

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ**

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

Разрешаю на дублирование  
Генеральный директор  
ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»  
 А. А. Коровайцев  
  
«31» октября 2013 г.

УДК 547.216:536.7

**ТАБЛИЦЫ СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ**

**ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА  
УРЕНГОЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ЛИНИИ  
НАЧАЛА КИПЕНИЯ (ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ) И  
В ЖИДКОЙ ФАЗЕ В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 250...600 К  
ПРИ ДАВЛЕНИИ ДО 60 МПа**

**ГСССД 289 – 2013**

**(ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ РЕДАКЦИЯ, тема RU.3.057-2014)**

Москва – 2013

РАЗРАБОТАНЫ ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» с участием специалистов  
Российского Государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина  
докт. техн. наук Григорьева Б. А., докт. техн. наук Герасимова А. А, докт.  
техн. наук Григорьева Е. Б.

ОДОБРЕНЫ экспертной комиссией в составе:

д-ра техн. наук А. Ф. Богатырева,  
д-ра техн. наук М.И. Левинбука,  
канд. физ.-мат. наук Е. Е. Городецкого,  
канд. техн. наук. Ю. В. Мамонова.

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

УТВЕРЖДЕНЫ Федеральным агентством по техническому регулированию  
и метрологии **«31» октября 2013 г. (протокол № 3)**

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА  
СТАНДАРТНЫХ СПРАВЧНЫХ ДАННЫХ**

---

**Таблицы стандартных справочных данных**

Теплофизические свойства газового конденсата  
Уренгойского месторождения на линии начала  
кипения (линия насыщения) и в жидкой фазе  
в диапазоне температур 250...600 К  
при давлении до 60 МПа

**ГСССД  
289–2013**

**Tables of Standard Reference Data**

Thermophysical properties of the gas condensate of  
Urengoy field on the start line  
boiling (saturation line) and in the liquid phase  
in the temperature range 250... 600 K  
at pressures up to 60 MPa

**GSSSD  
289–2013**

---

## ДЕПОНИРОВАННАЯ РУКОПИСЬ

УДК 547.216:536.7

Таблицы стандартных справочных данных ГСССД 289 – 2013. Теплофизические свойства газового конденсата Уренгойского месторождения на линии начала кипения (линии насыщения) и в жидкой фазе в диапазоне температур 250...600 К при давлении до 60 МПа/ Григорьев Б.А., Герасимов А.А., Григорьев Е.Б. Российский научно-исследовательский центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» – М., 2013, – 36 с.: - Ил. - Библиогр. 30 наим. . Депонированы во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» 31.10.2013 г., № 881 – 2013 кк.

На основе современных методов расчета, разработанных на основе многочисленных экспериментальных данных о свойствах углеводородов, нефти, газоконденсатов и их фракций составлены таблицы стандартных справочных данных о теплофизических свойствах газового конденсата Уренгойского газоконденсатного месторождения в диапазоне температур 250...600 К при давлениях 0,1...600 МПа.

Авторы:



Б.А.Григорьев

Герасимов А. А.

Григорьев Е. Б

## 1. АННОТАЦИЯ

Рассчитаны таблицы теплофизических свойств газового конденсата Уренгойского газоконденсатного месторождения в диапазоне температур 250...600 К и давлении до 60 МПа в жидкой фазе, а также на линии начала кипения (линия насыщения).

Составлены таблицы плотности  $\rho(P,T)$ ; изобарной теплоемкости  $C_p(P,T)$ ; удельной энтальпии  $H(P,T)$ ; удельной энтропии  $S(P,T)$ ; коэффициента динамической вязкости  $\eta(P,T)$  и коэффициента теплопроводности  $\lambda(P,T)$  для жидкой фазы.

На линии насыщения рассчитаны значения давления начала кипения  $P'(T)$ , плотности  $\rho'(T)$ , изобарной теплоемкости  $c_p'(T)$ , удельных энтальпии  $H'(T)$  и энтропии  $S'(T)$ ; энтальпии  $\Delta H_v^T$  и энтропии  $\Delta S_v^T$  парообразования при постоянной температуре; поверхностного натяжения  $\sigma'(T)$ .

Расчеты выполнены с использованием уравнений и методов, разработанных на основе анализа многочисленных экспериментальных данных о свойствах нефти, нефтепродуктов, газовых конденсатов и их фракций, углеводородов в широких диапазонах температур и давлений.

## 2. ВВЕДЕНИЕ

На основе современных методов расчета [1,2] составлены таблицы теплофизических свойств газового конденсата Уренгойского месторождения в диапазоне температур 250...600 К и давлений до 60 МПа, включая линию начала кипения. Методы расчета свойств углеводородных систем неопределенного состава, к которым относятся и газоконденсаты, разработаны авторами на основе наиболее надежных и представительных экспериментальных данных [3-15]. База экспериментальных данных включала теплофизическую и физико-химическую информацию более чем о 300-х веществах, представляющих собой нефти и газовые конденсаты различных месторождений и их фракций. Все методы расчета построены в рамках одножидкостной модели [16] с использованием минимальной информации о физико-химических свойствах вещества и о его составе. В качестве показателей, идентифицирующих углеводородную систему, использовались показатель преломления  $n_D^{20}$  при температуре 20°C, относительная плотность  $\rho_4^{20}$ , молярная масса М, кг/моль и среднеобъемная температура кипения  $T_{bv}$ , К.

Представлены только конечные формулы без описания процедуры разработки того или иного метода и сравнения его с существующим. При этом проведенный авторами анализ сравнения с другими методами позволяет считать, что таблицы стандартных справочных данных о свойствах газового конденсата Уренгойского месторождения рассчитаны с использованием наиболее надежных и широко диапазонных методов.

### 3. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГАЗОВОМ КОНДЕНСАТЕ И ЕГО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ

Полные сведения о газоконденсатных характеристиках газового конденсата Уренгойского месторождения приведены в [17].

Конденсат представляет собой жидкость желто-зеленого цвета с характерным запахом сернистых соединений. Содержание серы – 1,55% массовых, твердых парафинов – 1,94%, смол – 1,41%. Массовая доля метанонафтяных углеводородов – 66%, ароматических – 34%. В таблице 1 приведены фракционный состав и физико-химические свойства конденсата, с использованием которых рассчитывались таблицы теплофизических свойств.

Таблица 1

Фракционный состав и физико-химические свойства конденсата  
Уренгойского месторождения

|   |    |        |
|---|----|--------|
| Температура начала кипения, °С                  | 0  | 70     |
| Температура °С отгона, % (по объему)            | 10 | 100    |
|   | 30 | 120    |
|   | 50 | 134    |
|   | 70 | 166    |
|   | 90 | 238    |
| Показатель преломления, $n_D^{20}$              |    | 1,4300 |
| Относительная плотность, $\rho_4^{20}$          |    | 0,7708 |
| Молярная масса, М                               |    | 119,0  |
| Среднеобъемная температура кипения $T_{bv}$ , К |    | 424,75 |

## 4. Уравнения и методы расчета таблиц теплофизических свойств газового конденсата Уренгойского месторождения

### 4.1 Теплофизические свойства на линии начала кипения (насыщения)

4.1.1 Давление начала кипения  $p'(T)$  рассчитывалось как среднее результатов, полученных по уравнениям состояния Соава [18] и Брусиловского [19].

Уравнение состояния Соава [18]

$$p = \frac{RT}{V - b} - \frac{a\alpha}{V(V + b)}, \quad (1)$$

Параметры:

$$a = 0,42748R^2T_c^2/p_c; \quad b = 0,08664RT_c/p_c;$$

$$\alpha = \{1 + [0,48508 + (1,551716\omega - 0,1561\omega^2)](1 - T_r^{0,5})\}^2;$$

$$A = a\alpha p/R^2T^2 = 0,45724\alpha p_r/T_r^2; \quad B = bp/RT = 0,07780p_r/T_r.$$

где  $R = 8,31441 \frac{\text{Дж}}{(\text{ммоль} \cdot \text{К})}$  - универсальная газовая постоянная;

$T_c, K, p_c, \text{ МПа}$  – критические соответственно температура и давление;  $T_r = T/T_c$ ,

$p_r = p/p_c$  приведенные соответственно температура и давление;

$\omega$  – фактор ацентричности Питцера [1, 29].

Уравнение состояния Брусиловского [19]

$$p = \frac{RT}{V - b} - \frac{a\alpha}{(V + c)(V + d)}, \quad (2)$$

Параметры:

$$a = \alpha R^2T_c^2[1 + \psi(1 - T_r^{0,5})]^2/p_c; \quad A = \alpha p/R^2T^2;$$

$$b = \beta RT_c/p_c; \quad B = bp/RT;$$

$$c = \sigma RT_c/p_c; \quad C = cp/RT;$$

$$d = \delta RT_c/p_c; \quad D = dp/RT;$$

$$\alpha = \Omega_c^3; \quad \beta = Z_c^* + \Omega_c - 1;$$

$$\delta = -Z_c^* + \Omega_c[0,5 - (\Omega_c - 0,75)^{0,5}].$$



$$Z_c^* = 0,3357 - 0,0294\omega;$$

$$\Psi = 1,050 + 0,105\omega + 0,428\omega^2 \text{ при } \omega < 0,4489;$$

$$\Psi = 0,429 + 1,004\omega + 1,561\omega^2 \text{ при } \omega \geq 0,4489.$$

В таблице Р1 приведены значения  $\rho'(T)$ . Относительная стандартная неопределенность расчетных значений давления начала кипения составляет 8,0 %.

#### 4.1.2 Плотность жидкой фазы на линии начала кипения $\rho'(T)$

$\rho'(T)$  рассчитывалась как среднее результатов, полученных по формулам (3) и (6), предложенных соответственно в работах [7] и [20] и скорректированных авторами,

Расчет плотности  $\rho'(T)$  на линии начала кипения по методике [7] проводится по уравнению

$$\rho' / \rho'_{\tau=0} = \sum_{i=0}^2 a_i (1-\tau)^{i/3}, \quad (3)$$

где  $a_0=0,409622$ ;  $a_1=0,5920194$ ;  $a_2=0,430023$ .

Реперное значение плотности  $\rho'_{\tau=0,7}$  при приведенной температуре  $\tau=0,7$  определялось по формуле

$$\rho'_{\tau=0,7} = \sum_{i=0}^3 b_i c^i, \quad (4)$$

где  $b_0=576,330$ ;  $b_1=354,553$ ;  $b_2=1307,602$ ;  $b_3=-3512,286$ .

