9071	373.74	80.501	72.855
630	523.84	1159.3	4.0793	2.3479	2.9522	349.71	80.186	67.627
640	506.98	1189.1	4.1261	2.3718	2.9988	326.56	80.007	62.497
650	489.27	1219.3	4.173	2.3954	3.0466	304.52	79.981	57.465
660	470.7	1250	4.2199	2.4184	3.0948	283.84	80.123	52.534
670	451.31	1281.2	4.2668	2.4408	3.142	264.85	80.449	47.719
680	431.2	1312.8	4.3136	2.4625	3.1856	247.87	80.97	43.043
690	410.59	1344.9	4.3604	2.4832	3.2227	233.24	81.685	38.545
700	389.8	1377.2	4.407	2.5029	3.2495	221.21	82.585	34.279
p=20.0 МПа								
190	966.14	223.25	1.6696	1.0717	1.492	1907.9	159.99	13617
200	957.34	238.21	1.7464	1.0861	1.5	1855.8	159.45	8303.9
210	948.69	253.27	1.8198	1.1043	1.5125	1805	157.96	5297.3
220	940.18	268.47	1.8906	1.1257	1.529	1755.6	155.88	3555.2
230	931.78	283.86	1.9589	1.1497	1.5488	1707.7	153.44	2518.7
240	923.49	299.46	2.0253	1.1758	1.5713	1661.2	150.78	1882.7

250	915.28	315.29	2.09	1.2036	1.5962	1616	148	1477.9
260	907.14	331.38	2.1531	1.233	1.6229	1572.3	145.19	1209.1
270	899.06	347.75	2.2149	1.2635	1.6512	1529.9	142.37	1022.1
280	891.03	364.41	2.2754	1.2949	1.6809	1488.8	139.59	885.5
290	883.05	381.38	2.335	1.3271	1.7117	1448.8	136.86	780.99
300	875.09	398.65	2.3935	1.3598	1.7434	1410	134.19	697.71
310	867.15	416.25	2.4512	1.393	1.7758	1372.2	131.6	629.09
320	859.23	434.17	2.5081	1.4264	1.8088	1335.5	129.08	571.08
330	851.31	452.42	2.5643	1.46	1.8422	1299.7	126.64	521.11
340	843.39	471.01	2.6198	1.4938	1.8759	1264.8	124.28	477.49
350	835.46	489.94	2.6746	1.5275	1.9099	1230.8	122.01	439.05
360	827.52	509.21	2.7289	1.5612	1.944	1197.6	119.83	404.97
370	819.56	528.82	2.7827	1.5947	1.9782	1165.1	117.73	374.6
380	811.57	548.77	2.8359	1.628	2.0123	1133.3	115.71	347.45
390	803.54	569.07	2.8886	1.6611	2.0464	1102.3	113.76	323.11
400	795.48	589.7	2.9408	1.694	2.0804	1071.8	111.89	301.24
410	787.37	610.68	2.9926	1.7265	2.1143	1042	110.09	281.54
420	779.22	631.99	3.044	1.7587	2.1479	1012.8	108.37	263.75
430	771	653.63	3.0949	1.7905	2.1813	984.21	106.72	247.65
440	762.73	675.61	3.1454	1.8219	2.2145	956.14	105.14	233.04
450	754.39	697.92	3.1956	1.8529	2.2473	928.61	103.63	219.73
460	745.97	720.56	3.2453	1.8835	2.2799	901.6	102.19	207.58
470	737.48	743.52	3.2947	1.9136	2.3121	875.1	100.82	196.44
480	728.91	766.8	3.3437	1.9433	2.344	849.12	99.515	186.19
490	720.25	790.4	3.3924	1.9726	2.3756	823.63	98.283	176.72
500	711.51	814.31	3.4407	2.0014	2.4067	798.64	97.12	167.93
510	702.66	838.53	3.4886	2.0297	2.4375	774.14	96.027	159.75
520	693.72	863.06	3.5362	2.0575	2.4678	750.15	95.003	152.1
530	684.67	887.89	3.5835	2.0849	2.4978	726.66	94.049	144.91
540	675.51	913.01	3.6305	2.1118	2.5273	703.67	93.167	138.13
550	666.24	938.43	3.6771	2.1383	2.5564	681.21	92.356	131.7
560	656.86	964.14	3.7235	2.1643	2.585	659.27	91.618	125.6
570	647.37	990.13	3.7695	2.1898	2.6131	637.88	90.954	119.77
580	637.75	1016.4	3.8152	2.2148	2.6408	617.04	90.366	114.19
590	628.02	1042.9	3.8605	2.2394	2.6679	596.79	89.854	108.83
600	618.18	1069.8	3.9056	2.2635	2.6945	577.13	89.422	103.67
610	608.21	1096.8	3.9503	2.2872	2.7204	558.08	89.07	98.695
620	598.14	1124.2	3.9948	2.3104	2.7458	539.68	88.8	93.88
630	587.97	1151.7	4.0389	2.3332	2.7706	521.94	88.614	89.217
640	577.69	1179.6	4.0827	2.3555	2.7946	504.88	88.514	84.693
650	567.32	1207.6	4.1263	2.3774	2.818	488.53	88.503	80.302
660	556.88	1235.9	4.1694	2.3989	2.8405	472.91	88.582	76.038
670	546.36	1264.4	4.2123	2.4199	2.8623	458.03	88.752	71.894
680	535.8	1293.2	4.2549	2.4405	2.8832	443.92	89.016	67.87
690	525.2	1322.1	4.2971	2.4607	2.9031	430.58	89.375	63.963
700	514.59	1351.2	4.339	2.4805	2.9222	418.04	89.831	60.174

