

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

Кафедра морского
нефтегазового дела и физики

**Состояние газовой смеси в
зависимости от термобарических
условий освоения скважины**

*Методические указания к выполнению курсовой
работы по дисциплине «Физические процессы при
освоении морских месторождений в условиях
Арктики» для обучающихся по специальности
21.05.05 Физические процессы горного или
нефтегазового производства и по направлению
21.03.01 Нефтегазовое дело
Очной и заочной формы обучения*

Мурманск
2021

Составители – Кортаев Борис
Александрович, доцент кафедры морского
нефтегазового дела,
Кортаев Александр Борисович, старший
преподаватель кафедры морского
нефтегазового дела.

Методические указания рассмотрены и
одобрены кафедрой морского
нефтегазового дела 17 января 2019 г.,
протокол №5/18.

Рецензент – Васёха Михаил Викторович,
доктор технических наук, зав. Кафедрой
морского нефтегазового дела и физики.

*Электронное издание подготовлено в
авторской редакции*

Мурманский государственный технический университет

183010, Мурманск, ул. Спортивная д. 13 тел. (8152) 25-40-72

Уч.-изд. л. 1,125. Заказ 176.

Мурманский государственный технический университет, 2019

© Б. А. Кортаев, 2021

Оглавление

Анализ состояния газовой смеси М.....го газового месторождения	3
1.1 Моделирование гравитационного распределения компонентов газа МГМ.....	3
2.2 Расчет точки инверсии газа	4
2.3 Расчет изменения забойной температуры при разработке М..... газового месторождения	5
1.4 Использование уравнения состояния для расчетов парожидкостного равновесия (контактной конденсации) природных газоконденсатных смесей.....	6
1.5 Построение фазовой диаграммы для Мурманского газового месторождения по методике Пенга – Робинсона в среде Mathematica	10
1.6 Построение равновесной кривой гидратообразования на устье скважины МГМ.....	18
1.7 Методы борьбы с гидратами газов.....	19
Глава 2. Анализ состояния газовой смеси К..... газоконденсатного месторождения	21
2.1 Моделирование гравитационного распределения компонентов газа газоконденсатного месторождения	21
2.2 Построение фазовой диаграммы для КГКМ по методике Пенга – Робинсона в среде Mathematica	22
2.3 Аналитический расчет межфазного натяжения по составам жидкой и паровой фаз.....	36
2.4 Энтальпийная номограмма для К.....го газоконденсатного месторождения.....	37
2.5 Расчет среднего расстояния между молекулами компонентов газа Киринского газоконденсатного месторождения при различных условиях.....	38
2.6 Расчет коэффициентов взаимной диффузии газов.	38
2.7 Расчет потенциальной энергии взаимодействия двух молекул	39
Список литературы	41

Анализ состояния газовой смеси М.....го газового месторождения

Цель работы состоит в том, чтобы сопоставить ручной расчет с расчетом получения фазового портрета газовой смеси в информационной системе PVTsim и в кафедральной программе.

1.1 Моделирование гравитационного распределения компонентов газа МГМ

Компонентный состав газовой смеси М.....го газового месторождения.

Таблица 3

Компонентный состав	Доли, %	Молярная масса, кг/моль	Критическая температура, К	Критическое давление, атм
Метан	87	$16.04 \cdot 10^{-3}$	191	47
Этан	1.5	$30.07 \cdot 10^{-3}$	305	48
Пропан	1.5	$44.1 \cdot 10^{-3}$	369	42
n-бутан	0.4	$58.12 \cdot 10^{-3}$	452	38
Водород	2	$2 \cdot 10^{-3}$	33	12.8
Гелий	0.6	$4 \cdot 10^{-3}$	5.2	2
Азот	6	$28.013 \cdot 10^{-3}$	126	33
Углекислый газ	1	$44.01 \cdot 10^{-3}$	304	73

На следующем графике представлена модель распределения компонентов Мурманского месторождения по эффективной мощности пласта.

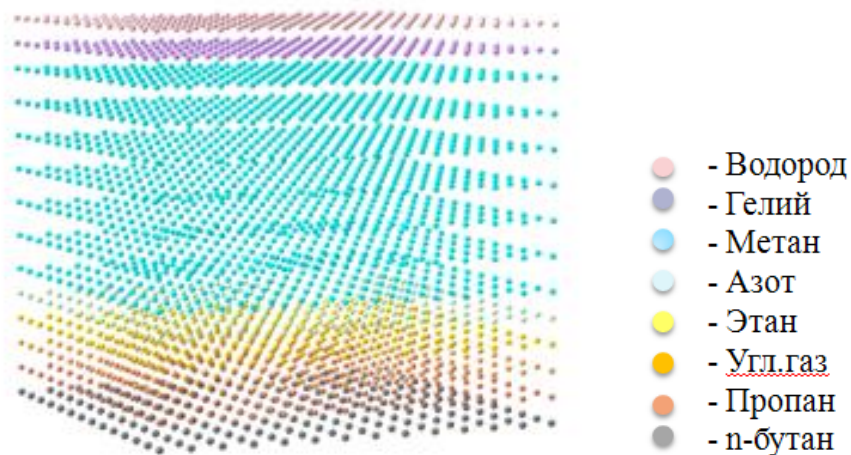


Рисунок 4 - Модель гравитационного распределения компонентов Мурманского месторождения.

$$n = n_0 e^{\frac{-m_0 g h}{k T}} \quad (2.1.1)$$

Как видно из представленной модели распределения компоненты подчиняются закону гравитационного распределения, но перемешаны вследствие явления взаимной диффузии газов и конечной мощности пласта.

2.2 Расчет точки инверсии газа

$$z = 1 - 10^{-2} \left(0.76 \left(\frac{T}{T_{cr}} \right)^3 - 9.36 \frac{T}{T_{cr}} + 13 \right) \left(7.36 - \frac{P}{P_{cr}} \right) \frac{P}{P_{cr}} \quad (2.2.1)$$

Возьмем производную от уравнения сжимаемости И.Т. Мищенко (2.2.1) по температуре $y = \partial_T z$.

Задавая различные температуры и подставляя их в y , получаем различные значения производной. По знаку производной можно сделать заключение - нагревается газ или охлаждается. Если $y=0$, то имеем точку инверсии. Рассчитанная точка инверсии газа равна 382.7 К. Это подтверждает увеличение расчетного значения забойной температуры [13].

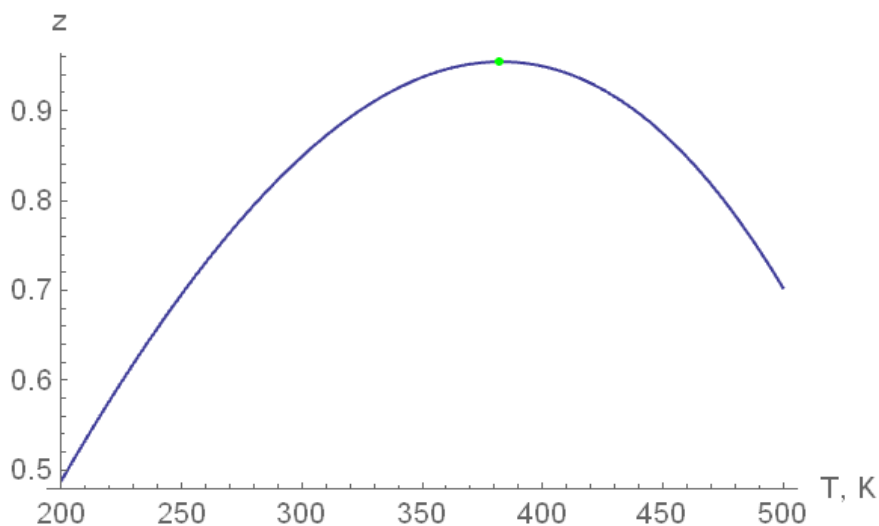


Рисунок 5 - График зависимости z от T.