$c$  – коррелирующий параметр, учитывающий индивидуально-групповые особенности газоконденсата

$$c = \rho_{20}^{2K} / \rho_{20}^{нен} - \tau_b^{2K} / \tau_b^{нен}, \quad (5)$$

где  $\rho_{20}^{2K}$  - плотность газоконденсата при температуре 20°C;

$\rho_{20}^{пен}$  - плотность пентана при температуре 20°C ( $\rho_{20}^{не}$ =626 кг/м<sup>3</sup>);

$\tau_b^{эк} = \frac{T_{bv}^{эк}}{T_{pc}^{эк}}$  - приведенная среднеобъемная температура кипения

газоконденсата;

$\tau_b^{пен} = \frac{T_b^{пен}}{T_c^{эк}}$  - приведенная нормальная температура кипения пентана

( $\tau_6^{не}$ =0,6584).

Расчет плотности  $\rho'(T)$  на линии начала кипения по методике [20] проводится по уравнению:

$$(\rho' / \rho_c - 1) = B(1 - \tau)^\beta + (B - 1)(1 - \tau), \quad (6)$$

где  $B$  – индивидуальный для каждого вещества коэффициент;

$\beta = 0,325$  – критический показатель кривой сосуществования.

$$B = [(\rho_0 / \rho_{pc} - 1) + (1 - \tau_0)] / [(1 - \tau_0)^\beta + (1 - \tau_0)], \quad (7)$$

где  $\rho_0$  – плотность при температуре  $T_0$ ;

$\tau_0 = T_0 / T_{pc}$  - приведенная температура.

Здесь  $T_0 = 293,15$  К,  $T_{pc}$  – псевдокритическая температура.

В таблице Р1 приведены рассчитанные значения плотности  $\rho'$  газового конденсата в диапазоне температур 250...600 К и давлении до 60 МПа (стандартная неопределенность расчетных значений  $\rho'$  составляет 0,46 %).

4.1.3 Изобарная теплоемкость газового конденсата на линии начала кипения  $C_p'(T)$  рассчитывалась как среднее результатов, полученных по формулам (8) [21] и (9) [6]:

$$\frac{c_p' - c_p^0}{R} = \frac{c_0 + c_1\omega + c_2(1-\tau)^4 + c_3\omega(1-\tau)^4}{1 + c_4\omega + c_5\tau} + c_6(1-\tau)^{-1.1} + c_7\omega(1-\tau)^{-1.1}, \quad (8)$$

где  $c_p', c_p^0$  – изобарные теплоемкости соответственно на линии начала кипения и в идеальном газовом состоянии, кДж/(кмоль·К);

$\tau = T/T_{nc}$  – приведенная температура;  $T_{nc}$  – псевдокритическая температура газового конденсата;

$c_0 = 2,036014$ ;  $c_1 = 8,04181$ ;  $c_2 = -7,165011$ ;  $c_3 = 75,20381$ ;  $c_4 = 0,115$ ;  $c_5 = -0,359$ ;  
 $c_6 = 0,2209837$ ;  $c_7 = 0,3338437$ .

$$\Delta c_p' = c_0 + c_1\omega + c_2(1+\omega)(1-\tau)^3 + c_3(1+\omega)\tau + c_4(1-\tau)^{-0.8} \exp[-5(1/\tau - 1)], \quad (9)$$

где  $c_0 = -30,0334$ ;  $c_1 = 32,2544$ ;  $c_2 = 174,099$ ;  $c_3 = 75,6304$ ;  $c_4 = 11,01534$ ;  $c_5 = -13,974$ ;

$\Delta c_p'$ , кДж/(кмоль·К);  $\tau = T/T_c$ ;  $T_c$  – критическая температура газового конденсата.

В таблице Р1 приведены рассчитанные значения изобарной теплоемкости  $C_p'$  газового конденсата Уренгойского месторождения (стандартная неопределенность расчетных значений составляет 1,2%).

4.1.4 Энтальпия газового конденсата на линии начала кипения  $H'(T)$  рассчитывалась по формулам (10) и (11) [1, 6]

$$\left[ (H_c - H_c^0) - (H' - H^0) \right] / RT_c = h_1(1-\tau) + h_2(1-\tau)^2 + h_3(1-\tau)^{\beta_0} + \omega \left[ h_4(1-\tau) + h_5(1-\tau)^2 + h_6(1-\tau)^{\beta_1} \right], \quad (10)$$

где  $H_c$ , кДж/кг – значение энтальпии в критической точке;

$H^0$ ,  $H_c^0$  кДж/кг – значения энтальпии в идеальном газовом состоянии соответственно при температуре  $T$  и критической температуре  $T_c$ ;

$h_1 = 0,34384$ ;  $h_2 = -2,3010$ ;  $h_3 = 4,14444$ ;  $h_4 = -4,5433$ ;  $h_5 = 20,3731$ ;  $h_6 = 6,6264$ ;

$\beta_0 = 0,442$ ;  $\beta_1 = 0,403$ .

$$(H_c - H_c^0) / RT_c = 5,5944 - 10,058\omega + 23,67\omega^2, \quad (11)$$

В таблице Р1 приведены рассчитанные значения энтальпии Н' газового конденсата на линии начала кипения (стандартная неопределенность расчетных значений составляет 2,73 кДж/кг).

4.1.5 Энтропия газового конденсата на линии начала кипения S' рассчитывалась по формулам (12) и (13) [1, 6]:

$$\left[ (S_c - S_c^0) - (S' - S^0) \right] / R = s_1(1-\tau) / \tau + s_2(1-\tau)^2 / \tau + s_3(1-\tau)^{\beta_0} / \tau + \omega \left[ s_4(1-\tau) / \tau + s_5(1-\tau)^2 / \tau + s_6(1-\tau)^{\beta_1} / \tau \right], \quad (12)$$

где  $s_1 = 2,03515$ ;  $s_2 = -6,001$ ;  $s_3 = 2,26998$ ;  $s_4 = -9,5620$ ;  $s_5 = 14,830$ ;  $s_6 = 9,25085$ ;

$\beta_0 = 0,332$ ;  $\beta_1 = 0,409$ .

$$(S_c - S_c^0) / R = 7,5259 - 19,4864\omega + 42,21\omega^2, \quad (13)$$

где  $S_c$ , кДж/(кг·К) – значения энтропии в критической точке;

$S^0$  и  $S_c^0$  кДж/(кг·К) - значения энтропии в идеально-газовом состоянии соответственно при температуре Т и критической температуре  $T_c$ .

В таблице Р1 приведены рассчитанные значения энтропии S' газового конденсата на линии начала кипения (стандартная неопределенность расчетных значений составляет 0,09 кДж/(кг·К)).

4.1.6 Энтальпия  $\Delta H_v^T$  парообразования газового конденсата при постоянной температуре рассчитывалась по формуле (14) [1, 6]:

$$\Delta H_v^T / RT_c = 7,086(1-\tau)^{0,349} + 12,04\omega(1-\tau)^{0,446}, \quad (14)$$

В таблице Р1 приведены рассчитанные значения  $\Delta H_v^T$ . Стандартная неопределенность расчетных значений составляет 1,50%.

4.1.7 Энтропия  $\Delta S_v^T$  парообразования газового конденсата при постоянной

температуре рассчитывалась как среднее результатов, полученных по формулам (15) и (16) [1, 6]:

$$\Delta S_V^T / R = 6,298(1-\tau)^{0,338} / \tau + 15087(1-\tau)^{0,452} \omega / \tau + 1822(1-\tau)\alpha - 30555(1-\tau)\alpha\alpha, \quad (15)$$

$$\Delta S_V^T / R = 5,984(1-\tau)^{0,318} / \tau + 13995(1-\tau)^{0,460} \omega / \tau + 6,841(1-\tau) - 1965(1-\tau)\omega, \quad (16)$$

В таблице Р1 приведены рассчитанные значения  $\Delta S_V^T$ . Стандартная неопределенность расчетных значений составляет 2,20%.

4.1.8 Поверхностное натяжение  $\sigma(T)$  на линии начала кипения рассчитывалось как среднее результатов, полученных по формулам (17) [22, 23] и (19) [1]:

$$\sigma = \sigma_{20} \left[ (T_{pc} - T) / (T_{pc} - 293,15) \right]^{1,19}, \quad (17)$$

где  $\sigma_{20}$ , мН/м – поверхностное натяжение при температуре 20°C – рассчитывается по формуле

$$\sigma_{20} = 16,83 \left( \rho_4^{20} \right)^{1,477} M^{0,1547}, \quad (18)$$

$$\sigma^* = \sigma / \sigma_{0,6} = 3,6373(1-\tau)^{1,26} - 0,7149(1-\tau)^{1,76}, \quad (19)$$

где  $\sigma_{0,6}$  – реперное значение поверхностного натяжения при  $\tau=0,6$ .

$\sigma_{0,6}^*$  определяется из критериальной зависимости.

$$\sigma_{0,6}^* = \frac{\sigma_{0,6}}{\kappa^{1/3} p_{pc}^{2/3} T_{pc}^{1/3}} \sum_{j=0}^3 a_j A^j, \quad (20)$$

где  $a_0 = 6,392$ ;  $a_1 = -2,176$ ;  $a_2 = 0,6012$ ;  $a_3 = -0,0639$ ;  $A$  – критерий Филиппова;

$K=1,38054 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;  $P_{pc}$ , Н/м<sup>2</sup>;  $T_{pc}$ , К.

Безразмерные значения  $\square_{0,6}^*$  аппроксимированы уравнением

$$\sigma_{0,6}^* = \exp \left[ s_0 + s_1 M / 100 + s_2 (\rho_4^{20})^3 + s_3 10 \ln(n_D^{20}) + s_4 Y + s_5 Y(k_w - 10) \right], \quad (21)$$

$K_W$  – фактор Ватсона;  $Y = 100 R_E (n_D^{20} - \rho_4^{20}) / M$ ;  $R_E$  – удельная рефракция по Эйкману;

$$s_0 = 9,774502; s_1 = 0,1631078; s_2 = 1,124604; s_3 = -0,5296408; s_4 = -0,8197291; \\ s_5 = 0,2082522.$$

В таблице Р1 приведены рассчитанные значения  $\square'$  газового конденсата. Стандартная неопределенность расчетных значений составляет 1,60%.