p=40.0 MIIa								
190	973.47	240.35	1.6511	1.0764	1.4932	1985.6	165.21	12770
200	965.01	255.32	1.7279	1.0908	1.5004	1934.5	164.38	7930.3
210	956.72	270.38	1.8013	1.1091	1.5123	1884.8	162.73	5183.9
220	948.58	285.57	1.872	1.1304	1.5281	1836.6	160.56	3582.2
230	940.57	300.95	1.9404	1.1544	1.5471	1790	158.09	2618.3
240	932.68	316.52	2.0067	1.1805	1.5689	1744.9	155.45	2016.4
250	924.89	332.33	2.0712	1.2083	1.5929	1701.3	152.73	1624.2
260	917.19	348.39	2.1342	1.2376	1.6188	1659.2	150	1356.1
270	909.57	364.71	2.1958	1.268	1.6464	1618.5	147.28	1163.5
280	902.03	381.32	2.2562	1.2994	1.6752	1579.2	144.62	1018.2
290	894.54	398.22	2.3155	1.3315	1.7051	1541.1	142.01	903.95
300	887.11	415.43	2.3738	1.3642	1.7358	1504.3	139.49	810.74
310	879.73	432.94	2.4312	1.3973	1.7673	1468.6	137.04	732.63
320	872.39	450.77	2.4878	1.4306	1.7992	1434.1	134.68	665.83
330	865.08	468.93	2.5437	1.4642	1.8316	1400.5	132.4	607.88
340	857.81	487.4	2.5989	1.4978	1.8642	1368	130.21	557.12
350	850.56	506.21	2.6534	1.5314	1.897	1336.4	128.1	512.34
360	843.33	525.34	2.7073	1.565	1.9298	1305.7	126.08	472.66
370	836.12	544.81	2.7606	1.5984	1.9627	1275.8	124.14	437.37
380	828.92	564.6	2.8134	1.6316	1.9955	1246.7	122.29	405.91
390	821.73	584.72	2.8656	1.6646	2.0281	1218.4	120.51	377.8
400	814.54	605.16	2.9174	1.6973	2.0605	1190.9	118.85	352.63
410	807.36	625.93	2.9686	1.7296	2.0927	1164.1	117.25	330.06
420	800.18	647.01	3.0195	1.7616	2.1247	1137.9	115.72	309.77
430	793	668.42	3.0698	1.7933	2.1563	1112.5	114.27	291.49
440	785.82	690.14	3.1198	1.8245	2.1875	1087.6	112.89	274.98
450	778.63	712.17	3.1693	1.8553	2.2183	1063.4	111.59	260.04
460	771.44	734.5	3.2184	1.8857	2.2487	1039.8	110.35	246.47
470	764.23	757.14	3.267	1.9156	2.2787	1016.8	109.2	234.11
480	757.03	780.07	3.3153	1.9451	2.3082	994.42	108.11	222.81
490	749.81	803.3	3.3632	1.9741	2.3373	972.58	107.09	212.45
500	742.58	826.82	3.4107	2.0026	2.3658	951.31	106.14	202.92
510	735.35	850.62	3.4578	2.0307	2.3938	930.59	105.27	194.11
520	728.1	874.69	3.5046	2.0582	2.4213	910.43	104.46	185.93
530	720.85	899.04	3.551	2.0853	2.4482	890.81	103.72	178.32
540	713.59	923.65	3.597	2.1119	2.4746	871.73	103.06	171.2
550	706.33	948.53	3.6426	2.138	2.5004	853.19	102.46	164.52
560	699.06	973.66	3.6879	2.1636	2.5257	835.17	101.93	158.22
570	691.78	999.04	3.7328	2.1888	2.5504	817.69	101.47	152.26
580	684.51	1024.7	3.7774	2.2134	2.5745	800.74	101.08	146.61
590	677.24	1050.5	3.8216	2.2376	2.5981	784.31	100.77	141.22
600	669.97	1076.6	3.8655	2.2614	2.6211	768.4	100.52	136.08
610	662.7	1103	3.909	2.2847	2.6434	753.01	100.34	131.15
620	655.45	1129.5	3.9521	2.3075	2.6653	738.13	100.23	126.42
630	648.2	1156.3	3.995	2.3299	2.6865	723.77	100.19	121.86