2.3 Расчет изменения забойной температуры при разработке М..... газового месторождения

Дросселирование – расширение газа при прохождении через дроссель – местное гидравлическое сопротивление, сопровождающееся изменением температуры. Процесс характеризуется постоянством энтальпии. Изменение температуры газов и жидкостей при адиабатическом расширении называется эффектом Джоуля-Томсона, а ε_i называют коэффициентом Джоуля-Томсона [13]:

$$\varepsilon_i = \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_i \quad (2.3.1)$$

Для реальных природных газов коэффициент Джоуля-Томсона можно выразить через коэффициент сжимаемости z :

$$\varepsilon_i = \frac{ART^2}{c_p p} \left(\frac{\partial z}{\partial T} \right)_p \quad (2.3.2)$$

Если $\left(\frac{\partial z}{\partial T} \right)_p > 0$, $\varepsilon_i > 0$ газ в процессе дросселирования охлаждается. При $\left(\frac{\partial z}{\partial T} \right)_p < 0$, $\varepsilon_i < 0$ газ в процессе расширения нагревается. В случае, если $\left(\frac{\partial z}{\partial T} \right)_p = 0$, $\varepsilon_i = 0$, имеем точку инверсии. Изменение температуры газа в процессе адиабатического расширения при значительном перепаде давления на дросселе называется интегральным дроссель-эффектом. Он может вычисляться по соотношению:

$$T_1 - T_2 = \int_{p_2}^{p_1} \varepsilon_i dp \quad (2.3.3)$$

или определяется по энтальпийным диаграммам. Интегральный коэффициент Джоуля-Томсона для природного газа изменяется от 2 до 4 К/МПа в зависимости от состава газа, падения давления и начальной температуры газа [13].

Изменение забойной температуры в процессе разработки Мурманского газового месторождения [13]:

$$C_p = 3.15 + 0.02203T - 0.149 * 10^{-4}T^2 + \frac{0.238M}{(T/100)^{5.08}} * P^{1.124} \quad (2.3.4)$$

$$T_1 - T_2 = \int_{p_2}^{p_1} \varepsilon_i dp \quad (2.3.5)$$

$$\Delta T = \frac{4.8(P_m)^{-0.25}}{C_p T_m} (0.005 * 10^{-3} \text{Log} \left[\frac{P_1}{P_2} \right] + 0.29 * 10^{-7} (P_1^2 - P_2^2) - 209 * 10^{-7} (P_1 - P_2)) \quad (2.3.6)$$

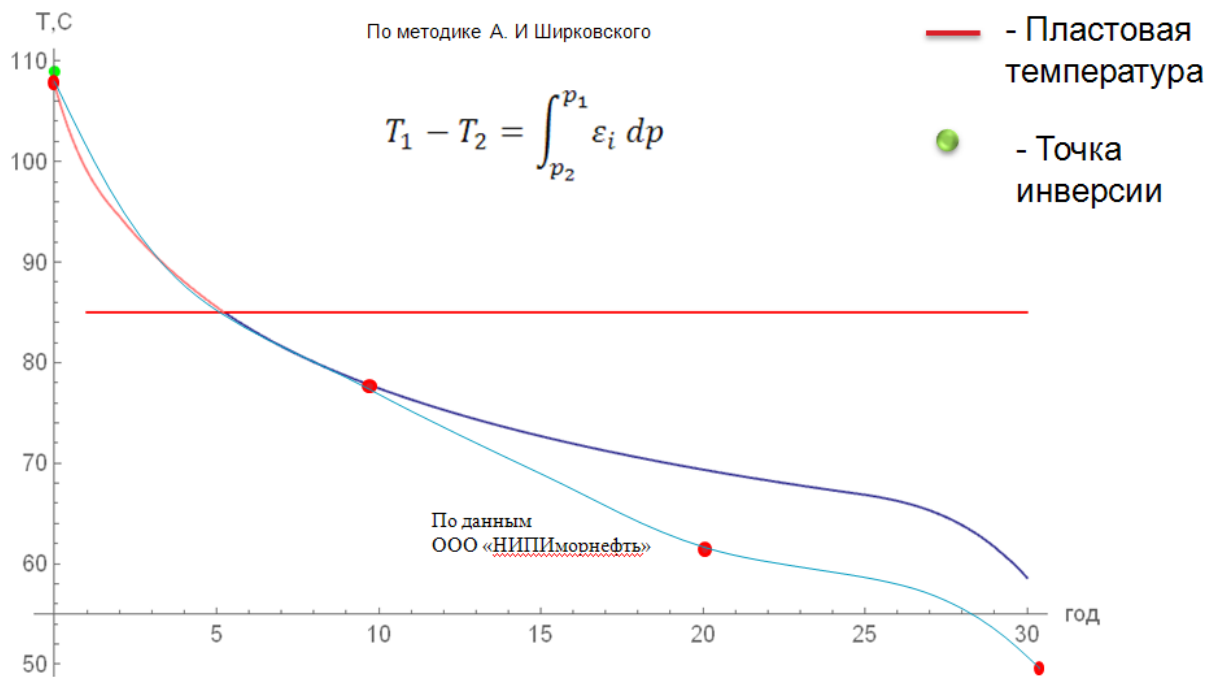


Рисунок 6 - График падения забойной температуры по годам.

1.4 Использование уравнения состояния для расчетов парожидкостного равновесия (контактной конденсации) природных газоконденсатных смесей

Применение уравнений состояния для вычисления констант фазового равновесия основано на использовании термодинамических соотношений для фазовых равновесий многокомпонентных смесей, а именно равенства летучестей каждого компонента смеси в соответствующих равновесных фазах. При расчетах фазовых равновесий и физико-химических свойств углеводородных смесей наиболее распространены два уравнения состояния: Бенедикта – Вебба – Рубина и Редлиха – Квонга. Эти уравнения являются термодинамической моделью каждой фазы и описывают изменение давления в зависимости от объема при постоянной температуре как непрерывную функцию во всей двухфазной области. Первоначально уравнение состояния Редлиха – Квонга использовали для определения термодинамических и физических свойств газовых смесей. Применение этого уравнения для расчета свойств жидких углеводородных смесей приводит к большим погрешностям. Однако простота и удобство использования уравнения в инженерных расчетах выгодно отличает его от других уравнений состояния [13].

Пенг и Робинсон предложили новую модификацию уравнения Редлиха – Квонга. Уравнение Пенга – Робинсона имеет вид:

$$p = \frac{RT}{V-b} - \frac{a(T)}{V(V+b)+b(V-b)}, \quad (2.4.1)$$

где V – молярный объем, a и b – коэффициенты уравнения, определяемые критическими параметрами вещества, коэффициент a – функция температуры [13].

Уравнение состояния Пенга – Робинсона, записанное относительно коэффициента сверхсжимаемости z , имеет вид [13]:

$$z^3 - (1 - B)z^2 + (A - 3B^2 - 2B)z - (AB - B^2 - B^3) = 0 \quad (2.4.2)$$

Модель реального газа по Пенгу – Робинсону:

Расчет коэффициентов a и b уравнения состояния Пенга - Робинсона

1) Коэффициент a рассчитывается по формуле:

$$a = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \eta_i \eta_j a_{ij} b \quad (2.4.3)$$

Перекрестный коэффициент a_{ij} рассчитывается по формуле:

$$a_{ij} = (1 - c_{ij})(a_i^{0.5} a_j^{0.5}) \quad (4.4)$$

$$a_i = a_j = a_i' a_i \quad (2.4.5)$$

$$a_i' = \frac{0.45724 R^2 T_K^2}{P_K} \quad (2.4.6)$$

$$a_i = (1 + m(1 - T_{пп}^{0.5}))^2 \quad (2.4.7)$$

$$m = 0.37464 + 1.54226\omega - 0.26992\omega^2 \quad (2.4.8)$$

2) Коэффициент "b" рассчитывается по формуле:

$$b = \sum_{i=1}^n \eta_i b_i \quad (2.4.9)$$

$$b_i = \frac{0.0778 R T_K}{P_K} \quad (2.4.10)$$

Коэффициенты бинарного взаимодействия компонентов газа:

Needs["Units"];

	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ " + "	CO ₂	H ₂ "S"	N ₂ " + R"
CH ₄	0	0.005	0.01	0.025	0.03	0.105	0	0.025
C ₂ H ₆	0.005	0	0.005	0.01	0.01	0.13	0	0.01
C ₃ H ₈	0.01	0.005	0	0	0.002	0.125	0	0.09
C ₄ H ₁₀	0.025	0.01	0	0	0.005	0.115	0	0.095 ;
C ₅ " + "	0.03	0.01	0.002	0.005	0	0.115	0	0.1
"CO ₂ "	0.105	0.13	0.125	0.115	0.115	0	0	0
H ₂ "S"	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₂ " + R"	0.025	0.01	0.09	0.095	0.1	0	0	0

Коэффициент "a" для газовой фазы :

$$a_v = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n y_i y_j a_{[i,j]} \right) \quad (2.4.11)$$

Коэффициент "а" для жидкой фазы :

$$a_l = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n x_i x_j a_{[i,j]} \right) \quad (2.4.12)$$