4.1.9 Коэффициент динамической вязкости на линии начала кипения  $\eta'$  рассчитывался как среднее результатов полученных по формулам (22) [1, 24] и (33) [1, 25]:

$$\ln \eta^* = A + (B_0 + B_1 / \tau) \varphi_i / (\varphi - \varphi_i), \quad (22)$$

где  $\eta^*$  – приведенная вязкость;  $\tau = T/T_{pc}$ ;  $\varphi = V/V_{pc}$ ;  $\varphi_i = V_i/V_{pc}$ ;  $T_{pc}$ ,  $V_{pc}$  – значения псевдокритических соответственно температуры и молярного объема.

Приведенная вязкость рассчитывается по формуле

$$\eta^* = (\eta' - \eta^0) V^{2/3} / (MT)^{1/2}, \quad (23)$$

где  $\eta'$  – коэффициент динамической вязкости на линии начала кипения, МПа·с;  $\eta^0$  – коэффициент динамической вязкости разреженного газа МПа·с;  $M$  – масса

киломоля, кг/кмоль.

Вязкость разряженного газа при  $\tau < 1,5$  определяется по формуле Стила и Тодоса

$$\eta^0 \xi = 1,5643 \tau^{0,94}, \quad (24)$$

где  $\xi = T_{pc}^{1/6} / M^{1/2} / P_{pc}^{2/3}$  - комплекс Камеринг-Онесса [20, 27]

Коэффициенты уравнения (22) рассчитываются по двух параметрическим зависимостям вида

$$A = Z_0 + Z_1 Y + Z_2 Y^2 + Z_3 K_W + Z_4 Y / (K_W - 9), \quad (25)$$

$$\varphi_i = Z_0 + Z_1 Y + Z_2 Y^2 + Z_3 K_W + Z_4 Y / (K_W - 9), \quad (26)$$

$$B_0 = Z_0 + Z_1 \omega + Z_2 \omega^2 + Z_3 K_W + Z_4 \omega / (K_W - 9), \quad (27)$$

$$B_1 = Z_0 + Z_1 \omega + Z_2 \omega^2 + Z_3 K_W + Z_4 \omega / (K_W - 9), \quad (28)$$

где  $K_W$  – фактор Ватсона;  $Y$  – характеристический комплекс, учитывающий ацентричность молекул

$$K_W = 1,216 (T_{bv})^{1/3} / \rho_{15}^{15}, \quad (29)$$

$$Y = 100 \left[ \left( n_D^{20} \right)^2 - 1 \right] \left( n_D^{20} - \rho_4^{20} \right) / \left[ M \rho_4^{20} \left( n_D^{20} + 0,4 \right) \right], \quad (30)$$

где  $\rho_4^{20}$ ,  $n_D^{20}$  – соответственно относительная плотность и показатель преломления при температуре  $t = 20^\circ\text{C}$ ;

$\rho_{15}^{15}$  - относительная плотность при температуре  $t = 15^\circ\text{C}$ .

$$\rho_{15}^{15} = 1,0009 \left[ \rho_4^{20} - \gamma(15 - \lambda_0) \right], \quad (31)$$

где  $\gamma$  – температурная поправка плотности [28]

$$\gamma = \left[ 1,706 - 43,65 / MR_E \right]^{-1}. \quad (32)$$

Значения коэффициентов  $Z_i$  представлены в таблице 2

Таблица 2

Значения коэффициентов в уравнениях (26-29)

| Коэф-<br>фициент | $Z_0$     | $Z_1$                   | $Z_2$     | $Z_3$                    | $Z_4$                    |
|------------------|-----------|-------------------------|-----------|--------------------------|--------------------------|
| $A$              | 5,86558   | -12,63934               | 15,33584  | -0,132716                | 0,777644                 |
| $B_0$            | -2,070435 | -1,526733               | 0,495741  | 0,320887                 | $-2,84315 \cdot 10^{-2}$ |
| $B_1$            | 1,472011  | 0,3733031               | 0,2330461 | $-9,69232 \cdot 10^{-2}$ | -1,653622                |
| $\varphi_i$      | 0,264004  | $9,47343 \cdot 10^{-2}$ | -0,186951 | $-3,34258 \cdot 10^{-3}$ | $7,66749 \cdot 10^{-3}$  |

$$\Delta\eta^* = \exp \left[ AX^{1,5} + BX^3 + CX^8 + DX^{10,5} \ln(\tau_\xi) \right] - 1, \quad (33)$$

где  $\Delta\eta^*$  - приведенная вязкость определяется по (23), переменная  $X$  – по соотношению

$$X = \rho_\xi^* / \left[ \tau_\xi^{\rho_1} \right], \quad (34)$$



где  $\tau_{\xi} = T / T_{\xi}$ ;  $\rho_{\xi}^* = \rho / \rho_{\xi}$ ;  $\rho_1 = 0,1(\nu_{\xi}^*)^5$ ;  $T_{\xi}$  – температура фиксированного значения приведенной вязкости;  $\rho$  – плотность при температуре  $T$ , кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\xi}$  – плотность, кг/м<sup>3</sup> при температуре  $T_{\xi}$ , К и давлении  $P_{pc}$ , МПа.

Расчет температуры  $T_{\xi}$  проводится по двух параметрическому уравнению

$$\begin{aligned} T_{\xi} / T_{pc} = & 0,6592591 - 0,1709597Y - 0,01088077K_w - \\ & - 0,0721121Y / (K_w - 9) + 0,1077843Y^2 + 0,0226019(M / 100), \end{aligned} \quad (35)$$

где  $Y$  – характеристический комплекс, определяемый по формуле (30);  $K_w$  – фактор Ватсона, определяемый по формуле (29).

Коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  в (33) зависят от индивидуальных свойств жидкости и определяются по соотношению

$$F = f_0 + f_1Y + f_2(K_w / 10) + f_3(K_w / 10)^2, \quad (36)$$

Значения коэффициентов уравнения (33), аппроксимированных зависимостью (36) представлены в таблице 3.

Таблица 3

Значения коэффициентов уравнения (33), (36)

| Коэффициент | $f_0$      | $f_1$      | $f_2$      | $f_3$      |
|-------------|------------|------------|------------|------------|
| $A$         | -75,095609 | 7,7282428  | 139,27582  | -61,990086 |
| $B$         | 131,62054  | -10,954723 | -231,37228 | 102,94091  |
| $C$         | -48,221585 | 3,2622499  | 84,669971  | -37,267337 |
| $D$         | -24,118043 | 0,05563355 | 41,902559  | -18,234842 |

В таблице Р1 приведены значения  $\eta'$  газового конденсата на линии начала кипения.

Стандартная неопределенность расчетных значений составляет 8,5%.

4.1.10 Коэффициент теплопроводности  $\lambda'$  на линии начала кипения рассчитывался как среднее результатов полученных по формулам (37) [26], (38), (42) [1, 3, 5].

$$\lambda' = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^2 a_{ij} \tau^i A^j, \quad (37)$$

где  $\tau = T/T_{pc}$ ;  $A$  – определяющий критерий подобия Филиппова [56, 61, 62, 66].

$$A = 100\pi\tau = 0,625, \quad (38)$$

Коэффициенты уравнения (37) представлены в таблице 4.

Таблица 4

Значения коэффициентов  $a_{ij}$  уравнения (38)

| $i$ | $j = 0$   | $j = 1$   | $j = 2$   |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| 0   | 0,185670  | -0,037531 | 0,032386  |
| 1   | -0,128972 | 0,031435  | -0,032526 |

Формулы (39) и (42) представляют собой результат близких по точности методик, разработанных авторами [1, 3, 5].

Первая форма уравнения имеет вид

$$\Delta\lambda^* = \frac{C_1\rho_\lambda^* + C_2\rho_\lambda^* / \tau_\lambda + C_3\rho_\lambda^* / \tau_\lambda^2 + C_4\rho_\lambda^{*2} / \tau_\lambda^3}{1 + C_5\rho_\lambda^* / \tau_\lambda^5}, \quad (39)$$

где  $\Delta\lambda^* = (\lambda - \lambda^0) \Lambda_\lambda \cdot 10^4$ ;  $\Lambda_\lambda = 1 / (T^{1/2} M^{1/6} \rho^{2/3})$ ;  $\lambda, \lambda^0$ , Вт/(м·К);  $\rho_\lambda^* = \rho / \rho_\lambda$ ;  
 $\tau_\lambda = T / T_\lambda$ .

Температура фиксированного значения теплопроводности рассчитывается по уравнению

$$T_\lambda / T_{pc} = c_0 + c_1 Y + c_2 Y^2 + c_3 (K_w - 10) + c_4 (K_w - 10)^2 + c_5 Y (K_w - 10),$$

где  $Y = R_E (n_D^{20} - \rho_4^{20}) / M$ ;  $c_0 = 0,180689$ ;  $c_1 = 1,279527$ ;  $c_2 = -0,443805$ ;

$$c_3 = 0,032758; c_4 = 0,020290; c_5 = -0,180112.$$

Плотность  $\rho$  рассчитывается по УС (47)[1]. Опорное значение плотности  $\rho_\lambda$  при температуре  $T_\lambda$  и давлении  $P = P_{pc}$  также рассчитывается по УС (47).

Теплопроводность разреженного газа  $\lambda^0$  рассчитывается по формуле

$$\lambda^0 \cdot 10^3 = \frac{\eta^0}{M} (16,75 + 1,15 C_v^\infty), \quad (40)$$

где  $\lambda^0$ , Вт/(м·К);  $\eta^0$ , мкПа·с;  $C_v^\infty$  - изохорная теплоемкость в состоянии идеального газа, кДж/(кмоль·К);  $M$  - молярная масса, кг/кмоль.