640	640.98	1183.2	4.0374	2.3519	2.7072	709.92	100.22	117.46
650	633.77	1210.4	4.0796	2.3735	2.7273	696.57	100.32	113.21
660	626.59	1237.8	4.1213	2.3947	2.7469	683.72	100.48	109.09
670	619.43	1265.3	4.1628	2.4154	2.7659	671.37	100.72	105.1
680	612.31	1293.1	4.2039	2.4358	2.7843	659.5	101.03	101.22
690	605.22	1321	4.2447	2.4558	2.8023	648.12	101.41	97.452
700	598.17	1349.1	4.2851	2.4754	2.8197	637.21	101.86	93.788
p=60.0 MPa								
190	980.25	257.48	1.6335	1.082	1.4953	2056.2	169.91	12206
200	972.08	272.46	1.7103	1.0965	1.5019	2005.8	168.85	7745.8
210	964.09	287.53	1.7839	1.1147	1.5132	1956.9	167.06	5199.9
220	956.26	302.74	1.8546	1.1361	1.5284	1909.7	164.83	3699.8
230	948.58	318.11	1.9229	1.16	1.5468	1864.1	162.35	2782.7
240	941.02	333.68	1.9892	1.186	1.568	1820.1	159.73	2197.6
250	933.57	349.48	2.0537	1.2138	1.5914	1777.7	157.06	1805.9
260	926.23	365.52	2.1166	1.2431	1.6168	1736.8	154.4	1530.1
270	918.99	381.82	2.1781	1.2735	1.6437	1697.4	151.77	1325.8
280	911.83	398.39	2.2384	1.3048	1.6719	1659.4	149.2	1167.6
290	904.74	415.26	2.2976	1.3368	1.7012	1622.8	146.7	1040.2
300	897.72	432.42	2.3557	1.3695	1.7313	1587.4	144.29	934.66
310	890.77	449.89	2.413	1.4025	1.7621	1553.2	141.96	845.16
320	883.88	467.66	2.4695	1.4358	1.7934	1520.1	139.72	768.09
330	877.03	485.76	2.5251	1.4693	1.8251	1488.2	137.57	700.99
340	870.23	504.17	2.5801	1.5029	1.857	1457.2	135.5	642.12
350	863.48	522.9	2.6344	1.5364	1.8891	1427.3	133.53	590.2
360	856.77	541.95	2.688	1.5699	1.9212	1398.2	131.64	544.25
370	850.09	561.32	2.7411	1.6033	1.9533	1370.1	129.83	503.45
380	843.44	581.01	2.7936	1.6364	1.9854	1342.7	128.11	467.17
390	836.83	601.03	2.8456	1.6694	2.0172	1316.2	126.46	434.83
400	830.24	621.36	2.8971	1.702	2.0489	1290.5	124.9	405.95
410	823.68	642	2.9481	1.7343	2.0803	1265.5	123.41	380.12
420	817.14	662.96	2.9986	1.7662	2.1114	1241.2	122	356.98
430	810.63	684.23	3.0486	1.7978	2.1421	1217.5	120.69	336.19
440	804.14	705.8	3.0982	1.829	2.1725	1194.6	119.45	317.47
450	797.66	727.68	3.1474	1.8597	2.2025	1172.3	118.28	300.58
460	791.21	749.85	3.1961	1.89	2.232	1150.6	117.18	285.3
470	784.78	772.32	3.2444	1.9199	2.2611	1129.5	116.15	271.43
480	778.36	795.07	3.2923	1.9493	2.2898	1109	115.19	258.81
490	771.96	818.11	3.3398	1.9782	2.3179	1089	114.3	247.27
500	765.58	841.43	3.3869	2.0067	2.3456	1069.7	113.47	236.7
510	759.22	865.02	3.4336	2.0346	2.3727	1050.8	112.72	226.98
520	752.88	888.88	3.48	2.0621	2.3993	1032.5	112.03	218
530	746.55	913.01	3.5259	2.0891	2.4254	1014.8	111.41	209.68
540	740.25	937.39	3.5715	2.1156	2.4509	997.5	110.86	201.94
550	733.97	962.02	3.6167	2.1416	2.4759	980.74	110.38	194.7
560	727.7	986.91	3.6615	2.1672	2.5004	964.48	109.96	187.93



570	721.46	1012	3.706	2.1923	2.5243	948.71	109.6	181.55
580	715.25	1037.4	3.7501	2.2169	2.5477	933.41	109.31	175.52
590	709.05	1063	3.7939	2.241	2.5706	918.58	109.09	169.82
600	702.89	1088.8	3.8373	2.2647	2.5929	904.22	108.93	164.39
610	696.75	1114.8	3.8803	2.2879	2.6147	890.31	108.84	159.21
620	690.64	1141.1	3.923	2.3107	2.636	876.86	108.81	154.26
630	684.56	1167.6	3.9653	2.333	2.6568	863.84	108.84	149.52
640	678.52	1194.2	4.0073	2.355	2.6771	851.25	108.94	144.95
650	672.5	1221.1	4.049	2.3765	2.6969	839.09	109.1	140.55
660	666.53	1248.2	4.0903	2.3976	2.7162	827.34	109.32	136.31
670	660.59	1275.4	4.1313	2.4183	2.735	816	109.61	132.2
680	654.69	1302.9	4.172	2.4386	2.7534	805.07	109.96	128.22
690	648.83	1330.5	4.2123	2.4586	2.7713	794.52	110.37	124.35
700	643.02	1358.3	4.2523	2.4782	2.7888	784.36	110.84	120.6
p=80.0 MPa								
190	986.57	274.62	1.6167	1.0883	1.4981	2121	174.22	11858
200	978.66	289.62	1.6936	1.1028	1.5041	2071.3	172.97	7703.6
210	970.93	304.71	1.7673	1.121	1.5149	2023.1	171.07	5311.6
220	963.37	319.93	1.8381	1.1423	1.5296	1976.7	168.79	3883
230	955.96	335.32	1.9064	1.1662	1.5475	1931.9	166.3	2993
240	948.69	350.89	1.9727	1.1922	1.5682	1888.8	163.71	2411.5
250	941.53	366.69	2.0372	1.2199	1.5912	1847.3	161.09	2011.5
260	934.49	382.72	2.1001	1.2491	1.6161	1807.4	158.49	1721.7
270	927.56	399.02	2.1616	1.2794	1.6426	1769	155.94	1501.5
280	920.71	415.58	2.2218	1.3107	1.6703	1732.1	153.46	1327.2
290	913.95	432.43	2.2809	1.3427	1.6991	1696.5	151.05	1184.5
300	907.27	449.57	2.339	1.3753	1.7288	1662.2	148.73	1064.9
310	900.67	467	2.3962	1.4082	1.7591	1629.1	146.5	962.78
320	894.12	484.75	2.4525	1.4415	1.7899	1597.3	144.36	874.48
330	887.65	502.8	2.5081	1.4749	1.8211	1566.5	142.32	797.46
340	881.23	521.17	2.5629	1.5085	1.8526	1536.7	140.36	729.88
350	874.86	539.86	2.6171	1.542	1.8842	1507.9	138.48	670.34
360	868.54	558.86	2.6706	1.5754	1.9158	1480.1	136.7	617.7
370	862.27	578.17	2.7235	1.6088	1.9475	1453.2	134.99	571.06
380	856.05	597.8	2.7759	1.6419	1.979	1427.1	133.37	529.65
390	849.87	617.75	2.8277	1.6747	2.0104	1401.8	131.83	492.82
400	843.72	638.01	2.879	1.7073	2.0416	1377.3	130.37	460
410	837.62	658.58	2.9298	1.7396	2.0725	1353.6	128.98	430.7
420	831.55	679.46	2.9801	1.7715	2.1032	1330.5	127.67	404.5
430	825.51	700.65	3.0299	1.803	2.1335	1308.2	126.43	381.01
440	819.51	722.13	3.0793	1.8342	2.1634	1286.5	125.27	359.92
450	813.55	743.91	3.1283	1.8649	2.1929	1265.4	124.17	340.92
460	807.61	765.99	3.1768	1.8951	2.222	1245	123.15	323.77
470	801.7	788.35	3.2249	1.925	2.2507	1225.1	122.22	308.24
480	795.83	811	3.2726	1.9543	2.2788	1205.8	121.36	294.13
490	789.98	833.93	3.3198	1.9832	2.3066	1187.1	120.56	281.28