Расчет коэффициента "b"

$$Do \left[b[i] = 0.0778 \frac{RT_{cr}[i]}{p_{cr}[i]}, \{i, 1, n\} \right] \quad (2.4.13)$$

Коэффициент "b" для газовой фазы :

$$b_v = \sum_{i=1}^n y_i b[i] \quad (2.4.14)$$

Коэффициент "b" для жидкой фазы :

$$b_l = \sum_{i=1}^n x_i b[i] \quad (2.4.15)$$

Коэффициенты AA и BB для расчета коэффициента сжимаемости жидкой фазы :

$$AA_l = \frac{a_l p_n 10^6}{R^2 T_n^2} \quad (2.4.16)$$

$$BB_l = \frac{b_l p_n}{RT_n} \quad (2.4.17)$$

Коэффициент сжимаемости жидкой фазы :

$$z_l^3 - (1 - BB_l)z_l^2 + (AA_l - 3BB_l^2 - 2BB_l)z_l - (AA_l BB_l - BB_l^2 - BB_l^3) = 0 \quad (2.4.18)$$

Коэффициент AA и BB для расчета коэффициента сжимаемости газовой фазы :

$$AA_v = \frac{a_v p_n 10^6}{R^2 T_n^2} \quad (2.4.19)$$

$$BB_v = \frac{b_l p_n}{RT_n} \quad (2.4.20)$$

Коэффициент сжимаемости газовой фазы :

$$z_v^3 - (1 - BB_v)z_v^2 + (AA_v - 3BB_v^2 - 2BB_v)z_v - (AA_v BB_v - BB_v^2 - BB_v^3) = 0 \quad (2.4.21)$$

Коэффициент летучести i - го компонента газовой фазы :

$$\Psi_v[i] = e^{\frac{b[i]}{b_v} (z_v - 1) - \text{Log}[z_v - BB_v] - \frac{AA_v}{2 \cdot 2^{0.5} BB_v} \left(\frac{2 \sum_{j=1}^n y_j a_{[i,j]}}{a_v} - \frac{b[i]}{b_v} \right) \text{Log} \left[\frac{z_v + (1 + 2^{0.5}) BB_v}{z_v - (2^{0.5} - 1) BB_v} \right]} \quad (2.4.22)$$

Коэффициент летучести i - го компонента жидкой фазы :

$$\Psi_l[i] = e^{\frac{b[i]}{b_l} (z_l - 1) - \text{Log}[z_l - BB_l] - \frac{AA_l}{2 \cdot 2^{0.5} BB_l} \left(\frac{2 \sum_{j=1}^n x_j a_{[i,j]}}{a_l} - \frac{b[i]}{b_l} \right) \text{Log} \left[\frac{z_l + (1 + 2^{0.5}) BB_l}{z_l - (2^{0.5} - 1) BB_l} \right]} \quad (2.4.23)$$

Определение точных K[i]:

$$K[i] = \frac{\Psi_l[i]}{\Psi_v[i]} \quad (2.4.24)$$

$$NSolve[0 == \sum_{i=1}^n \frac{\text{Mix}2_i (K[i] - 1)}{\text{Vr}(K[i] - 1) + 1}, \text{Vr}]$$

$$xr[i] = \frac{Mix2_i}{Vr(K[i]-1)+1} \quad (2.4.25)$$

$$Xr = \sum_{i=1}^5 xr[i] \quad (2.4.26)$$

$$yr[i] = K[i]xr[i] \quad (2.4.27)$$

Таблица начальных значений k_i и конечных K_i

$$k_i = \text{Table}[k_i, \{i, 1, n\}];$$

$$K_i = \text{Table}[K[i], \{i, 1, n\}];$$

$$\text{MatrixForm}[\{\{k[i], k_i\}, \{K[i], K_i\}\}]$$

Таблица начальных и конечных x_i (жидкая фаза) :

$$x_i = \text{Table}[x_i, \{i, 1, n\}];$$

$$xr_i = \text{Table}[xr[i], \{i, 1, n\}];$$

$$\text{MatrixForm}[\{\{x[i], x_i\}, \{xr[i], xr_i\}\}]$$

Таблица начальных и конечных y_i (газовая фаза) :

$$y_i = \text{Table}[y_i, \{i, 1, n\}];$$

$$yr_i = \text{Table}[yr[i], \{i, 1, n\}];$$

$$\text{MatrixForm}[\{\{y[i], y_i\}, \{yr[i], yr_i\}\}]$$

Расчет молекулярной массы жидкой и газовой фаз.

$$Ml = \sum_{i=1}^n M_i xr[i] \quad (2.4.28)$$

$$Mv = \sum_{i=1}^n M_i yr[i] \quad (2.4.29)$$

Расчет плотностей жидкой и газовой фаз:

$$\rho l = \frac{p_n Ml}{z_l R T_n} (* \text{ lb/ft}^3 *) \quad (2.4.30)$$

$$\rho v = \frac{p_n Mv}{z_v R T_n} (* \text{ lb/ft}^3 *) \quad (2.4.31)$$

Плотности в $\frac{\Gamma}{\text{см}^3}$:

$$\rho ll = \rho l \cdot 0.0160 \quad (2.4.32)$$

$$\rho vv = \rho v \cdot 0.0160 \quad (2.4.33)$$

Расчет конденсатогазового фактора:

$$\Gamma 1 = \frac{(vr-1)Ml}{0.02404Vr} \quad (2.4.34)$$

$$\Gamma 2 = \Gamma 1 / \rho ll \quad (2.4.35)$$

1.5 Построение фазовой диаграммы для Мурманского газового месторождения по методике Пенга – Робинсона в среде Mathematica

$$Pc[1]=681.67; Tc[1]=342.9; \omega[1]=0.013;$$

$$Pc[2]=710.68; Tc[2]=550.8; \omega[2]=0.105;$$

$$Pc[3]=623.66; Tc[3]=665.28; \omega[3]=0.1520;$$

$$Pc[4]=551.14; Tc[4]=756; \omega[4]=0.201;$$

$$Pc[5]=188.11; Tc[5]=59.4; \omega[5]=0.243;$$

$$Pc[6]=29.3919; Tc[6]=9.36; \omega[6]=0.243;$$

$$Pc[7]=1070.67; Tc[7]=547.542; \omega[7]=0.420;$$

$$Pc[8]=492.98; Tc[8]=226.98; \omega[8]=0.040;$$

Off[General::"spell1"]

Off[FindRoot::"lstol"]

Off[Unset::"norep"]

$$Tre[i_]:=T/Tc[i]$$

$$Pre[i_]:=P/Pc[i]$$

$$Ap[i_]:=0.42747 a[i] Pre[i]/Tre[i]^2$$

$$Bp[i_]:=0.08664 Pre[i]/Tre[i]$$

$$a[i_]:= (1+m[i] (1-Tre[i]^0.5))^2$$

$$m[i_]:=0.480+1.574 \omega[i]-0.176 \omega[i]^2$$

$$Av = \sum_{i=1}^{14} \sum_{j=1}^{14} y[i]y[j]Ab[i, j]$$

$$Ab[i_,j_]=(Ap[i] Ap[j])^0.5;$$

$$Bv = \sum_{i=1}^{14} y[i]Bp[i]$$

$$Al = \sum_{i=1}^{14} \sum_{j=1}^{14} x[i]x[j]Ab[i, j]$$

$$Bl = \sum_{i=1}^{14} x[i]Bp[i]$$

$$\varphi v[i_]:=Exp[(Zv-1)Bp[i]/Bv-Log[Zv-Bv]-Av/Bv(2Ap[i]^0.5/Av^0.5-Bp[i]/Bv) Log[(Zv+Bv)/Zv]];$$

$$\varphi l[i_]:=Exp[(Zl-1) Bp[i]/Bl-Log[Zl-Bl]-Al/Bl (2 Ap[i]^0.5/Al^0.5-Bp[i]/Bl) Log[(Zl+Bl)/Zl]];$$

$$K[i_]:= \varphi l[i]/\varphi v[i];$$

$$P=5 14.69;$$

$$x[1]=0.87;x[2]=0.015;x[3]=0.015;x[4]=0.004;x[5]=0.02;x[6]=0.006;x[7]=0.01;x[8]=0.06;$$

Pc[1]=681.67;Tc[1]=342.9;ω[1]=0.013;
Pc[2]=710.68;Tc[2]=550.8;ω[2]=0.105;
Pc[3]=623.66;Tc[3]=665.28;ω[3]=0.1520;
Pc[4]=551.14;Tc[4]=756;ω[4]=0.201;
Pc[5]=188.11;Tc[5]=59.4;ω[5]=0.243;
Pc[6]=29.3919;Tc[6]=9.36;ω[6]=0.243;
Pc[7]=1070.67;Tc[7]=547.542;ω[7]=0.420;
Pc[8]=492.98;Tc[8]=226.98;ω[8]=0.040;

$x[1]+x[2]+x[3]+x[4]+x[5]+x[6]+x[7]+x[8]$

1.