Величину  $\eta^0$  рассчитывают по формуле Стила и Тодоса (24), а идеально-газовую теплоемкость определяют по разработанной нами  $n$ - $p$ - $M$  - методике (см.[1])

Коэффициенты  $C_i$  уравнения (39) были аппроксимированы двухпараметрической зависимостью (41). Значения коэффициентов  $c_{ij}$  представлены в табл. 5

$$C_i = c_{i0} + c_{i1} Y + c_{i2} (K_w - 10) + c_{i3} Y (K_w - 10) + c_{i4} Y^2, \quad (41)$$

Значения коэффициентов  $c_{ij}$  уравнения (41)

| $c_{ij}$ | $C_1$                    | $C_2$     | $C_3$     | $C_4$     | $C_5$     |
|----------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $c_{i0}$ | $0,204390 \cdot 10^{-2}$ | 1,680487  | -2,904145 | 1,686053  | 0,838634  |
| $c_{i1}$ | -0,695245                | -1,122808 | 4,206791  | -2,740641 | -1,296082 |
| $c_{i2}$ | -0,229917                | 0,313671  | 0,190280  | -0,341391 | -0,264053 |
| $c_{i3}$ | 0,116596                 | -0,034522 | -0,597869 | 0,646504  | 0,479159  |
| $c_{i4}$ | 1,476049                 | -1,496842 | -0,525802 | 0,549570  | 0,0       |

Вторая формула (уравнение (42)) была установлена в результате анализа экспериментальных данных. В основу её положен экспериментально установленный факт – прямолинейный (либо близкий к нему) характер изотерм теплопроводности в жидкой фазе. В безразмерной форме интерполяционное уравнение имеет вид

$$\Delta\lambda^* = A(\tau_\lambda)\rho_\lambda^{*2} + B(\tau_\lambda)\rho_\lambda^{*8}, \quad (42)$$

$$A(\tau_\lambda) = A_0 + A_1/\tau_\lambda + A_2/\tau_\lambda^2, \quad (43)$$

$$B(\tau_\lambda) = B_0 + B_1/\tau_\lambda. \quad (44)$$

Анализ зависимости коэффициентов  $A_i$  и  $B_i$  в уравнениях (43) и (44) показал, что эти зависимости также являются многофакторными, но с достаточной точностью для обобщения может быть использована двухпараметрическая зависимость (41). То есть коэффициенты  $A_i$  и  $B_i$  определяются по уравнениям

$$A_i = a_{i0} + a_{i1}Y + a_{i2}(K_w - 10) + a_{i3}Y(K_w - 10) + a_{i4}Y^2, \quad (45)$$

$$B_i = b_{i0} + b_{i1}Y + b_{i2}(K_w - 10) + b_{i3}Y(K_w - 10) + b_{i4}Y^2. \quad (46)$$

Значения коэффициентов  $a_{ij}$  и  $b_{ij}$  представлены в табл. 6.

Таблица 6

Значения коэффициентов  $a_{ij}$  и  $b_{ij}$  в уравнениях (45), (46)

| $i,j$ | $A_0$       | $A_1$      | $A_2$       | $B_0$       | $B_1$       |
|-------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| $i,0$ | 0,15519727  | 0,5273538  | -0,39723886 | -0,33422569 | 0,30709824  |
| $i,1$ | 0,24478143  | -2,612638  | 2,3526207   | 1,5774289   | -1,5849624  |
| $i,2$ | -0,12682638 | 0,26076327 | -0,18329726 | 0,007405679 | 0,03780367  |
| $i,3$ | 0,54566064  | -1,7456126 | 1,2611914   | 0,53715452  | -0,58605539 |
| $i,4$ | -2,3297041  | 9,6474196  | -7,3137163  | -4,0344172  | 4,0298514   |

В таблице Р1 приведены рассчитанные значения  $\lambda'$  на линии начала кипения газового конденсата. Стандартная неопределенность расчетных значений  $\lambda'$  составляет 3,5%.

## 4.2 Теплофизические свойства газового конденсата Уренгойского месторождения в жидкой фазе в диапазоне температур 250...600 К и давлений до 60 МПа

4.2.1 Плотность  $\rho$  рассчитывалась по локальному термическому уравнению состояния

$$P = K(\tau) \rho^2 + L(\tau) \rho^8 \quad (47)$$

где температурные функции  $K(\tau)$  и  $L(\tau)$  определяются по уравнениям

$$K^*(\tau) = K(\tau)/K(\tau_0) = \sum_{i=1}^3 k_i \tau^i, \quad (48)$$

$$L^*(\tau) = L(\tau)/L(\tau_0) = \sum_{i=1}^3 l_i \tau^i, \quad (49)$$

где при  $T_{pc} \leq 750$  К,  $\tau_0 = 0,6$ ;

$$k_0 = 5,194997; k_1 = -11,56064; k_2 = 9,482536; k_3 = -3,127349;$$

$$l_0 = 0,6243408; l_1 = 0,838046; l_2 = 1,007374; l_3 = 1,081703.$$

Опорные значения коэффициентов определяются по соотношениям

$$K(\tau_0)(\rho_4^{20})^2 = k_0 + k_1 T_{pc} + k_2[(13 - K_w)(10 - K_w)] + k_3 \omega, \quad (50)$$

$$L(\tau_0)(\rho_4^{20})^8 = l_0 + l_1 T_{pc} + l_2[(13 - K_w)(10 - K_w)] + l_3 \omega, \quad (51)$$

где  $k_0 = 29,40516$ ;  $k_1 = -0,3175597$ ;  $k_2 = 2,186032$ ;  $k_3 = 130,6964$ ;

$$l_0 = -375,9973; l_1 = 1,075399; l_2 = 3,413777; l_3 = -212,4517.$$

Для повышения точности расчетов проведена корректировка значений коэффициентов уравнения (47) по экспериментальному значению относительной плотности  $\rho_4^{20}$ . Скорректированные значения коэффициентов определяются по соотношениям: в таблице Р3 приведены рассчитанные значения изобарной теплоемкости газового конденсата Уренгойского месторождения.  $K' = K_{\text{cor}}^2$ ,  $L' = L_{\text{cor}}^8$ ,  $\text{cor} = 1000 \rho_4^{20} / \rho_{20}^{\text{расч}}$ , где  $\rho_{20}^{\text{расч}}$  – значение плотности при атмосферном давлении ( $\text{кг/м}^3$ ) и температуре  $T_0 = 293,15 \text{ К}$ , рассчитанное по уравнению (47) без корректировки коэффициентов.

В таблице Р2 приведены значения плотности газового конденсата; стандартная неопределенность расчетных значений составляет 0,80%.

4.2.2 Изобарная теплоемкость  $C_p$  рассчитывалась по уравнениям (8) и (47) с использованием аппарата дифференциальной термодинамики [30].

В частности, из уравнения состояния в форме (47) следует

$$C_p(p, T) = C_p(p_1, T) + T[(K' \rho^2 + L' \rho^8)^2 / (2K\rho^3 + 8L\rho^9) - (K' \rho_1^2 + L' \rho_1^8)^2 / (2K\rho_1^3 + 8L\rho_1^9) - K''(\rho - \rho_1) - L''(\rho^7 - \rho_1^7) / 7], \quad (48)$$

где нижний индекс «1» относит соответствующее свойство к атмосферному давлению, либо давлению насыщения;  $K, L, K', L', K'', L''$  — соответственно

температурные функции уравнения состояния (47) и их первые и вторые производные.

В таблице Р3 приведены рассчитанные значения изобарной теплоемкости газового конденсата Уренгойского месторождения. Стандартная неопределенность расчетных значений составляет 1,22%.

4.2.3 Энтальпия  $H(P,T)$  и энтропия  $S(P,T)$  рассчитывались по уравнению состояния (47) с использованием дифференциальных уравнений термодинамики [30] и уравнений (10) и (12).

В частности из уравнения состояния в форме (47) следует

$$h(p,T)-h(p_1,T) = (2K(T) - TK(T)')p + (8L(T) - TL(T)')p^{7/7} - (2K(T) - TK(T)')p_1 + (8L(T) - TL(T)')p_1^{7/7} \quad (49)$$

$$S(p,T)-S(p_1,T) = -(K(T)'p + L(T)')p^{7/7} - K(T)p_1 - L(T)'p_1^{7/7} \quad (50)$$

В таблицах Р4 и Р5 приведены рассчитанные значения соответственно энтальпии и энтропии газового конденсата. Стандартная неопределенность расчетных значений  $H(P, T)$  и  $S(P, T)$  составляют соответственно 2,7 кДж/кг и 0,009 кДж/(кг·К).

4.2.4 Коэффициент динамической вязкости  $\eta(P,T)$  газового конденсата рассчитывали как среднее результатов, полученных по формулам (22) и (33). В таблице Р6 приведены результаты расчета. Стандартная неопределенность расчетных значений составляет 8,5%.

4.2.5 Коэффициент теплопроводности  $\lambda (P,T)$  газового конденсата рассчитывался как среднее результатов, полученных по формулам (38) и (42). В таблице Р7 приведены результаты расчета. Стандартная неопределенность расчетных значений составляет 3,0%.

Таблица Р1

Теплофизические свойства газового конденсата Уренгойского месторождения  
на линии насыщения

| T, К | p, МПа                | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $c_p$ , кДж/(кг·К) | h, кДж/кг | s, кДж/(кг·К) | $\Delta h_V^T$ ,<br>кДж/кг | $\Delta s_V^T$ ,<br>кДж/(кг·К) | $\sigma$ , мН/м | $\eta$ , мкПа·с | $\lambda \cdot 10^4$ ,<br>Вт/(м·К) |
|------|-----------------------|----------------------------|--------------------|-----------|---------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|
| 250  | $1,420 \cdot 10^{-4}$ | 802,95                     | 1,9117             | -100,8    | -0,2496       | 416,8                      | 1,707                          | 27,84           | 1689,7          | 1209,7                             |
| 260  | $3,193 \cdot 10^{-4}$ | 795,63                     | 1,9389             | *81,52    | -0,1997       | 412,3                      | 1,626                          | 26,92           | 1348,9          | 1201,5                             |
| 270  | $6,662 \cdot 10^{-4}$ | 788,23                     | 1,9684             | -61,76    | -0,1498       | 407,7                      | 1,55                           | 26,02           | 1110,1          | 1190,8                             |
| 280  | $1,301 \cdot 10^{-3}$ | 780,75                     | 1,9999             | -41,58    | -0,0998       | 403,0                      | 1,478                          | 25,11           | 935,59          | 1177,8                             |
| 290  | $2,398 \cdot 10^{-3}$ | 773,19                     | 2,0333             | -20,99    | -0,0499       | 398,2                      | 1,412                          | 24,22           | 803,51          | 1162,8                             |
| 300  | $4,195 \cdot 10^{-3}$ | 765,55                     | 2,0684             | 0         | 0             | 393,3                      | 1,349                          | 23,32           | 700,39          | 1146,2                             |
| 310  | $7,005 \cdot 10^{-3}$ | 757,82                     | 2,1051             | 21,40     | 0,0498        | 388,4                      | 1,290                          | 22,43           | 618,00          | 1128,4                             |
| 320  | $1,122 \cdot 10^{-2}$ | 750,00                     | 2,1433             | 43,20     | 0,0997        | 383,3                      | 1,234                          | 21,55           | 550,69          | 1109,4                             |
| 330  | $1,731 \cdot 10^{-2}$ | 742,07                     | 2,1828             | 65,41     | 0,1494        | 378,1                      | 1,181                          | 20,67           | 494,73          | 1089,8                             |
| 340  | $2,583 \cdot 10^{-2}$ | 734,04                     | 2,2236             | 88,01     | 0,1991        | 372,9                      | 1,131                          | 19,80           | 447,54          | 1069,5                             |
| 350  | $3,738 \cdot 10^{-2}$ | 725,90                     | 2,2655             | 111,0     | 0,2487        | 367,4                      | 1,083                          | 18,93           | 407,17          | 1048,8                             |
| 360  | $5,262 \cdot 10^{-2}$ | 717,64                     | 2,3085             | 134,4     | 0,2982        | 361,9                      | 1,038                          | 18,07           | 372,19          | 1027,9                             |
| 370  | $7,224 \cdot 10^{-2}$ | 709,25                     | 2,3524             | 158,2     | 0,3476        | 356,2                      | 0,9947                         | 17,21           | 341,63          | 1006,9                             |
| 380  | $9,694 \cdot 10^{-2}$ | 700,72                     | 2,3972             | 182,3     | 0,3969        | 350,4                      | 0,9529                         | 16,36           | 314,70          | 985,80                             |
| 390  | 0,1274                | 692,05                     | 2,4428             | 206,9     | 0,4460        | 344,5                      | 0,9127                         | 15,51           | 290,74          | 964,73                             |