500	784.17	857.13	3.3667	2.0116	2.3338	1168.9	119.82	269.54
510	778.38	880.6	3.4132	2.0395	2.3605	1151.2	119.15	258.77
520	772.63	904.34	3.4593	2.067	2.3868	1134.1	118.55	248.85
530	766.9	928.33	3.505	2.094	2.4125	1117.4	118.01	239.69
540	761.2	952.59	3.5503	2.1204	2.4377	1101.3	117.53	231.2
550	755.54	977.09	3.5953	2.1464	2.4624	1085.6	117.12	223.29
560	749.9	1001.8	3.6399	2.1719	2.4866	1070.3	116.77	215.91
570	744.3	1026.8	3.6841	2.197	2.5103	1055.6	116.48	208.98
580	738.73	1052	3.728	2.2216	2.5334	1041.2	116.26	202.47
590	733.19	1077.5	3.7715	2.2457	2.5561	1027.3	116.09	196.32
600	727.68	1103.2	3.8146	2.2693	2.5782	1013.9	115.99	190.49
610	722.21	1129	3.8574	2.2925	2.5999	1000.8	115.95	184.95
620	716.77	1155.1	3.8998	2.3153	2.621	988.16	115.97	179.67
630	711.37	1181.5	3.9419	2.3376	2.6417	975.91	116.05	174.63
640	706.01	1208	3.9837	2.3595	2.6619	964.04	116.2	169.79
650	700.68	1234.7	4.0251	2.381	2.6817	952.55	116.4	165.15
660	695.39	1261.6	4.0662	2.4021	2.701	941.44	116.66	160.67
670	690.14	1288.7	4.107	2.4228	2.7198	930.68	116.98	156.35
680	684.93	1316	4.1474	2.4431	2.7383	920.28	117.35	152.18
690	679.75	1343.5	4.1875	2.4631	2.7563	910.22	117.79	148.13
700	674.63	1371.1	4.2273	2.4827	2.774	900.5	118.28	144.21
p=100.0 MIIa								
200	984.82	306.8	1.6777	1.1095	1.5069	2132	176.8	7770.6
210	977.33	321.92	1.7514	1.1276	1.5172	2084.4	174.82	5495
220	970	337.16	1.8223	1.1488	1.5315	2038.7	172.5	4114.3
230	962.83	352.56	1.8908	1.1727	1.549	1994.6	170.02	3236.2
240	955.8	368.15	1.9571	1.1986	1.5693	1952.3	167.46	2648.2
250	948.9	383.95	2.0216	1.2263	1.5919	1911.6	164.89	2233.1
260	942.12	399.99	2.0845	1.2554	1.6164	1872.5	162.35	1924.9
270	935.44	416.28	2.146	1.2857	1.6425	1834.9	159.87	1685.6
280	928.87	432.84	2.2062	1.3169	1.6698	1798.8	157.46	1492.9
290	922.38	449.68	2.2653	1.3488	1.6983	1764.1	155.14	1333.4
300	915.99	466.81	2.3234	1.3813	1.7275	1730.7	152.9	1198.7
310	909.66	484.24	2.3805	1.4142	1.7575	1698.6	150.76	1083.1
320	903.42	501.96	2.4368	1.4474	1.788	1667.6	148.71	982.93
330	897.24	520	2.4923	1.4808	1.8188	1637.7	146.75	895.53
340	891.13	538.34	2.5471	1.5143	1.8499	1608.9	144.87	818.88
350	885.07	557	2.6011	1.5478	1.8812	1581	143.09	751.41
360	879.08	575.97	2.6546	1.5812	1.9125	1554.2	141.39	691.86
370	873.14	595.25	2.7074	1.6145	1.9438	1528.2	139.77	639.17
380	867.25	614.84	2.7596	1.6475	1.9751	1503	138.23	592.47
390	861.41	634.75	2.8114	1.6804	2.0061	1478.7	136.77	551
400	855.61	654.96	2.8625	1.7129	2.037	1455.1	135.39	514.11
410	849.86	675.49	2.9132	1.7451	2.0676	1432.3	134.09	481.22
420	844.15	696.32	2.9634	1.777	2.0979	1410.2	132.85	451.86
430	838.49	717.45	3.0131	1.8085	2.1279	1388.8	131.69	425.58