$y[1]=.;y[2]=.;y[3]=.;y[4]=.;y[5]=.;y[6]=.;y[7]=.;y[8]=.;$

T=.

```
sol[1]=FindRoot[{y[1]==K[1]x[1],y[2]==K[2]x[2],y[3]==K[3]x[3],y[4]==K[4]
x[4],y[5]==K[5]x[5],y[6]==K[6]x[6],y[7]==K[7]x[7],y[8]==K[8]x[8],y[1]+y[2]+y[3]+y[4]+y[5]
+y[6]+y[7]+y[8]==1,Z1^3-Z1^2+Z1(A1-B1-B1^2)-A1B1==0,Zv^3-Zv^2+Zv(Av-Bv-Bv^2)-
AvBv==0},{y[1],0.1},{y[2],0.1},{y[3],0.1},{y[4],0.1},{y[5],0.1},{y[6],0.1},{y[7],0.1},{y[8],0.1
},{T,350},{Z1,0.05},{Zv,0.9},MaxIterations->1000000]//Chop
{y[1]->0.87,y[2]->0.0149998,y[3]->0.0149996,y[4]->0.00399986,y[5]->0.0200003,y[6]->0.00
600009,y[7]->0.00999988,y[8]->0.0600003,T->162.148,Z1->0.531754,Zv->0.531763}
```

Te[1]=T/.sol[1];Pe[1]=5 14.69;

i=.

For[i=2,i<65,P=(4+i)

```
14.69;x[1]=0.87;x[2]=0.015;x[3]=0.015;x[4]=0.004;x[5]=0.02;x[6]=0.006;x[7]=0.01;x[8]=0.06;
sol[i]=FindRoot[{y[1]==K[1]x[1],y[2]==K[2]x[2],y[3]==K[3]x[3],y[4]==K[4]x[4],y[5]==K[5]x
[5],y[6]==K[6]x[6],y[7]==K[7]x[7],y[8]==K[8]x[8],y[1]+y[2]+y[3]+y[4]+y[5]+y[6]+y[7]+y[8]
==1,Z1^3-Z1^2+Z1(A1-B1-B1^2)-A1B1==0,Zv^3-Zv^2+Zv(Av-Bv-Bv^2)-AvBv==0},{y[1],y[1]/.sol[i-
1]},{y[2],y[2]/.sol[i-1]},{y[3],y[3]/.sol[i-1]},{y[4],y[4]/.sol[i-1]},{y[5],y[5]/.sol[i-
1]},{y[6],y[6]/.sol[i-1]},{y[7],y[7]/.sol[i-1]},{y[8],y[8]/.sol[i-1]},{T,300},{Z1,Z1/.sol[i-
1]},{Zv,Zv/.sol[i-1]},MaxIterations->1000000]//Chop;Te[i]=T/.sol[i];Pe[i]=P;Print[i," ",Te[i],"
",Pe[i]," ",Z1/.sol[i]," ",Zv/.sol[i]];i++]
```

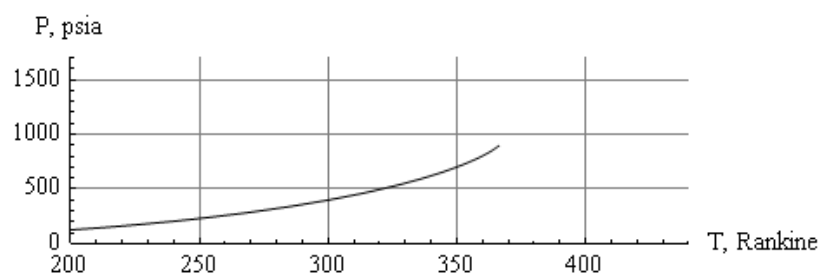
2	174.41	88.14	0.531324	0.531338
3	185.32	102.83	0.530888	0.530901
4	195.172	117.52	0.530441	0.530454
5	204.166	132.21	0.529986	0.529996
6	212.449	146.9	0.529519	0.529529

7	220.129	161.59	0.529042	0.529051
8	227.291	176.28	0.528554	0.528562
9	234.001	190.97	0.528055	0.528062
10	240.313	205.66	0.527543	0.527551
11	246.27	220.35	0.527019	0.527027
12	251.909	235.04	0.526484	0.526491
13	257.262	249.73	0.525935	0.525942
14	262.353	264.42	0.525374	0.52538
15	267.205	279.11	0.5248	0.524803
16	271.838	293.8	0.52421	0.524214
17	276.268	308.49	0.523606	0.52361
18	280.51	323.18	0.522987	0.522991
19	284.609	337.87	0.522098	0.522102
20	288.545	352.56	0.521189	0.521189
21	292.328	367.25	0.520262	0.520262
22	295.965	381.94	0.519319	0.519319
23	299.467	396.63	0.518357	0.518358
24	302.84	411.32	0.517378	0.517378
25	306.091	426.01	0.516378	0.516378
26	309.227	440.7	0.515361	0.515355
27	312.252	455.39	0.514319	0.514311
28	315.172	470.08	0.513252	0.513245
29	317.992	484.77	0.512161	0.512155
30	320.716	499.46	0.511044	0.511038
31	323.347	514.15	0.5099	0.509893
32	325.89	528.84	0.508727	0.50872
33	328.347	543.53	0.507523	0.507516
34	330.722	558.22	0.506286	0.50628
35	333.017	572.91	0.505016	0.505009
36	335.235	587.6	0.50371	0.503702
37	337.378	602.29	0.502363	0.502357
38	339.448	616.98	0.500978	0.500971
39	341.447	631.67	0.499548	0.499541
40	343.378	646.36	0.498071	0.498067
41	345.24	661.05	0.496545	0.496542

42	347.037	675.74	0.494968	0.494963
43	348.768	690.43	0.493333	0.493329
44	350.435	705.12	0.491639	0.491633
45	352.039	719.81	0.489877	0.489872
46	353.581	734.5	0.488044	0.488041
47	355.06	749.19	0.486136	0.486132
48	356.477	763.88	0.484143	0.484138
49	357.832	778.57	0.482058	0.482054
50	359.124	793.26	0.479873	0.479868
51	360.354	807.95	0.477575	0.47757
52	361.52	822.64	0.475152	0.475148
53	362.62	837.33	0.47259	0.472586
54	363.653	852.02	0.46987	0.469865
55	364.616	866.71	0.466969	0.466964
56	365.506	881.4	0.463858	0.463853
57	366.317	896.09	0.4605	0.460495
58	367.043	910.78	0.456848	0.456843
59	367.674	925.47	0.452835	0.45283
60	368.198	940.16	0.448365	0.448361
61	368.594	954.85	0.443295	0.443291
62	368.827	969.54	0.437385	0.43738
63	368.834	984.23	0.430174	0.430173
64	368.46	998.92	0.420547	0.420547

```
tbl1=Table[{Te[i],Pe[i]},{i,1,57}];
```

```
plt1=ListPlot[tbl1,Joined→True,PlotStyle→RGBColor[0,0,0],PlotRange→{{200,440},{0,1700}}
,DisplayFunction→Identity,AspectRatio→0.3,AxesLabel→{"T, Rankine", "P, psia"},GridLines→Automatic]
```



```
P=5*14.69;
```

```
y[1]=0.87;y[2]=0.015;y[3]=0.015;y[4]=0.004;y[5]=0.02;y[6]=0.006;y[7]=0.01;y[8]=0.06;
```

T=.

x[1]=.;x[2]=.;x[3]=.;x[4]=.;x[5]=.;x[6]=.;x[7]=.;x[8]=.;

```
sol[1]=FindRoot[{y[1]==K[1]x[1],y[2]==K[2]x[2],y[3]==K[3]x[3],y[4]==K[4]
x[4],y[5]==K[5]x[5],y[6]==K[6]x[6],y[7]==K[7]x[7],y[8]==K[8]x[8],x[1]+x[2]+x[3]+x[4]+x[5]
+x[6]+x[7]+x[8]==1,Zl3-Zl2+Zl(Al-Bl-Bl2)-AlBl==0,Zv3-Zv2+Zv(Av-Bv-Bv2)-
AvBv==0},{x[1],0.5},{x[2],0.05},{x[3],0.5},{x[4],0.5},{x[5],0.5},{x[6],0.5},{x[7],0.5},{x[8],0.
5},{T,350},{Zl,0.05},{Zv,0.95},MaxIterations→1000000]//Chop
{x[1]→0.0732696,x[2]→0.0301415,x[3]→0.274882,x[4]→0.595806,x[5]→0.0000195169,x[6]
→0.0000584271,x[7]→0.0249284,x[8]→0.000894617,T→364.947,Zl→0.0245501,Zv→0.96847
6}
```

Tro[1]=T/.sol[1];Pr[1]=5 14.69;

i=.