Продолжение таблицы P1

| T, K | p, МПа  | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $c_p$ , кДж/(кг·K) | h, кДж/кг | s, кДж/(кг·K) | $\Delta h_V^T$ ,<br>кДж/кг | $\Delta s_V^T$ ,<br>кДж/(кг·K) | $\sigma$ , мН/м | $\eta$ , мкПа·с | $\lambda \cdot 10^4$ ,<br>Вт/(м·K) |
|------|---------|----------------------------|--------------------|-----------|---------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|
| 400  | 0,1643  | 683,22                     | 2,4892             | 231,9     | 0,4950        | 338,3                      | 0,8740                         | 16,68           | 269,31          | 943,74                             |
| 410  | 0,2083  | 674,23                     | 2,5362             | 257,3     | 0,5439        | 332,0                      | 0,8367                         | 13,85           | 250,02          | 922,86                             |
| 420  | 0,2598  | 665,04                     | 2,5840             | 283,1     | 0,5927        | 325,5                      | 0,8006                         | 13,2            | 232,59          | 902,13                             |
| 430  | 0,3193  | 655,66                     | 2,6324             | 309,3     | 0,6412        | 318,7                      | 0,7656                         | 12,21           | 216,73          | 881,55                             |
| 440  | 0,3873  | 646,06                     | 2,6816             | 335,9     | 0,6897        | 311,8                      | 0,7316                         | 11,40           | 202,22          | 861,15                             |
| 450  | 0,4639  | 636,22                     | 2,7314             | 362,9     | 0,7380        | 304,6                      | 0,6985                         | 10,60           | 188,95          | 840,91                             |
| 460  | 0,5494  | 626,11                     | 2,7821             | 390,3     | 0,7861        | 297,1                      | 0,6661                         | 9,817           | 176,70          | 820,86                             |
| 470  | 0,6438  | 615,71                     | 2,8338             | 418,2     | 0,8340        | 289,3                      | 0,6344                         | 9,038           | 165,39          | 800,96                             |
| 480  | 0,7472  | 604,97                     | 2,8866             | 446,6     | 0,8818        | 281,1                      | 0,6032                         | 8,269           | 154,88          | 781,33                             |
| 490  | 0,85928 | 593,86                     | 2,9411             | 475,4     | 0,9294        | 272,6                      | 0,5724                         | 7,511           | 145,08          | 761,63                             |
| 500  | 0,97997 | 582,33                     | 2,9976             | 504,7     | 0,9768        | 263,6                      | 0,5419                         | 6,764           | 135,91          | 742,16                             |
| 510  | 1,1089  | 570,30                     | 3,0569             | 534,5     | 1,024         | 254,1                      | 0,5115                         | 6,031           | 127,29          | 725,36                             |
| 520  | 1,2459  | 557,71                     | 3,1203             | 565,0     | 1,071         | 244,0                      | 0,4811                         | 5,312           | 119,15          | 706,69                             |
| 530  | 1,3904  | 544,43                     | 3,1896             | 596,0     | 0,117         | 233,2                      | 0,4505                         | 4,608           | 111,42          | 688,04                             |
| 540  | 1,5420  | 530,33                     | 3,2677             | 627,7     | 1,164         | 221,5                      | 0,4194                         | 3,922           | 104,05          | 669,33                             |
| 550  | 1,7003  | 515,20                     | 3,3595             | 660,3     | 1,211         | 208,8                      | 0,3874                         | 3,255           | 96,962          | 650,46                             |
| 560  | 1,8647  | 498,77                     | 3,4739             | 693,8     | 1,257         | 194,7                      | 0,3542                         | 2,610           | 90,105          | 631,27                             |

Окончание таблицы P1

| T, К | p, МПа                | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $c_p$ , кДж/(кг·К) | h, кДж/кг | s, кДж/(кг·К) | $\Delta h_V^T$ ,<br>кДж/кг | $\Delta s_V^T$ ,<br>кДж/(кг·К) | $\sigma$ , мН/м | $\eta$ , мкПа·с | $\lambda \cdot 10^4$ ,<br>Вт/(м·К) |
|------|-----------------------|----------------------------|--------------------|-----------|---------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|
| 570  | 2,0348                | 480,58                     | 3,6282             | 728,5     | 1,303         | 178,7                      | 0,3188                         | 1,991           | 83,401          | 611,52                             |
| 580  | $1,420 \cdot 10^{-4}$ | 802,95                     | 1,9117             | -100,8    | -0,2496       | 416,8                      | 1,707                          | 27,84           | 1689,7          | 1209,7                             |
| 590  | $3,193 \cdot 10^{-4}$ | 795,63                     | 1,9389             | *81,52    | -0,1997       | 412,3                      | 1,626                          | 26,92           | 1348,9          | 1201,5                             |

Удельная энтальпия газового конденсата Уренгойского месторождения, кДж/кг

| Т, К | Давление р, МПа |        |        |        |        |        |        |        |
|------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      | 0,1             | 1,0    | 3,0    | 5,0    | 10     | 20     | 40     | 60     |
| 250  | -100,8          | -99,91 | -98,08 | -96,17 | -91,47 | -81,99 | -62,92 | -43,70 |
| 260  | -81,52          | -80,69 | -78,83 | -76,99 | -72,29 | -62,88 | -43,85 | -24,65 |
| 270  | -61,76          | -60,94 | -59,07 | -57,21 | -52,56 | -43,21 | -24,28 | -5,145 |
| 280  | -41,58          | -40,73 | -38,90 | -37,08 | -32,47 | -23,15 | -4,330 | 14,78  |
| 290  | -20,99          | -20,16 | -18,34 | -16,53 | -11,96 | -2,725 | 16,00  | 35,05  |
| 300  | 0               | 0,7979 | 2,561  | 4,364  | 8,891  | 18,06  | 36,74  | 55,70  |
| 310  | 21,4            | 22,20  | 23,97  | 25,75  | 30,22  | 39,29  | 57,87  | 76,82  |
| 320  | 43,2            | 44,00  | 45,73  | 47,48  | 51,90  | 60,92  | 79,35  | 98,24  |
| 330  | 65,41           | 66,17  | 67,88  | 69,62  | 74,01  | 82,93  | 101,2  | 120,0  |
| 340  | 88,01           | 88,76  | 90,44  | 92,15  | 96,46  | 105,2  | 123,4  | 142,1  |
| 350  | 111,0           | 111,7  | 113,4  | 115,0  | 119,2  | 128,0  | 146,1  | 164,7  |
| 360  | 134,4           | 135,1  | 136,7  | 138,3  | 142,5  | 151,1  | 169,1  | 187,6  |
| 370  | 158,2           | 158,9  | 160,4  | 162,0  | 166,1  | 174,6  | 192,4  | 210,9  |
| 380  | 182,3           | 182,9  | 184,5  | 186,0  | 190,0  | 198,4  | 216,1  | 234,5  |
| 390  | -               | 208,2  | 209,7  | 211,2  | 215,1  | 223,3  | 240,8  | 259,2  |
| 400  | -               | 233,1  | 234,5  | 236,0  | 239,8  | 247,9  | 265,2  | 283,5  |
| 410  | -               | 258,4  | 259,8  | 261,2  | 264,9  | 272,8  | 290,0  | 308,1  |
| 420  | -               | 284,1  | 285,4  | 286,8  | 290,4  | 298,1  | 315,1  | 333,2  |
| 430  | -               | 310,2  | 311,5  | 312,8  | 316,2  | 323,7  | 340,5  | 358,5  |
| 440  | -               | 336,8  | 337,9  | 339,1  | 342,4  | 349,7  | 366,3  | 384,2  |
| 450  | -               | 363,6  | 364,7  | 365,8  | 368,9  | 376,0  | 392,4  | 410,2  |
| 460  | -               | 390,9  | 391,8  | 392,9  | 395,8  | 402,7  | 418,8  | 436,5  |
| 470  | -               | 418,7  | 419,5  | 420,4  | 423,1  | 429,7  | 445,6  | 463,2  |
| 480  | -               | 721,7  | 995,9  | 448,3  | 450,8  | 457,1  | 472,7  | 490,2  |
| 490  | -               | 475,5  | 476,0  | 476,6  | 478,8  | 484,8  | 500,1  | 517,5  |
| 500  | -               | 504,6  | 504,8  | 505,3  | 507,1  | 512,8  | 527,8  | 545,1  |
| 510  | -               | -      | 534,1  | 534,4  | 535,9  | 541,2  | 555,8  | 572,9  |
| 520  | -               | -      | 564,1  | 564,1  | 565,1  | 570,0  | 584,3  | 601,3  |
| 530  | -               | -      | 594,4  | 594,1  | 594,7  | 599,1  | 613,0  | 629,8  |
| 540  | -               | -      | 625,4  | 624,7  | 624,7  | 628,5  | 642,1  | 658,7  |
| 550  | -               | -      | 657,1  | 656,0  | 655,3  | 658,5  | 671,6  | 688,0  |
| 560  | -               | -      | 689,58 | 687,8  | 686,4  | 688,9  | 701,5  | 717,7  |
| 570  | -               | -      | 722,9  | 720,5  | 718,2  | 719,9  | 731,9  | 747,8  |