440	832.86	738.87	3.0624	1.8396	2.1576	1368	130.6	402
450	827.28	760.6	3.1112	1.8703	2.1868	1347.8	129.58	380.81
460	821.73	782.61	3.1596	1.9005	2.2156	1328.2	128.63	361.7
470	816.22	804.91	3.2075	1.9303	2.244	1309.3	127.75	344.43
480	810.75	827.49	3.2551	1.9596	2.272	1290.8	126.93	328.77
490	805.31	850.35	3.3022	1.9885	2.2995	1273	126.18	314.53
500	799.91	873.48	3.3489	2.0169	2.3265	1255.6	125.49	301.53
510	794.54	896.87	3.3953	2.0448	2.353	1238.7	124.9	289.64
520	789.21	920.53	3.4412	2.0722	2.379	1222.4	124.36	278.71
530	783.91	944.45	3.4868	2.0991	2.4046	1206.5	123.88	268.64
540	778.65	968.62	3.5319	2.1256	2.4296	1191.1	123.46	259.33
550	773.43	993.04	3.5767	2.1516	2.4542	1176.1	123.1	250.68
560	768.23	1017.7	3.6212	2.1771	2.4782	1161.6	122.8	242.62
570	763.08	1042.6	3.6653	2.2021	2.5018	1147.5	122.57	235.08
580	757.95	1067.7	3.709	2.2266	2.5248	1133.8	122.39	228.01
590	752.87	1093.1	3.7523	2.2507	2.5474	1120.6	122.27	221.36
600	747.82	1118.7	3.7953	2.2743	2.5695	1107.7	122.21	215.07
610	742.8	1144.5	3.838	2.2975	2.5911	1095.2	122.21	209.11
620	737.82	1170.5	3.8803	2.3203	2.6122	1083.1	122.26	203.45
630	732.88	1196.7	3.9222	2.3426	2.6329	1071.3	122.38	198.05
640	727.98	1223.2	3.9639	2.3644	2.6531	1060	122.55	192.88
650	723.11	1249.8	4.0051	2.3859	2.6729	1048.9	122.78	187.94
660	718.28	1276.6	4.0461	2.407	2.6923	1038.2	123.07	183.18
670	713.49	1303.6	4.0867	2.4277	2.7112	1027.8	123.41	178.61
680	708.74	1330.8	4.127	2.448	2.7297	1017.8	123.81	174.19
690	704.02	1358.2	4.167	2.4679	2.7479	1008.1	124.26	169.92
700	699.35	1385.8	4.2067	2.4875	2.7656	998.64	124.77	165.79

Таблица Б.5. Теплофизические свойства этилбензола 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
180	0.00000000560	967.49	0.00000039696	191.29	662.59	1.6087	4.227	1.059	0.66198	1875	125.56	152.68	5.0929	25498	3.3936
185	0.00000001376	962.78	0.00000095005	198.74	666.33	1.6495	4.177	1.0631	0.67979	1847.8	127.11	153.65	5.2996	19378	3.5156
190	0.00000003208	958.12	0.00000215580	206.19	670.17	1.6893	4.1312	1.0686	0.69791	1820.8	128.64	154.11	5.5107	14843	3.6370
195	0.00000007114	953.5	0.00000465840	213.66	674.1	1.7281	4.0893	1.0752	0.71634	1794	130.16	154.17	5.7264	11465	3.7598
200	0.00000015074	948.91	0.00000962430	221.15	678.12	1.766	4.0508	1.0829	0.73505	1767.4	131.65	153.9	5.9466	8935	3.8821
205	0.00000030629	944.36	0.00001907800	228.67	682.23	1.8031	4.0156	1.0915	0.75402	1741.2	133.12	153.37	6.1714	7030.9	4.0043
210	0.00000059867	939.84	0.00003640200	236.23	686.44	1.8395	3.9834	1.101	0.77322	1715.2	134.58	152.62	6.4008	5590.2	4.1265
215	0.00000112890	935.34	0.00006704900	243.82	690.75	1.8753	3.954	1.1113	0.79265	1689.5	136.02	151.7	6.635	4494.5	4.2486
220	0.00000205930	930.87	0.00011953000	251.45	695.15	1.9104	3.9272	1.1224	0.81227	1664.2	137.44	150.65	6.874	3656.5	4.3705
225	0.00000364230	926.42	0.00020671000	259.14	699.65	1.9449	3.9027	1.1341	0.83208	1639.1	138.85	149.48	7.1177	3011.9	4.4922
230	0.00000625990	922	0.00034754000	266.87	704.25	1.9789	3.8806	1.1464	0.85204	1614.4	140.24	148.24	7.3663	2513	4.6137
235	0.00001047500	917.59	0.00056920000	274.67	708.95	2.0124	3.8605	1.1592	0.87215	1590	141.62	146.92	7.6198	2124.3	4.7347
240	0.00001709700	913.2	0.0009097	282.52	713.76	2.0455	3.8423	1.1725	0.89238	1565.9	142.98	145.55	7.8783	1819.3	4.8552
245	0.00002726400	908.82	0.0014211	290.43	718.66	2.0781	3.826	1.1863	0.91273	1542.1	144.33	144.15	8.1417	1578	4.9752
250	0.00004254000	904.45	0.002173	298.41	723.66	2.1103	3.8114	1.2004	0.93317	1518.7	145.67	142.72	8.4102	1385.4	5.0944
255	0.00006503400	900.1	0.003257	306.45	728.77	2.1422	3.7984	1.215	0.95369	1495.5	146.99	141.26	8.6837	1230.4	5.2129
260	0.00009754	895.75	0.0047913	314.57	733.98	2.1737	3.7868	1.2298	0.97428	1472.6	148.3	139.8	8.9623	1104.2	5.3304
265	0.00014369	891.41	0.0069256	322.75	739.28	2.2049	3.7767	1.245	0.99494	1450	149.59	138.33	9.2461	1000.5	5.4469
270	0.00020814	887.07	0.0098469	331.01	744.69	2.2358	3.7679	1.2604	1.0156	1427.7	150.87	136.86	9.5351	914.26	5.5622
275	0.00029674	882.74	0.013785	339.35	750.2	2.2664	3.7604	1.2761	1.0364	1405.7	152.14	135.39	9.8293	841.7	5.6763
280	0.00041678	878.41	0.019019	347.76	755.81	2.2967	3.754	1.292	1.0572	1383.9	153.39	133.93	10.129	779.95	5.7895
285	0.00057718	874.08	0.025881	356.26	761.52	2.3268	3.7488	1.308	1.078	1362.4	154.62	132.47	10.434	726.78	5.9003
290	0.00078876	869.74	0.034767	364.83	767.33	2.3566	3.7445	1.3243	1.0988	1341.1	155.84	131.03	10.744	680.47	6.0101
295	0.0010644	865.41	0.046137	373.48	773.24	2.3862	3.7413	1.3407	1.1197	1320.1	157.05	129.6	11.059	639.7	6.1184
300	0.0014195	861.06	0.060523	382.22	779.24	2.4155	3.7389	1.3572	1.1406	1299.3	158.23	128.18	11.38	603.45	6.2252
305	0.0018719	856.71	0.078537	391.05	785.34	2.4447	3.7375	1.3738	1.1615	1278.7	159.39	126.77	11.707	570.91	6.3305
310	0.0024423	852.36	0.10087	399.95	791.54	2.4737	3.7368	1.3905	1.1825	1258.3	160.53	125.38	12.039	541.46	6.4343