For[i=2,i<80,P=(4+i)

```
14.69;y[1]=0.87;y[2]=0.015;y[3]=0.015;y[4]=0.004;y[5]=0.02;y[6]=0.006;y[7]=0.01;y[8]=0.06;
sol[i]=FindRoot[{y[1]==K[1]x[1],y[2]==K[2]x[2],y[3]==K[3]x[3],y[4]==K[4]x[4],y[5]==K[5]x
[5],y[6]==K[6]x[6],y[7]==K[7]x[7],y[8]==K[8]x[8],x[1]+x[2]+x[3]+x[4]+x[5]+x[6]+x[7]+x[8]
==1,Zl3-Zl2+Zl(Al-Bl-Bl2)-AlBl==0,Zv3-Zv2+Zv(Av-Bv-Bv2)-AvBv==0},{x[1],x[1]/.sol[i-
1]},{x[2],x[2]/.sol[i-1]},{x[3],x[3]/.sol[i-1]},{x[4],x[4]/.sol[i-1]},{x[5],x[5]/.sol[i-
1]},{x[6],x[6]/.sol[i-1]},{x[7],x[7]/.sol[i-1]},{x[8],x[8]/.sol[i-1]},{T,400},{Zl,Zl/.sol[i-
1]},{Zv,Zv/.sol[i-1]},MaxIterations→1000000]//Chop;Tro[i]=T/.sol[i];Pr[i]=P;Print[i," ",Tro[i],
",Pr[i]," ",Zl/.sol[i]," ",Zv/.sol[i]];i++
```

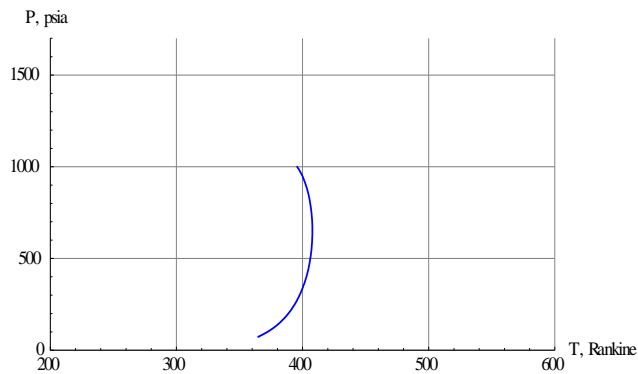
2	369.257	88.14	0.0289759	0.963377
3	372.929	102.83	0.033317	0.958421
4	376.12	117.52	0.0375835	0.953579
5	378.936	132.21	0.0417832	0.948831
6	381.449	146.9	0.045922	0.944159
7	383.71	161.59	0.0500049	0.939552
8	385.76	176.28	0.0540359	0.934999
9	387.629	190.97	0.0580185	0.930491
10	389.341	205.66	0.0619555	0.926019
11	390.915	220.35	0.0658496	0.921579
12	392.367	235.04	0.0697029	0.917165
13	393.709	249.73	0.0735174	0.91277
14	394.952	264.42	0.0772949	0.908391
15	396.106	279.11	0.0810368	0.904024

16	397.178	293.8	0.0847447	0.899664
17	398.174	308.49	0.0884198	0.895309
18	399.101	323.18	0.0920633	0.890954
19	399.963	337.87	0.0956762	0.886598
20	400.765	352.56	0.0992596	0.882236
21	401.51	367.25	0.102814	0.877865
22	402.202	381.94	0.106342	0.873484
23	402.844	396.63	0.109842	0.869089
24	403.439	411.32	0.113316	0.864677
25	403.988	426.01	0.116764	0.860246
26	404.494	440.7	0.120188	0.855793
27	404.959	455.39	0.123588	0.851315
28	405.384	470.08	0.126964	0.84681
29	405.77	484.77	0.130318	0.842274
30	406.12	499.46	0.133649	0.837705
31	406.434	514.15	0.136958	0.8331
32	406.713	528.84	0.140246	0.828456
33	406.958	543.53	0.143514	0.823769
34	407.17	558.22	0.146761	0.819036
35	407.349	572.91	0.149989	0.814253
36	407.496	587.6	0.153198	0.809418
37	407.611	602.29	0.156388	0.804525
38	407.695	616.98	0.15956	0.799571
39	407.748	631.67	0.162715	0.794552
40	407.769	646.36	0.165853	0.789461
41	407.76	661.05	0.168975	0.784295
42	407.719	675.74	0.172081	0.779048
43	407.647	690.43	0.175172	0.773712
44	407.543	705.12	0.178249	0.768283
45	407.406	719.81	0.181312	0.762752
46	407.237	734.5	0.184363	0.757111
47	407.034	749.19	0.187402	0.751352
48	406.796	763.88	0.19043	0.745463
49	406.523	778.57	0.193449	0.739435
50	406.212	793.26	0.19646	0.733254

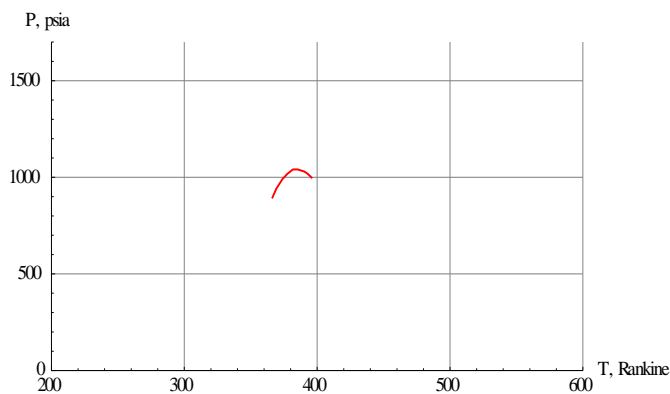
51	405.863	807.95	0.199464	0.726905
52	405.472	822.64	0.202463	0.720372
53	405.038	837.33	0.20546	0.713636
54	404.558	852.02	0.208457	0.706673
55	404.028	866.71	0.211458	0.699458
56	403.445	881.4	0.214466	0.691959
57	402.802	896.09	0.217486	0.684136
58	402.094	910.78	0.220525	0.675942
59	401.311	925.47	0.223591	0.667317
60	400.445	940.16	0.226696	0.658185
61	399.48	954.85	0.229857	0.648443
62	398.397	969.54	0.233096	0.63795
63	397.168	984.23	0.236449	0.626507
64	395.751	998.92	0.239976	0.613807
65	394.075	1013.61	0.243781	0.599336
66	392.003	1028.3	0.248087	0.582111
67	389.198	1042.99	0.253498	0.559688
68	383.727	1057.68	0.264061	0.518009
69	377.5	1072.37	0.285313	0.473905
70	358.851	1087.06	0.333734	0.354254
71	371.694	1101.75	0.394447	0.404357
72	369.677	1116.44	0.390801	0.398062
73	368.523	1131.13	0.389538	0.394857
74	367.708	1145.82	0.38807	0.3918
75	372.204	1160.51	0.395304	0.398341
76	374.077	1175.2	0.398124	0.400388
77	373.733	1189.89	0.4206	0.421583
78	368.41	1204.58	0.3928	0.39325
79	318.133	1219.27	0.284898	0.284888

```
tbl2=Table[{Tro[i],Pr[i]},{i,1,64}];
```