Удельная энтропия газового конденсата Уренгойского месторождения, кДж/(кг·К)

| Т, К | Давление p, МПа |         |         |         |         |         |         |         |
|------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|      | 0,1             | 1,0     | 3,0     | 5,0     | 10      | 20      | 40      | 60      |
| 250  | -0,2496         | -0,2506 | -0,2527 | -0,2549 | -0,2602 | -0,2703 | -0,2888 | -0,3057 |
| 260  | -0,1997         | -0,2001 | -0,2030 | -0,2052 | -0,2106 | -0,2209 | -0,2398 | -0,2569 |
| 270  | -0,1498         | -0,1508 | -0,1532 | -0,1554 | -0,1610 | -0,1716 | -0,1908 |         |
| 280  | -0,0998         | -0,1010 | -0,1033 | -0,1057 | -0,1114 | -0,1222 | -0,1419 | -0,1595 |
| 290  | -0,0499         | -0,0509 | -0,0535 | -0,0558 | -0,0616 | -0,0729 | -0,0928 | -0,1107 |
| 300  | 0               | -0,001  | -0,0036 | -0,0010 | -0,0122 | -0,0235 | -0,0410 | -0,0621 |
| 310  | 0,0498          | 0,0485  | 0,0459  | 0,0433  | 0,0371  | 0,0254  | 0,0043  | -0,0138 |
| 320  | 0,0999          | 0,0984  | 0,0957  | 0,0930  | 0,0865  | 0,0745  | 0,0531  | 0,0345  |
| 330  | 0,1494          | 0,1481  | 0,1452  | 0,1425  | 0,1357  | 0,1233  | 0,1015  | 0,0826  |
| 340  | 0,1991          | 0,1978  | 0,1948  | 0,1919  | 0,1850  | 0,1122  | 0,1498  | 0,1306  |
| 350  | 0,2487          | 0,2473  | 0,2442  | 0,2412  | 0,2340  | 0,2207  | 0,1977  | 0,1783  |
| 360  | 0,2982          | 0,2967  | 0,2935  | 0,2904  | 0,2829  | 0,2692  | 0,2456  | 0,2258  |
| 370  | 0,3476          | 0,3460  | 0,3426  | 0,3393  | 0,3315  | 0,3173  | 0,2932  | 0,2730  |
| 380  | 0,3969          | 0,3952  | 0,3917  | 0,3883  | 0,3801  | 0,3654  | 0,3406  | 0,3200  |
| 390  | -               | 0,4425  | 0,4388  | 0,4352  | 0,4266  | 0,4113  | 0,3858  | 0,3648  |
| 400  | -               | 0,4913  | 0,4874  | 0,4835  | 0,4746  | 0,4587  | 0,4324  | 0,4110  |
| 410  | -               | 0,5401  | 0,5359  | 0,5318  | 0,5224  | 0,5058  | 0,4787  | 0,4569  |
| 420  | -               | 0,5887  | 0,5842  | 0,5799  | 0,5700  | 0,5527  | 0,5247  | 0,5023  |
| 430  | -               | 0,6369  | 0,6321  | 0,6276  | 0,6171  | 0,5989  | 0,5700  | 0,5471  |
| 440  | -               | 0,6851  | 0,6800  | 0,6751  | 0,6640  | 0,6449  | 0,6150  | 0,5916  |
| 450  | -               | 0,7331  | 0,7276  | 0,7223  | 0,7105  | 0,6904  | 0,6594  | 0,6354  |
| 460  | -               | 0,7807  | 0,7747  | 0,7691  | 0,7565  | 0,7354  | 0,7032  | 0,6785  |
| 470  | -               | 0,8282  | 0,8217  | 0,8156  | 0,8021  | 0,7798  | 0,7463  | 0,7209  |
| 480  | -               | 0,8755  | 0,8685  | 0,8619  | 0,8473  | 0,8237  | 0,7888  | 0,7627  |
| 490  | -               | 0,9229  | 0,9150  | 0,9077  | 0,8920  | 0,8669  | 0,8305  | 0,8037  |
| 500  | -               | -       | 0,9610  | 0,9531  | 0,9361  | 0,9094  | 0,8713  | 0,8436  |
| 510  | -               | -       | 1,0068  | 0,9980  | 0,9794  | 0,9509  | 0,9111  | 0,8825  |
| 520  | -               | -       | 1,0521  | 1,0423  | 1,022   | 0,9915  | 0,9497  | 0,9201  |
| 530  | -               | -       | 1,0962  | 1,0852  | 1,0628  | 1,0301  | 0,9862  | 0,9555  |
| 540  | -               | -       | 1,141   | 1,1286  | 1,1038  | 1,0686  | 1,0225  | 0,9906  |
| 550  | -               | -       | 1,1854  | 1,1712  | 1,1436  | 1,1056  | 1,057   | 1,0239  |
| 560  | -               | -       | 1,2284  | 1,2119  | 1,1810  | 1,1398  | 1,0885  | 1,0541  |
| 570  | -               | -       | 1,2703  | 1,251   | 1,2162  | 1,1714  | 1,1172  | 1,0813  |

Вязкость газового конденсата Уренгойского месторождения, мкПа·с

| Т, К | Давление р, МПа |        |        |        |        |        |        |        |
|------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      | 0,1             | 1,0    | 3,0    | 5,0    | 10     | 20     | 40     | 60     |
| 250  | 1630,3          | 1647,0 | 1684,7 | 1722,6 | 1819,8 | 2024,2 | 2480,4 | 3012,1 |
| 260  | 1304,9          | 1317,9 | 1347,3 | 1377,2 | 1452,6 | 1610,1 | 1956,7 | 2353,2 |
| 270  | 1074,8          | 1085,7 | 1109,3 | 1133,3 | 1193,9 | 1320,7 | 1595,2 | 1903,9 |
| 280  | 905,54          | 914,50 | 934,27 | 954,14 | 1004,5 | 1109,0 | 1333,9 | 1582,6 |
| 290  | 776,75          | 784,34 | 801,05 | 818,04 | 861,03 | 949,50 | 1138,2 | 1344,6 |
| 300  | 675,97          | 682,51 | 697,20 | 711,97 | 749,12 | 825,57 | 987,42 | 1162,6 |
| 310  | 595,41          | 601,25 | 614,08 | 627,10 | 659,94 | 727,16 | 868,19 | 1019,6 |
| 320  | 529,64          | 534,81 | 546,35 | 557,96 | 587,32 | 647,12 | 771,97 | 905,06 |
| 330  | 475,04          | 479,66 | 490,14 | 500,68 | 527,18 | 581,03 | 692,91 | 811,25 |
| 340  | 428,99          | 433,31 | 442,88 | 452,45 | 476,65 | 525,74 | 626,94 | 733,41 |
| 350  | 389,74          | 393,72 | 402,53 | 411,41 | 433,65 | 478,71 | 571,28 | 667,81 |
| 360  | 355,87          | 359,56 | 367,82 | 376,04 | 396,72 | 438,35 | 523,58 | 611,99 |
| 370  | 326,36          | 329,85 | 337,53 | 345,27 | 364,54 | 403,37 | 482,41 | 564,03 |
| 380  | 300,46          | 303,71 | 311,01 | 318,25 | 336,42 | 372,83 | 446,65 | 522,36 |
| 390  | -               | 280,60 | 287,52 | 294,39 | 311,59 | 345,95 | 415,23 | 485,93 |
| 400  | -               | 260,04 | 266,61 | 273,18 | 289,56 | 322,17 | 387,59 | 453,95 |
| 410  | -               | 241,55 | 247,91 | 254,21 | 269,88 | 300,97 | 363,05 | 425,75 |
| 420  | -               | 224,94 | 231,04 | 237,13 | 252,22 | 282,07 | 341,27 | 400,73 |
| 430  | -               | 209,85 | 215,81 | 221,71 | 236,31 | 265,09 | 321,84 | 378,52 |
| 440  | -               | 196,13 | 201,95 | 207,71 | 221,93 | 249,78 | 304,46 | 358,77 |
| 450  | -               | 183,58 | 189,30 | 194,95 | 208,86 | 236,02 | 288,90 | 341,12 |
| 460  | -               | 172,07 | 177,72 | 183,30 | 196,99 | 223,53 | 274,97 | 325,47 |
| 470  | -               | 161,42 | 167,06 | 172,60 | 186,13 | 212,26 | 262,50 | 311,52 |
| 480  | -               | 151,58 | 157,22 | 162,75 | 176,22 | 202,07 | 251,39 | 299,22 |
| 490  | -               | 142,39 | 148,10 | 153,66 | 167,15 | 192,84 | 241,54 | 270,81 |
| 500  | -               | 133,80 | 139,60 | 145,25 | 158,84 | 184,55 | 218,73 | 257,84 |
| 510  | -               | -      | 131,67 | 137,44 | 151,23 | 177,12 | 208,31 | 245,90 |
| 520  | -               | -      | 124,23 | 130,17 | 144,27 | 160,26 | 198,71 | 234,86 |
| 530  | -               | -      | 117,23 | 123,40 | 137,94 | 152,41 | 189,82 | 224,70 |
| 540  | -               | -      | 110,61 | 117,09 | 132,26 | 145,07 | 181,57 | 215,26 |
| 550  | -               | -      | 104,31 | 111,23 | 117,50 | 138,22 | 173,92 | 206,51 |
| 560  | -               | -      | 98,330 | 98,870 | 111,16 | 131,79 | 166,75 | 198,38 |
| 570  | -               | -      | 92,598 | 92,594 | 105,16 | 125,75 | 160,08 | 190,80 |