315	0.0031547	847.99	0.1283	408.95	797.82	2.5025	3.737	1.4073	1.2034	1238.2	161.65	124.01	12.376	514.61	6.5369
320	0.004036	843.61	0.16169	418.03	804.2	2.5311	3.7378	1.4242	1.2244	1218.2	162.75	122.65	12.719	489.97	6.6381
325	0.0051171	839.22	0.20201	427.2	810.66	2.5595	3.7394	1.4411	1.2454	1198.4	163.82	121.32	13.068	467.22	6.7383
330	0.0064322	834.81	0.25032	436.46	817.21	2.5877	3.7416	1.458	1.2665	1178.8	164.86	120.01	13.422	446.13	6.8376
335	0.0080195	830.39	0.30776	445.8	823.85	2.6159	3.7444	1.475	1.2875	1159.3	165.87	118.71	13.782	426.49	6.9361
340	0.0099213	825.95	0.3756	455.24	830.57	2.6438	3.7477	1.492	1.3086	1140.1	166.85	117.43	14.148	408.13	7.0341
345	0.012184	821.49	0.45519	464.77	837.38	2.6716	3.7516	1.509	1.3297	1120.9	167.8	116.17	14.52	390.92	7.1319
350	0.014858	817	0.54799	474.39	844.26	2.6993	3.7561	1.526	1.3508	1101.9	168.71	114.92	14.897	374.76	7.2297
355	0.017998	812.5	0.65558	484.1	851.22	2.7268	3.761	1.543	1.3719	1083.1	169.59	113.69	15.281	359.53	7.3277
360	0.021663	807.97	0.7796	493.9	858.26	2.7542	3.7663	1.56	1.393	1064.4	170.43	112.48	15.67	345.17	7.4262
365	0.025918	803.41	0.92185	503.8	865.37	2.7815	3.7721	1.5769	1.4141	1045.8	171.22	111.28	16.065	331.61	7.5257
370	0.030829	798.83	1.0842	513.78	872.55	2.8087	3.7783	1.5938	1.4352	1027.3	171.97	110.1	16.467	318.77	7.6262
375	0.03647	794.22	1.2686	523.87	879.8	2.8357	3.7849	1.6107	1.4562	1008.9	172.68	108.93	16.875	306.62	7.7282
380	0.042916	789.57	1.4773	534.04	887.11	2.8627	3.7918	1.6275	1.4772	990.68	173.34	107.79	17.288	295.09	7.8321
385	0.050249	784.89	1.7123	544.31	894.5	2.8895	3.7991	1.6443	1.4982	972.52	173.95	106.66	17.709	284.15	7.9377
390	0.058553	780.17	1.976	554.68	901.94	2.9162	3.8066	1.6611	1.5191	954.44	174.51	105.54	18.136	273.77	8.0457
395	0.067919	775.41	2.2709	565.14	909.45	2.9428	3.8145	1.6778	1.54	936.45	175.01	104.44	18.569	263.89	8.1562
400	0.078438	770.62	2.5996	575.69	917.01	2.9693	3.8226	1.6944	1.5607	918.54	175.46	103.35	19.009	254.5	8.2698
405	0.090209	765.77	2.9646	586.35	924.63	2.9958	3.831	1.7109	1.5815	900.69	175.85	102.28	19.457	245.55	8.3862
410	0.10333	760.89	3.3688	597.09	932.31	3.0221	3.8397	1.7274	1.6021	882.92	176.19	101.23	19.911	237.03	8.5061
415	0.11791	755.95	3.8153	607.94	940.03	3.0484	3.8486	1.7439	1.6226	865.2	176.46	100.19	20.372	228.9	8.6292
420	0.13405	750.97	4.3069	618.88	947.81	3.0745	3.8577	1.7602	1.643	847.53	176.66	99.16	20.841	221.14	8.7561
425	0.15187	745.93	4.8472	629.92	955.63	3.1006	3.867	1.7765	1.6634	829.92	176.8	98.148	21.318	213.72	8.8867
430	0.17148	740.83	5.4394	641.06	963.49	3.1266	3.8764	1.7927	1.6836	812.34	176.87	97.15	21.802	206.63	9.0212
435	0.193	735.67	6.0872	652.3	971.4	3.1525	3.8861	1.8088	1.7037	794.8	176.87	96.166	22.295	199.85	9.1598
440	0.21655	730.45	6.7943	663.63	979.34	3.1783	3.8959	1.8248	1.7237	777.29	176.79	95.196	22.797	193.35	9.3023
445	0.24225	725.16	7.5649	675.07	987.32	3.2041	3.9058	1.8408	1.7436	759.8	176.64	94.24	23.307	187.12	9.4492
450	0.27023	719.8	8.4033	686.61	995.34	3.2298	3.9159	1.8567	1.7633	742.33	176.41	93.296	23.827	181.13	9.6003
455	0.30063	714.36	9.3138	698.25	1003.4	3.2554	3.926	1.8725	1.783	724.87	176.1	92.367	24.356	175.38	9.7554
460	0.33356	708.84	10.302	709.99	1011.5	3.281	3.9363	1.8882	1.8025	707.42	175.7	91.45	24.896	169.85	9.9146
465	0.36918	703.24	11.371	721.84	1019.5	3.3065	3.9467	1.9039	1.8219	689.96	175.21	90.547	25.447	164.52	10.078