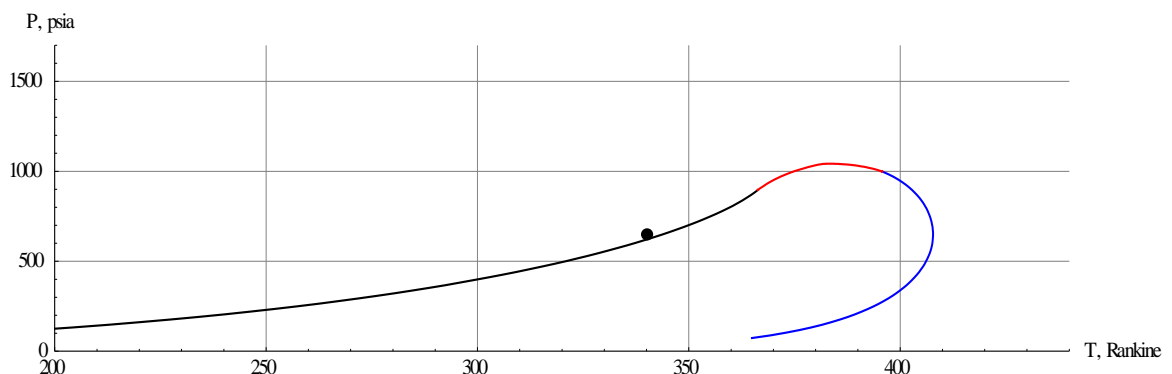
```
plt2=ListPlot[tbl2,Joined→True,PlotStyle→RGBColor[0,0,1],PlotRange→{{200,600},{0,1700}}
,DisplayFunction→Identity,AxesLabel→{"T,Rankine","P,psia"},GridLines→Automatic]
```

```
plt3=Graphics[{PointSize[0.012],Point[{340.038,647.1584}]}];
data={{366.317,896.09},{369.23,940.9},{373.85,990.9},{377.5,1018.18},{381.73,1040.9},{385.28,1040.9},{390.19,1030},{392.5,1020},{395.751,998.92}};
plt4=ListPlot[data,Joined→True,PlotStyle→Red,PlotRange→{{200,600},{0,1700}},DisplayFunction→Identity,AxesLabel→{"T, Rankine","P, psia"},GridLines→Automatic]
```



```
f1=Interpolation[data]
InterpolatingFunction[{{366.317,395.751}},<>]
y1=Plot[f1[x],{x,366.317,395.751},PlotStyle→Red];
Show[plt1,plt2,plt3,y1]
```



Максимальным давлением на границе фазовой области является критическое давление, выше которого жидкость не может испаряться. Максимальной температурой на границе фазовой области является критическая температура, выше которой газ не может конденсироваться.

Обратные явления также отмечаются при изменениях в давлениях при постоянной температуре. Этот случай, который представляет в большей степени интерес для инженера-разработчика, имеет место, когда криткондентерм больше T_c , а постоянная температура находится между этими предельными значениями. Этот тип обратного поведения является известной особенностью многих углеводородных пластов.

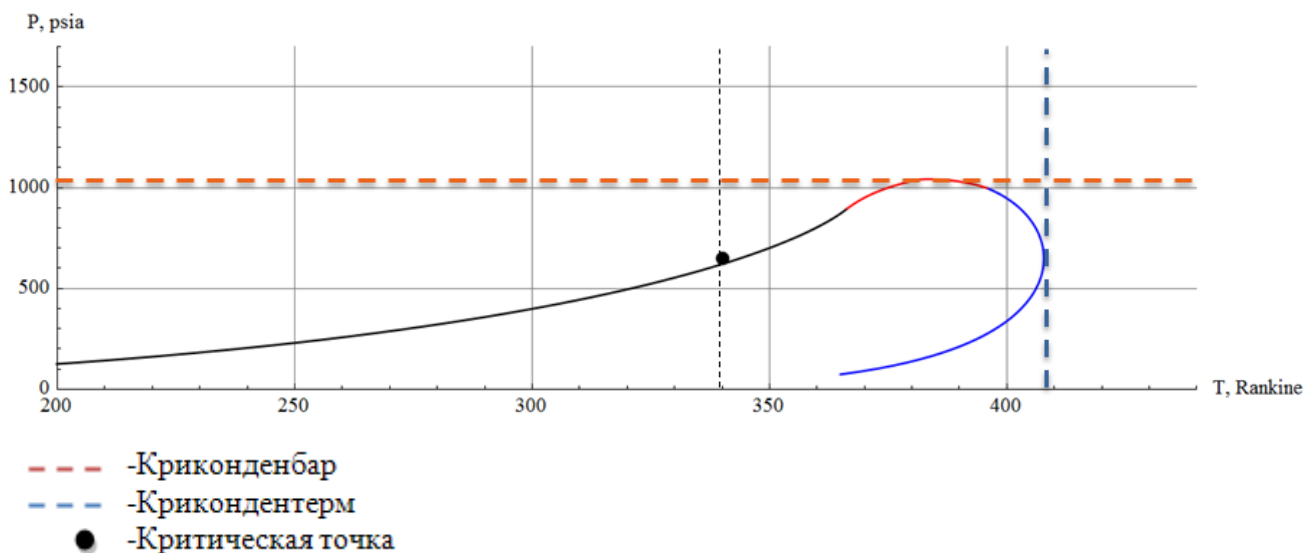


Рисунок 7 - Фазовая диаграмма Мурманского газового месторождения.

1.6 Построение равновесной кривой гидратообразования на устье скважины МГМ

При эксплуатации газовых и газоконденсатных месторождений Севера широко используют метод предотвращения гидратообразования в стволе скважин выбором оптимального безгидратного режима их работы [7].

Определим рабочий диапазон температур и давлений для безгидратной добычи газа на Мурманском газом месторождении.

Равновесная температура гидратообразования рассчитывается по формуле:

$$t_p = 18.47(1 + \lg[P]) - 11.354 / (1 - 41.8 * e^{(-7.846\bar{\rho})}), \quad (2.6.1)$$

где $\bar{\rho}$ – относительная плотность смеси газов.

$$\bar{\rho} = \frac{\rho}{1.293} \quad (2.6.2)$$

$$\rho = \frac{\rho_{\text{mix}} 273.151 P}{T z 0.1013}, \quad (2.6.3)$$

где ρ_{mix} - плотность газовой смеси, кг/м³.

Коэффициент сжимаемости рассчитывается по формуле И.Т. Мищенко:

$$z = 1 - 10^{-2} \left(0.76 \left(\frac{T}{T_{cr}} \right)^3 - 9.36 \frac{T}{T_{cr}} + 13 \right) \left(7.36 - \frac{P}{P_{cr}} \right) \frac{P}{P_{cr}} \quad (2.6.4)$$

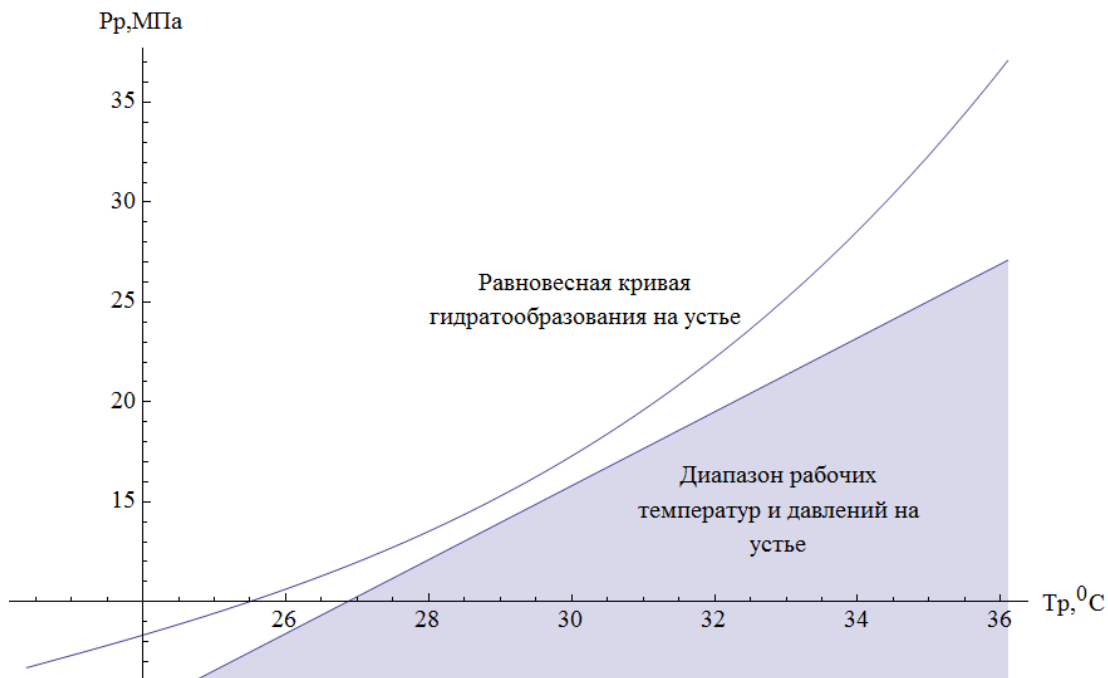


Рисунок 8 - Равновесная кривая гидратообразования на устье скважины Мурманского газового месторождения.