Теплопроводность газового конденсата Уренгойского месторождения  $\lambda \cdot 10^4$ , Вт/(м·К)

| Т, К | Давление р, МПа |        |        |        |        |        |         |        |
|------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
|      | 0,1             | 1,0    | 3,0    | 5,0    | 10     | 20     | 40      | 60     |
| 250  | 1196,1          | 1198,4 | 1203,4 | 1208,3 | 1220,3 | 1243,5 | 1286,9  | 1326,7 |
| 260  | 1190,9          | 1193,3 | 1198,7 | 1204,1 | 1217,0 | 1241,8 | 1288,1  | 1330,6 |
| 270  | 1182,3          | 1185,0 | 1190,7 | 1196,3 | 1210,1 | 1236,7 | 1285,9  | 1330,9 |
| 280  | 1170,7          | 1173,5 | 1179,6 | 1185,6 | 1200,3 | 1228,4 | 1280,4  | 1327,7 |
| 290  | 1156,6          | 1159,6 | 1166,0 | 1172,4 | 1188,0 | 1217,6 | 1272,3  | 1321,8 |
| 300  | 1140,4          | 1143,5 | 1150,4 | 1157,2 | 1173,5 | 1204,7 | 1261,9  | 1313,6 |
| 310  | 1122,7          | 1126,0 | 1133,2 | 1140,2 | 1157,5 | 1190,2 | 1249,7  | 1303,3 |
| 320  | 1103,8          | 1107,2 | 1114,7 | 1122,1 | 1140,2 | 1174,2 | 1236,0  | 1291,6 |
| 330  | 1083,9          | 1087,4 | 1095,3 | 1103,1 | 1121,9 | 1157,3 | 1221,4  | 1278,6 |
| 340  | 1063,4          | 1067,2 | 1075,4 | 1083,4 | 1103,1 | 1139,9 | 1205,9  | 1264,9 |
| 350  | 1042,5          | 1046,4 | 1055,0 | 1063,4 | 1083,8 | 1121,9 | 1190,1  | 1250,4 |
| 360  | 1021,4          | 1025,5 | 1034,5 | 1043,2 | 1064,4 | 1103,8 | 1173,9  | 1235,7 |
| 370  | 1000,2          | 1004,5 | 1013,8 | 1023,0 | 1044,9 | 1085,6 | 1157,5  | 1220,7 |
| 380  | 979,13          | 983,57 | 993,36 | 1002,8 | 1025,5 | 1067,5 | 1141,3  | 1205,7 |
| 390  | -               | 962,17 | 972,93 | 982,76 | 1006,3 | 1049,6 | 1125,1  | 1190,7 |
| 400  | -               | 942,22 | 952,73 | 962,98 | 987,37 | 1031,9 | 1109,1  | 1175,8 |
| 410  | -               | 921,78 | 932,82 | 943,46 | 968,69 | 1014,4 | 1093,4  | 1161,2 |
| 420  | -               | 901,72 | 913,11 | 924,18 | 950,31 | 997,48 | 1078,01 | 1146,8 |
| 430  | -               | 881,82 | 893,79 | 905,26 | 932,28 | 980,77 | 1062,9  | 1132,7 |
| 440  | -               | 862,25 | 874,70 | 886,65 | 914,63 | 964,39 | 1048,1  | 1118,9 |
| 450  | -               | 842,93 | 855,93 | 868,33 | 897,30 | 948,49 | 1033,7  | 1105,3 |
| 460  | -               | 823,90 | 837,46 | 850,38 | 880,38 | 932,87 | 1019,6  | 1092,1 |
| 470  | -               | 805,03 | 819,26 | 832,71 | 863,75 | 917,67 | 1005,9  | 1079,1 |
| 480  | -               | 786,42 | 801,31 | 815,34 | 847,49 | 902,88 | 992,59  | 1066,5 |
| 490  | -               | 767,91 | 783,58 | 798,25 | 831,61 | 888,38 | 979,54  | 1054,1 |
| 500  | -               | 749,51 | 766,03 | 781,40 | 816,00 | 874,28 | 966,81  | 1042,0 |
| 510  | -               | -      | 748,63 | 764,78 | 800,73 | 860,51 | 954,32  | 1030,2 |
| 520  | -               | -      | 731,37 | 748,33 | 785,70 | 847,03 | 942,12  | 1018,5 |
| 530  | -               | -      | 714,16 | 732,03 | 770,93 | 833,86 | 930,20  | 1007,1 |
| 540  | -               | -      | 696,94 | 715,86 | 756,43 | 820,96 | 918,48  | 995,82 |
| 550  | -               | -      | 679,63 | 699,79 | 742,12 | 808,31 | 907,00  | 984,67 |
| 560  | -               | -      | 662,21 | 683,71 | 728,03 | 795,86 | 895,64  | 973,66 |
| 570  | -               | -      | 644,47 | 667,64 | 714,14 | 783,66 | 884,48  | 962,72 |

## Изобарная теплоемкость газового конденсата Уренгойского месторождения

| Т, К | Теплоемкость $C_p$ , кДж/(кг · К), при давлении $p$ , МПа |        |        |        |        |        |        |        |
|------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      | 0,1   | 1,0    | 3,0    | 5,0    | 10     | 20     | 40     | 60     |
| 250  | 1,9117  | 1,9111 | 1,9098 | 1,9052 | 1,9057 | 1,9008 | 1,8939 | 1,8896 |
| 260  | 1,9389  | 1,9382 | 1,9368 | 1,9355 | 1,9323 | 1,9270 | 1,9195 | 1,9148 |
| 270  | 1,9684  | 1,9676 | 1,9660 | 1,9645 | 1,9611 | 1,9553 | 1,9472 | 1,9422 |
| 280  | 1,9999  | 1,9990 | 1,9973 | 1,9956 | 1,9918 | 1,9856 | 1,9769 | 1,9716 |
| 290  | 2,0333  | 2,0324 | 1,0305 | 2,0287 | 2,0246 | 2,0177 | 2,0085 | 2,0029 |
| 300  | 2,0684  | 2,0674 | 2,0653 | 2,0633 | 2,0588 | 2,0515 | 2,0415 | 2,0357 |
| 310  | 2,1051  | 2,1040 | 2,1016 | 2,0994 | 2,0945 | 2,0866 | 2,0760 | 2,0699 |
| 320  | 2,1433  | 2,1420 | 2,1395 | 2,1371 | 2,1317 | 2,1231 | 2,1119 | 2,1056 |
| 330  | 2,1828  | 2,1814 | 2,1786 | 2,1760 | 2,1701 | 2,16,9 | 2,1490 | 2,1424 |
| 340  | 2,2236  | 2,2221 | 2,2190 | 2,2161 | 2,2097 | 2,1998 | 2,1872 | 2,1804 |
| 350  | 2,2655  | 2,2638 | 2,2604 | 2,2573 | 2,2503 | 2,2396 | 2,2264 | 2,2193 |
| 360  | 2,3085  | 2,3067 | 2,3029 | 2,2994 | 2,2918 | 2,2803 | 2,2664 | 2,2590 |
| 370  | 2,3524  | 2,3503 | 2,9461 | 2,3423 | 2,3340 | 3215   | 2,3070 | 2,2994 |
| 380  | 2,3972  | 2,3950 | 2,3903 | 2,3861 | 2,3770 | 2,3637 | 2,3483 | 2,3405 |
| 390  | -   | 2,4376 | 2,4324 | 2,4278 | 2,4178 | 2,4035 | 2,3872 | 2,3792 |
| 400  | -   | 2,4835 | 2,4777 | 2,4725 | 2,4616 | 2,4462 | 2,4291 | 2,4208 |
| 410  | -   | 2,5298 | 2,5233 | 2,5175 | 2,5055 | 2,4888 | 2,4708 | 2,4623 |
| 420  | -   | 2,5769 | 2,5696 | 2,5631 | 2,5498 | 2,5318 | 2,5129 | 2,5040 |
| 430  | -   | 2,6243 | 2,6159 | 2,6087 | 2,5741 | 2,5745 | 2,5545 | 2,5453 |
| 440  | -   | 2,6723 | 2,6628 | 2,6547 | 2,6384 | 2,6172 | 2,5960 | 2,864  |
| 450  | -   | 2,7207 | 2,7099 | 2,7006 | 2,6825 | 2,6594 | 2,6369 | 2,6269 |
| 460  | -   | 2,7697 | 2,7572 | 2,7466 | 2,7263 | 2,7011 | 2,6773 | 2,6667 |
| 470  | -   | 2,8195 | 2,8049 | 2,7928 | 2,7700 | 2,7425 | 2,7170 | 2,7058 |
| 480  | -   | 2,8698 | 2,8529 | 2,8389 | 2,8131 | 2,7828 | 2,7555 | 2,7436 |
| 490  | -   | 2,9218 | 2,9014 | 2,8851 | 2,8558 | 2,8225 | 2,7932 | 2,7804 |
| 500  | -   | 2,9752 | 2,9507 | 2,9315 | 2,8980 | 2,8611 | 2,8296 | 2,8159 |
| 510  | -   | -      | 3,0009 | 2,9783 | 2,9396 | 2,8997 | 2,8646 | 2,8498 |
| 520  | -   | -      | 3,0531 | 3,0260 | 2,9813 | 2,9356 | 2,8986 | 2,8825 |
| 530  | -   | -      | 3,1083 | 3,0753 | 3,0231 | 2,9721 | 2,9317 | 2,9142 |
| 540  | -   | -      | 3,1678 | 3,1274 | 3,0662 | 3,0089 | 2,9647 | 2,9454 |
| 550  | -   | -      | 3,2352 | 3,1847 | 3,1123 | 3,0479 | 2,9995 | 2,9785 |
| 560  | -   | -      | 3,3162 | 3,2524 | 3,1661 | 3,0933 | 3,0401 | 3,0170 |
| 570  | -   | -      | 3,4230 | 3,3410 | 3,2374 | 3,1549 | 3,0962 | 3,0707 |