470	0.40761	697.54	12.529	733.79	1027.7	3.3319	3.9572	1.9195	1.8412	672.5	174.64	89.656	26.01	159.38	10.243
475	0.449	691.75	13.781	745.85	1035.8	3.3573	3.9677	1.935	1.8603	655.02	173.96	88.779	26.585	154.42	10.416
480	0.49349	685.86	15.133	758.01	1043.9	3.3827	3.9783	1.9504	1.8794	637.52	173.19	87.915	27.173	149.63	10.591
485	0.54123	679.85	16.592	770.29	1052.1	3.408	3.989	1.9658	1.8984	619.99	172.32	87.065	27.776	144.99	10.769
490	0.59236	673.73	18.167	782.67	1060.2	3.4332	3.9997	1.9811	1.9172	602.43	171.33	86.227	28.394	140.49	10.951
495	0.64704	667.49	19.865	795.17	1068.4	3.4584	4.0104	1.9963	1.936	584.82	170.24	85.403	29.03	136.12	11.134
500	0.70542	661.1	21.695	807.78	1076.5	3.4836	4.0211	2.0115	1.9547	567.15	169.02	84.592	29.684	131.88	11.321
505	0.76766	654.58	23.669	820.51	1084.7	3.5087	4.0318	2.0266	1.9733	549.43	167.69	83.796	30.358	127.75	11.511
510	0.83393	647.9	25.797	833.35	1092.8	3.5339	4.0425	2.0416	1.9919	531.63	166.22	83.013	31.056	123.73	11.702
515	0.90438	641.04	28.093	846.32	1100.9	3.559	4.0532	2.0567	2.0104	513.74	164.62	82.246	31.778	119.81	11.897
520	0.9792	634.01	30.57	859.42	1108.9	3.584	4.0638	2.0716	2.0289	495.76	162.87	81.494	32.53	115.97	12.092
525	1.0586	626.78	33.245	872.65	1116.9	3.6091	4.0744	2.0866	2.0473	477.68	160.97	80.757	33.313	112.22	12.291
530	1.1426	619.32	36.138	886.01	1124.9	3.6342	4.0849	2.1015	2.0657	459.47	158.91	80.038	34.134	108.55	12.491
535	1.2316	611.63	39.27	899.52	1132.8	3.6593	4.0953	2.1165	2.0842	441.11	156.68	79.337	34.997	104.94	12.691
540	1.3257	603.67	42.666	913.17	1140.6	3.6844	4.1056	2.1314	2.1026	422.61	154.26	78.656	35.909	101.4	12.891
545	1.425	595.42	46.358	926.97	1148.3	3.7095	4.1157	2.1464	2.1211	403.92	151.64	77.997	36.879	97.905	13.102
550	1.5299	586.84	50.38	940.94	1156	3.7347	4.1257	2.1614	2.1398	385.02	148.81	77.362	37.915	94.464	13.313
555	1.6406	577.88	54.776	955.09	1163.5	3.76	4.1354	2.1765	2.1585	365.9	145.75	76.754	39.032	91.064	13.522
560	1.7572	568.5	59.601	969.43	1170.8	3.7853	4.1449	2.1918	2.1774	346.5	142.45	76.179	40.244	87.699	13.754
565	1.8801	558.64	64.921	983.97	1177.9	3.8108	4.1541	2.2071	2.1966	326.8	138.87	75.642	41.571	84.361	13.991
570	2.0095	548.2	70.821	998.74	1184.9	3.8364	4.1629	2.2227	2.216	306.73	134.99	75.151	43.039	81.039	14.243
575	2.1457	537.09	77.414	1013.8	1191.5	3.8622	4.1713	2.2386	2.2358	286.25	130.79	74.718	44.68	77.724	14.522
580	2.2892	525.17	84.85	1029.1	1197.8	3.8883	4.1792	2.2549	2.2562	265.27	126.24	74.361	46.538	74.401	14.847
585	2.4403	512.24	93.336	1044.8	1203.7	3.9147	4.1864	2.2717	2.2772	243.7	121.29	74.106	48.672	71.051	15.229
590	2.5994	498.03	103.18	1060.9	1209	3.9416	4.1927	2.2892	2.2991	221.42	115.9	73.997	51.164	67.648	15.703
595	2.7673	482.09	114.84	1077.5	1213.6	3.9691	4.1978	2.3079	2.3222	198.25	110.03	74.112	54.135	64.148	16.322
600	2.9444	463.72	129.1	1094.9	1217.1	3.9976	4.2012	2.3281	2.347	173.97	103.63	74.601	57.789	60.478	17.197
605	3.1319	441.53	147.42	1113.4	1219	4.0276	4.2021	2.3511	2.3744	148.3	96.677	75.795	62.518	56.491	18.519
610	3.331	412.24	173.21	1134	1217.9	4.0608	4.1983	2.3791	2.4059	120.89	89.151	78.514	69.4	51.817	20.781
615	3.5437	362.62	219.56	1160.6	1209.3	4.1033	4.1825	2.4205	2.444	91.742	81.175	87.26	85.1	44.837	25.906