1.7 Методы борьбы с гидратами газов

Выбор методов ликвидации гидратов определяется местом их накопления, количеством и характером гидратной пробки, составом гидрата, а также имеющимися средствами ликвидации. Гидраты могут образовываться и полностью или частично перекрыть поток газа в призабойной зоне пласта, в стволе скважины – в колонне фонтанных труб, в кольцевом пространстве, в устьевой арматуре или приустьевом оборудовании, в системе промысловых газопроводов и аппаратов и т.д. Все применяемые методы борьбы с гидратами основаны на изменении энергетических соотношений молекул газа-гидратообразователя и воды. На практике наиболее широко для борьбы с гидратами применяются следующие методы [7]:

1. Осушка газового потока от влаги методами сорбции или низкотемпературной сепарации с понижением точки росы по воде ниже минимальной технологической температуры, что исключает конденсацию паров воды.
2. Ввод в газовый поток ингибиторов гидратообразования – спиртов и электролитов.

3. Поддержание давления потока ниже давления гидратообразования при заданной температуре.
4. Поддержание температуры газового потока выше температуры гидратообразования.

Использование того или иного способа зависит от условий и места образования гидратов в технологической системе добычи, транспорта и использования газа. При образовании гидратов в наземной части системы обустройства газового месторождения для борьбы с гидратами наиболее широко используют метод ввода ингибиторов гидратов в поток газа. При образовании гидратов в призабойной зоне пласта и в стволе скважин наиболее эффективен способ локального подогрева газа на забое и с последующей его регенерацией [7].

Целесообразность применения того или иного метода или их комбинирование определяется технологическими возможностями, а также результатами всестороннего технико-экономического анализа в каждом случае [7].

При эксплуатации месторождений следует по возможности устанавливать дебиты скважин, находящихся в области безгидратных режимов. Это уменьшит возможность образования гидратных пробок в стволе скважин. При высоких пластовых давлениях или пониженных температурах возможно, что при всех режимах будет эксплуатация будет происходить гидратообразование в стволе, а иногда и в призабойной зоне пласта [7].

Глава 2. Анализ состояния газовой смеси К..... газоконденсатного месторождения

2.1 Моделирование гравитационного распределения компонентов газа газоконденсатного месторождения

Для сравнения было рассмотрено и распределение компонентов по эффективной мощности пласта К для сопоставления с М.

Таблица 4 Компонентный состав Киринского месторождения.

Компонентный состав	Доли, %	Молярная масса, кг/моль	Критическая температура, К	Критическое давление, МПа
Метан	86.34	$16.04 \cdot 10^{-3}$	190.55	4.604
Этан	3.86	$30.07 \cdot 10^{-3}$	305.43	4.880
Пропан	2.03	$44.1 \cdot 10^{-3}$	369.82	4.249
i-бутан	0.46	$58.12 \cdot 10^{-3}$	408.13	3.648
n-бутан	0.68	$58.12 \cdot 10^{-3}$	426.16	3.797
i-пентан	0.36	$72.15 \cdot 10^{-3}$	460.39	3.381
n-пентан	0.28	$72.15 \cdot 10^{-3}$	469.6	3.369
n-гексан	0.77	$86.18 \cdot 10^{-3}$	507.4	3.012
n-гептан	0.53	$100.2 \cdot 10^{-3}$	540.2	2.736
n-октан	0.42	$114.23 \cdot 10^{-3}$	568.76	2.486
n-нонан	0.4	$128.26 \cdot 10^{-3}$	594.56	2.288
n-декан	0.73	$185.34 \cdot 10^{-3}$	617.4	2.099
Угл. газ	2.94	$44 \cdot 10^{-3}$	304.19	7.382
Азот	0.2	$28 \cdot 10^{-3}$	126.1	3.399

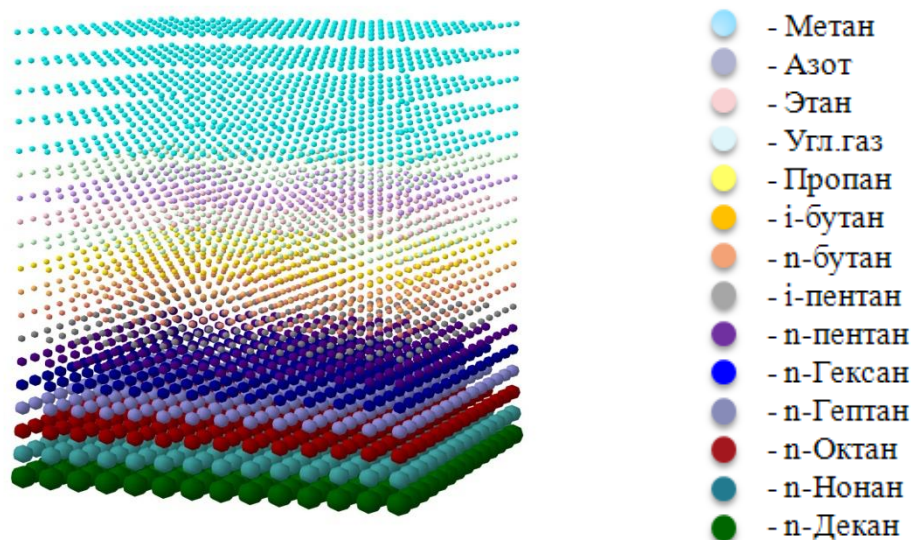


Рисунок 9 - Модель гравитационного распределения компонентов К-го месторождения.

Следует иметь в виду, что при интерпретации термограмм в нагнетательных скважинах на начальной стадии – стадии формирования очага горения в однородных пластах мощностью несколько метров и более, процессы горения в связи с гравитационным разделением происходят вначале в верхней части пласта. Затем процесс горения распространяется на нижнюю его часть, постепенно смещаясь вниз. При этом на термограммах, снятых в разные моменты времени, наблюдается постепенное смещение температурной аномалии вниз по толщине пласта[12].

2.2 Построение фазовой диаграммы для КГКМ по методике Пенга – Робинсона в среде Mathematica

$P_c[1]=681.67; T_c[1]=342.9; \omega[1]=0.013;$
 $P_c[2]=710.68; T_c[2]=550.8; \omega[2]=0.105;$
 $P_c[3]=623.66; T_c[3]=665.28; \omega[3]=0.1520;$
 $P_c[4]=536.64; T_c[4]=727.2; \omega[4]=0.192;$
 $P_c[5]=551.14; T_c[5]=756; \omega[5]=0.201;$
 $P_c[6]=478.62; T_c[6]=829.44; \omega[6]=0.208;$
 $P_c[7]=493.13; T_c[7]=846.36; \omega[7]=0.252;$
 $P_c[8]=565.65; T_c[8]=914.04; \omega[8]=0.290;$
 $P_c[9]=396.82; T_c[9]=972.36; \omega[9]=0.348;$
 $P_c[10]=360.56; T_c[10]=1023.768; \omega[10]=0.384;$
 $P_c[11]=331.84; T_c[11]=1070.208; \omega[11]=0.445;$

Pc[12]=304.43;Tc[12]=1111.32;ω[12]=0.485;

Pc[13]=1070.67;Tc[13]=547.542;ω[13]=0.420;

Pc[14]=492.98;Tc[14]=226.98;ω[14]=0.040;

Off[General::"spell1"]

Off[FindRoot::"lstol"]

Off[Unset::"norep"]

Tre[i_]:=T/Tc[i]

Pre[i_]:=P/Pc[i]

Ap[i_]:=0.42747 a[i] Pre[i]/Tre[i]^2

Bp[i_]:=0.08664 Pre[i]/Tre[i]

a[i_]:=0.42747 (1+m[i] (1-Tre[i]^0.5))^2

m[i_]:=0.480+1.574 ω[i]-0.176 ω[i]^2

$$A_v = \sum_{i=1}^{14} \sum_{j=1}^{14} y[i]y[j]Ab[i,j]$$

Ab[i_,j_]=(Ap[i] Ap[j])^0.5;

$$B_v = \sum_{i=1}^{14} y[i]Bp[i]$$

$$A_l = \sum_{i=1}^{14} \sum_{j=1}^{14} x[i]x[j]Ab[i,j]$$

$$B_l = \sum_{i=1}^{14} x[i]Bp[i]$$

φv[i_]:=Exp[(Zv-1) Bp[i]/Bv-Log[Zv-Bv]-Av/Bv (2 Ap[i]^0.5/Av^0.5-Bp[i]/Bv) Log[(Zv+Bv)/Zv]];

φl[i_]:=Exp[(Zl-1) Bp[i]/Bl-Log[Zl-Bl]-Al/Bl (2 Ap[i]^0.5/Al^0.5-Bp[i]/Bl) Log[(Zl+Bl)/Zl]];