## Плотность газового конденсата Уренгойского месторождения

| Т, К | Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> , при давлении $p$ , МПа |        |        |        |        |        |        |        |
|------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      | 0,1   | 1,0    | 3,0    | 5,0    | 10     | 20     | 40     | 60     |
| 250  | 805,00  | 805,52 | 506,67 | 807,80 | 810,58 | 815,90 | 825,70 | 834,59 |
| 260  | 797,12  | 797,68 | 798,89 | 800,10 | 803,03 | 808,63 | 818,91 | 828,18 |
| 270  | 789,22  | 789,81 | 791,10 | 792,37 | 795,48 | 801,38 | 812,16 | 821,83 |
| 280  | 781,29  | 781,91 | 783,28 | 784,91 | 794,91 | 794,14 | 805,44 | 815,53 |
| 290  | 773,32  | 773,98 | 775,43 | 776,86 | 780,34 | 786,90 | 798,76 | 809,27 |
| 300  | 765,30  | 766,00 | 767,55 | 769,06 | 772,74 | 779,67 | 792,10 | 803,06 |
| 310  | 757,23  | 757,98 | 759,62 | 761,23 | 765,13 | 772,44 | 785,48 | 796,90 |
| 320  | 749,11  | 749,90 | 751,65 | 753,37 | 757,50 | 765,22 | 778,90 | 790,79 |
| 330  | 740,92  | 741,77 | 743,63 | 745,46 | 749,84 | 758,00 | 772,34 | 784,73 |
| 340  | 732,66  | 733,57 | 735,56 | 737,50 | 742,16 | 750,78 | 765,81 | 778,71 |
| 350  | 724,33  | 725,30 | 727,42 | 729,49 | 734,45 | 743,55 | 759,32 | 772,74 |
| 360  | 715,91  | 716,95 | 719,22 | 721,43 | 726,70 | 736,33 | 752,86 | 766,82 |
| 370  | 707,40  | 708,52 | 710,95 | 713,30 | 718,91 | 729,10 | 746,43 | 760,94 |
| 380  | 698,79  | 699,99 | 702,59 | 705,11 | 711,09 | 721,87 | 740,04 | 755,12 |
| 390  | -   | 691,35 | 694,15 | 696,85 | 703,22 | 714,63 | 733,67 | 749,34 |
| 400  | -   | 682,60 | 685,61 | 688,50 | 695,30 | 707,39 | 727,34 | 743,60 |
| 410  | -   | 673,72 | 676,96 | 680,07 | 687,34 | 700,15 | 721,05 | 737,92 |
| 420  | -   | 664,69 | 668,19 | 671,54 | 679,31 | 692,89 | 714,78 | 732,28 |
| 430  | -   | 655,50 | 659,29 | 662,89 | 671,23 | 685,63 | 708,55 | 726,69 |
| 440  | -   | 646,12 | 650,24 | 654,13 | 663,07 | 678,35 | 702,36 | 721,14 |
| 450  | -   | 636,54 | 641,02 | 645,24 | 654,84 | 671,06 | 696,19 | 715,65 |
| 460  | -   | 626,73 | 631,62 | 636,19 | 646,53 | 663,76 | 690,06 | 710,19 |
| 470  | -   | 616,64 | 622,00 | 626,98 | 638,12 | 656,44 | 683,96 | 704,78 |
| 480  | -   | 606,24 | 612,14 | 617,58 | 629,61 | 649,10 | 677,88 | 699,40 |
| 490  | -   | 595,48 | 602,01 | 607,97 | 620,99 | 641,73 | 671,84 | 694,07 |
| 500  | -   | 584,29 | 591,55 | 598,11 | 612,24 | 634,34 | 665,82 | 688,78 |
| 510  | -   | -      | 580,72 | 587,97 | 603,65 | 626,91 | 659,82 | 683,52 |
| 520  | -   | -      | 569,45 | 577,51 | 594,29 | 619,44 | 653,85 | 678,29 |
| 530  | -   | -      | 557,67 | 566,68 | 585,06 | 611,92 | 647,89 | 673,09 |
| 540  | -   | -      | 545,28 | 555,42 | 575,62 | 604,35 | 641,94 | 667,91 |
| 550  | -   | -      | 532,14 | 543,66 | 565,96 | 596,72 | 636,00 | 662,76 |
| 560  | -   | -      | 518,11 | 531,31 | 556,04 | 589,02 | 630,07 | 657,62 |
| 570  | -   | -      | 502,96 | 518,28 | 545,83 | 581,24 | 624,13 | 652,50 |



## **5. Заключение**

Таблицы теплофизических свойств газового конденсата Уренгойского газоконденсатного месторождения таблицы Р1 – Р7 рассчитаны по уравнениям и методикам, разработанным на основе анализа достоверных экспериментальных данных о свойствах нефти, нефтепродуктов, газовых конденсатов и их фракций, углеводородов, и в настоящее время являются единственными.

## 6. Литература

1. Григорьев Б.А., Богатов Г.Ф., Герасимов А.А. Теплофизические свойства нефти, газовых конденсатов и их фракций / Под ред. Б.А. Григорьева. – М.: Изд-во МЗИ, 1999. – 372 с.
2. Григорьев Б.А., Герасимов А.А., Ланчаков Г.А. Теплофизические свойства и фазовые равновесия газовых конденсатов и их фракций / Под ред. Б.А. Гр1. 3. Григорьев Б.А. Исследование теплофизических свойств нефтей, нефтепродуктов и углеводородов: Дис. ... докт. техн. наук.- Грозный: ГНИ, 1979.- 524 с.
4. Курумов Д.С. Термические свойства н-алканов и фракций Мангышлакской нефти в жидком и газообразном состояниях: Дис. ... докт. техн. наук.- Грозный, 1991.- 440 с.
5. Богатов Г.Ф. Теплопроводность индивидуальных углеводородов и нефтепродуктов в жидком состоянии: Дис. ... докт. техн. наук.- Грозный, 1992.- 424 с.
6. Герасимов А.А. Калорические свойства нормальных алканов и многокомпонентных углеводородных смесей в жидкой и газовой фазах, включая критическую область: Дис. ... докт. техн. наук.- Калининград, 2000.- 434 с.
7. Овчинников Н.А. Плотность нефтяных фракций и нефтепродуктов, полученных физическими и каталитическими процессами переработки нефти: Дис. ... канд. техн. наук.- Грозный, 1992.- 169 с.
8. Болдырев Д.В. Разработка методов расчета вязкости нефтепродуктов: Дис. ... канд. техн. наук.- Грозный, 1994.- 227 с.
9. Магомадов А.С. Исследование вязкости газовых конденсатов и их фракций при различных температурах и давлениях: Дис. ... канд. техн. наук.- Краснодар: КПИ, 1978.- 190 с.
10. Экспериментальное исследование термодинамических свойств и коэффициентов переноса газоконденсатов и легких фракций нефтей в жидкой и паровой фазах. Отчет НИР/ Калининград. техн. ин-т рыб. пром. и хоз.- Калининград, 1993.- 107 с.

11. Таблицы рекомендуемых справочных данных. Плотность газовых конденсатов и их фракций / А.А. Муталибов, В.В. Шубин, А.А. Абдурахманов, Л.Н. Астафьева, В.Д. Плыкина // ВНИЦ МВ Госстандарта СССР.- М.,1989.- 67 с. Деп. в (ГСССД Р307-89).
12. Таблицы рекомендуемых справочных данных. Теплопроводность газовых конденсатов и их фракций / А.А. Муталибов, В.В. Шубин, Г.Н. Махмудов, Р.Р. Валитов, Л.Н. Астафьева // ВНИЦ МВ Госстандарта СССР.- М.,1989.- 40 с. Деп. в (ГСССД Р309-89).
13. Таблицы рекомендуемых справочных данных. Вязкость газовых конденсатов и их фракций / А.А. Муталибов, В.В. Шубин, А.А. Абдурахманов, И.М. Югай, Л.Н. Астафьева // ВНИЦ МВ Госстандарта СССР.- М., 1989.- 56с. Деп. в (ГСССД Р308-89).
14. Экспериментальное исследование теплофизических свойств стабильных газовых конденсатов и их фракций в жидкой фазе: Отчет о НИР / Кубанский государственный технологический университет; Руководитель А.С. Магомадов.- Тема №112.04.14.- Краснодар: КГТУ, 1994.- 171 с.
15. Казарян В.А. Теплофизические свойства индивидуальных углеводородов и газовых конденсатов.- М.: Изд-во “Техника” ООО “ТУМА ГРУПП”, 2002.- 448 с.
16. Жидкие углеводороды и нефтепродукты/Под. ред. М.И. Шахпоронова, Л.П. Филиппова.- М.: Изд-во МГУ, 1989.- 192 с.
17. Научные основы прогноза фазового поведения пластовых газоконденсатных систем /А.И. Гриценко, И.А. Гриценко, В.В. Юшкин, Т.Д. Островская. – М.: Недра, 1995. – 432 с.
18. Graboski M.S., Daubert T.E. A modified Soave equation of state for phase equilibrium calculations. 1: Hydrocarbon systems // Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. 1978. Vol. 17. P. 443-448. 2: Systems containing  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$  and  $\text{CO}$  // Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. 1979. Vol. 18. P. 300-306.
19. Брусиловский А.И. Фазовые превращения при разработке нефти и газа. М.: «Грааль», 2002.
20. Филиппов Л. П. Методы расчета и прогнозирование свойств веществ. М.: Изд-

во МГУ, 1988.

21. Герасимов А.А., Григорьев Б.А., Кузнецов А.А. Новое обобщенное уравнение для расчета изобарной теплоемкости на линии насыщения // ТВТ. 2001. Т. 39. № 3. с. 426-433.
22. Немзер Б.В. Поверхностное натяжение парафиновых углеводородов и нефтепродуктов: Дис. ... канд. техн. наук. Грозный, 1985.
23. Немзер Б.В., Малофеев В.А., Григорьев Б.А. Поверхностное натяжение, удельные избыточные энтропия и энергия поверхностного слоя фракций нефти Самотлорского месторождения. М., 1990. Деп. В ВИНТИ 20.06.90, №5256-B90.
24. Kashiwagi H., Makita T. Viskosity of twele hydrocarbon liquids in the temperature range 298-348 K at pressures up to 110 M Pa // Int. Joyr. of Themophysics . 1982. Vol. 3. № 4. P. 289-305.
25. Lee H., Thodos G. generalized viscosyti behavior of fluids over the complete gaseous and liquid states // Ind. Eng. Chem. Res. 1998. Vol.27. № 12. P. 2377-2384.
26. Геллер В.З., Запорожан Г.В., Роткоп А.Л. Обобщение данных о теплофизических свойствах нефтепродуктов. Теплопроводность. // ИФЖ. 1981. Т.40. № 5. С. 914.
27. Рид Р., Праускнц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей: Справочное пособие: Пер. с англ. Под ред. Б.И. Соколова. – 3 изд. Л.: Химия, 1992.
28. Плотность (удельный объем) жидких нефтей и нефтепродуктов / Григорьев Б.А., Расторгуев Ю.Л., Ковальский Е.В., Шевченко Н.В. РМР-8. ГСССД Методика. 1982. 26 с.
29. .Kesler M.G., Lee B.I. Improve prediction of enthalpy of fractions // Hydrocarbon Processing.- 1976.-V.55, No.3.- P.153-158.
30. Сычев В.В. Дифференциальные уравнения термодинамики. Учебное пособие для вузов. – 2-е изд. Перераб. М.: Высшая школа, 1991. – 224 с.