Таблица Б6

## Поля неопределенности расчета плотности

$p$ , МПа	Температура, К														
	180	250	300	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,30	0,40
2,0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,35	0,25	0,25	0,25	0,25	0,30	0,40
3,0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,30	0,40	0,30	0,25	0,25	0,30	0,40
3,5	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,35	0,25	0,30	0,40
4,0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,25	0,8	-	0,40	0,30	0,30	0,40
5,0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,40	0,90	0,70	0,50	0,40	0,40
10,0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,25	0,30	0,80	0,40	0,30	0,40
50,0	0,25	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,25	0,25	0,30	0,30	0,40	0,40
100,0	-	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,30	0,35	0,35	0,35	0,35	0,40	0,40

Таблица Б.7

## Поля неопределенности расчета изобарной теплоемкости

$p$ , МПа	Температура, К														
	180	250	300	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
2,0	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,7	1,0	1,0	0,8	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3
3,0	1,0	1,0	0,7	0,5	0,5	0,5	0,7	1,0	2,0	2,5	1,5	1,0	0,5	0,4	0,4
3,5	1,0	1,0	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	1,5	3,5	3,5	2,0	1,0	0,7	0,4
4,0	1,0	1,0	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	1,0	1,2	2,5	-	2,5	1,5	1,0	0,5
5,0	1,0	1,0	0,9	0,7	0,7	0,7	0,8	1,0	1,2	1,5	2,5	3,0	2,0	1,5	1,0
10,0	1,2	1,2	1,0	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,2	1,2	1,5	1,7	2,0	1,7	1,0
50,0	1,2	1,5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,0

100,0		1,5	1,5	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
-------	--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Таблица Б.8

Поля неопределенности расчета скорости распространения звука

$p$ , МПа	Температура, К														
	180	250	300	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7
2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,5	1,5	0,7	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7
3,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,5	2,5	2,5	1,5	1,0	0,5	0,6	0,7
3,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,5	4,5	4,5	2,0	1,0	0,7	0,7
4,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,5	1,2	5,0	-	2,5	1,5	1,0	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	1,2	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														
	180	250	300	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	2,0	2,0	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	2,0
2,0	2,0	2,0	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	2,0	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	2,0
3,0	2,0	2,0	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	2,0	2,0	2,0	1,8	1,8	1,9	2,0
3,5	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,5	2,5	2,0	1,9	1,9	2,0
4,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,5	-	2,5	2,0	2,0	2,0
5,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,2	2,5	3,0	2,5	2,0	2,0	2,0



10,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,3	2,3	2,3	2,1
50,0	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3
100,0	-	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,5	2,5

Таблица Б.10

Поля неопределенности расчета коэффициента динамической вязкости

$p$ , МПа	Температура, К														
	180	250	300	350	400	450	500	550	600	610	620	630	640	650	700
0,5	10,0	8,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
2,0	10,0	8,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
3,0	10,0	8,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,7	3,0	3,0	2,5	2,0	2,0	1,5	1,5
3,5	10,0	8,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,7	3,0	3,5	3,5	2,5	2,0	1,5	1,5
4,0	10,0	8,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,7	2,8	4,0	-	4,0	3,0	2,5	1,5
5,0	11,0	9,0	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8	3,0	3,0	3,0	3,0	2,7	1,7
10,0	12,0	10,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,8	2,8	2,8	2,8	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0
50,0	15,0	11,0	3,2	3,0	3,0	3,0	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,5
100,0	-	12,0	3,5	3,2	3,2	3,2	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0

Таблица Б11

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

$T$ , К	$\delta p_v$ , %	$\delta \rho_l$ , %	$\delta \rho_v$ , %	$\delta C_p'$ , %	$\delta C_p''$ , %	$\delta h'$ , %	$\delta s'$ , %	$\delta \Delta h_v$ , %	$\delta \lambda'$ , %	$\delta \lambda''$ , %	$\delta \eta'$ , %	$\delta \eta''$ , %
180	1,50	0,15	1,50	0,5	0,5	0,30	0,30	0,5	2,0	2,0	10,0	2,0
250	1,00	0,10	1,00	0,5	0,5	0,30	0,30	0,5	2,0	2,0	8,0	1,5
300	0,30	0,10	0,30	0,5	0,5	0,30	0,30	0,5	2,0	2,0	2,5	1,5
350	0,15	0,10	0,20	0,7	0,6	0,30	0,30	0,5	2,0	2,0	2,5	1,5
400	0,15	0,10	0,25	0,7	0,8	0,30	0,30	0,7	2,0	2,0	2,5	1,5
450	0,15	0,10	0,30	0,8	1,0	0,30	0,30	0,7	2,0	2,0	2,6	2,0
500	0,15	0,15	0,50	0,8	1,5	0,32	0,32	0,8	2,0	2,0	2,7	2,5
550	0,20	0,20	0,8	1,0	2,0	0,32	0,32	1,0	2,2	2,2	3,0	3,0
600	0,30	0,30	1,5	1,5	2,5	0,34	0,34	1,5	2,5	2,5	3,0	3,0
610	0,40	0,80	2,0	2,5	4,0	0,34	0,34	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0
613	0,50	1,50	3,0	3,0	6,0	0,40	0,40	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
615	0,60	2,00	5,0	5,0	8,0	0,45	0,45	5,0	3,5	3,5	3,5	3,5