K[i_]:=φl[i]/φv[i];

P=5 14.69;

Доли исходной смеси

x[1]=0.8634;x[2]=0.0386;x[3]=0.0203;x[4]=0.0046;x[5]=0.0068;x[6]=0.0036;x[7]=0.0028;x[8]
=0.0077;x[9]=0.0053;x[10]=0.0042;x[11]=0.004;x[12]=0.0073;x[13]=0.0294;x[14]=0.002;

Критические параметры

Pc[1]=681.67;Tc[1]=342.9;ω[1]=0.013;

Pc[2]=710.68;Tc[2]=550.8;ω[2]=0.105;

Pc[3]=623.66;Tc[3]=665.28;ω[3]=0.1520;

Pc[4]=536.64;Tc[4]=727.2;ω[4]=0.192;

Pc[5]=551.14;Tc[5]=756;ω[5]=0.201;

$Pc[6]=478.62; Tc[6]=829.44; \omega[6]=0.208;$
 $Pc[7]=493.13; Tc[7]=846.36; \omega[7]=0.252;$
 $Pc[8]=565.65; Tc[8]=914.04; \omega[8]=0.290;$
 $Pc[9]=396.82; Tc[9]=972.36; \omega[9]=0.348;$
 $Pc[10]=360.56; Tc[10]=1023.768; \omega[10]=0.384;$
 $Pc[11]=331.84; Tc[11]=1070.208; \omega[11]=0.445;$
 $Pc[12]=304.43; Tc[12]=1111.32; \omega[12]=0.485;$
 $Pc[13]=1070.67; Tc[13]=547.542; \omega[13]=0.420;$
 $Pc[14]=492.98; Tc[14]=226.98; \omega[14]=0.040;$

$x[1]+x[2]+x[3]+x[4]+x[5]+x[6]+x[7]+x[8]+x[9]+x[10]+x[11]+x[12]+x[13]+x[14]$

1.

$y[1]=.; y[2]=.; y[3]=.; y[4]=.; y[5]=.; y[6]=.; y[7]=.; y[8]=.; y[9]=.; y[10]=.; y[11]=.; y[12]=.; y[13]=.; y[14]=.;$

T=.

Находим доли в газовой фазе исходной смеси

```

sol[1]=FindRoot[{y[1]== K[1] x[1],y[2]== K[2] x[2],y[3]== K[3] x[3],y[4]== K[4] x[4],y[5]==
K[5] x[5],y[6]== K[6] x[6],y[7]== K[7] x[7],y[8]== K[8] x[8],y[9]== K[9] x[9],y[10]== K[10]
x[10],y[11]== K[11] x[11],y[12]== K[12] x[12],y[13]== K[13]
x[13],y[14]==K[14]x[14],y[1]+y[2]+y[3]+y[4]+y[5]+y[6]+y[7]+y[8]+y[9]+y[10]+y[11]+y[12]+
y[13]+y[14]==1,Zi^3-Zi^2+Zi(Ai-Bi-Bi^2)-AiBi==0,Zv^3-Zv^2+Zv(Av-Bv-Bv^2)-
AvBv==0},{y[1],0.1},{y[2],0.1},{y[3],0.1},{y[4],0.1},{y[5],0.1},{y[6],0.1},{y[7],0.1},{y[8],0.1
},{y[9],0.1},{y[10],0.1},{y[11],0.1},{y[12],0.1},{y[13],0.1},{y[14],0.1},{T,350},{Zi,0.05},{Zv,
0.9},MaxIterations->1000000]//Chop
{y[1]->0.863404,y[2]->0.0385996,y[3]->0.0202996,y[4]->0.00459986,y[5]->0.00679978,y[6]
->0.00359984,y[7]->0.00279987,y[8]->0.00769962,y[9]->0.00529962,y[10]->0.00419965,y[1
1]->0.00399961,y[12]->0.00729919,y[13]->0.0293998,y[14]->0.00200002,T->206.008,Zi->0.
671134,Zv->0.671149}

```

$Te[1]=T/.sol[1]; Pe[1]=5 14.69;$

i=.

For[i=2,i<100,P=(4+i)

```

14.69;x[1]=0.8634;x[2]=0.0386;x[3]=0.0203;x[4]=0.0046;x[5]=0.0068;x[6]=0.0036;x[7]=0.002
8;x[8]=0.0077;x[9]=0.0053;x[10]=0.0042;x[11]=0.004;x[12]=0.0073;x[13]=0.0294;x[14]=0.002
;sol[i]=FindRoot[{y[1]==K[1]x[1],y[2]==K[2]x[2],y[3]==K[3]x[3],y[4]==K[4]x[4],y[5]==K[5]
x[5],y[6]==K[6]x[6],y[7]==K[7]x[7],y[8]==K[8]x[8],y[9]==K[9]x[9],y[10]==K[10]x[10],y[11]
==K[11]x[11],y[12]==K[12]x[12],y[13]==K[13]x[13],y[14]==K[14]x[14],y[1]+y[2]+y[3]+y[4]

```



```

+y[5]+y[6]+y[7]+y[8]+y[9]+y[10]+y[11]+y[12]+y[13]+y[14]==1,Zl^3-Zl^2+Zl(A1-B1-B1^2)-
A1B1==0,Zv^3-Zv^2+Zv(Av-Bv-Bv^2)-AvBv==0},{y[1],y[1]/.sol[i-1]},{y[2],y[2]/.sol[i-
1]},{y[3],y[3]/.sol[i-1]},{y[4],y[4]/.sol[i-1]},{y[5],y[5]/.sol[i-1]},{y[6],y[6]/.sol[i-
1]},{y[7],y[7]/.sol[i-1]},{y[8],y[8]/.sol[i-1]},{y[9],y[9]/.sol[i-1]},{y[10],y[10]/.sol[i-
1]},{y[11],y[11]/.sol[i-1]},{y[12],y[12]/.sol[i-1]},{y[13],y[13]/.sol[i-1]},{y[14],y[14]/.sol[i-
1]},{T,300},{Zl,Zl/.sol[i-1]},{Zv,Zv/.sol[i-
1]},{MaxIterations->1000000}/Chop;Te[i]=T/.sol[i];Pe[i]=P;Print[i,"      ",Te[i],"      ",Pe[i],"
",Zl/.sol[i]," ",Zv/.sol[i]];i++]

```

2	221.564	88.14	0.672108	0.672122
3	235.419	102.83	0.673006	0.673018
4	247.942	117.52	0.673842	0.673854
5	259.391	132.21	0.674633	0.674639
6	269.947	146.9	0.67538	0.675385
7	279.75	161.59	0.676092	0.676097
8	288.905	176.28	0.676774	0.676779
9	297.497	190.97	0.67743	0.677435
10	305.593	205.66	0.678063	0.678068
11	313.248	220.35	0.678675	0.678681
12	320.51	235.04	0.67927	0.679275
13	327.416	249.73	0.679847	0.679853
14	334.	264.42	0.680409	0.680415
15	340.289	279.11	0.680957	0.680963
16	346.309	293.8	0.681493	0.681497
17	352.079	308.49	0.682014	0.682021
18	357.62	323.18	0.682526	0.682532
19	362.948	337.87	0.683026	0.683034
20	368.078	352.56	0.683517	0.683525
21	373.022	367.25	0.683999	0.684007
22	377.792	381.94	0.684472	0.68448
23	382.4	396.63	0.684937	0.684944
24	386.854	411.32	0.685394	0.685401
25	391.164	426.01	0.685843	0.68585
26	395.337	440.7	0.686284	0.686292
27	399.38	455.39	0.686719	0.686727
28	403.301	470.08	0.687148	0.687155

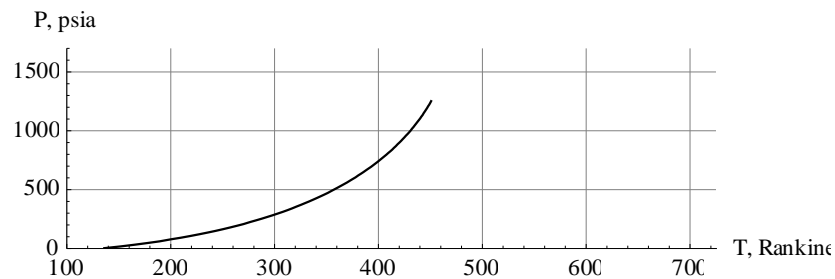
29	407.105	484.77	0.68757	0.687577
30	410.798	499.46	0.687986	0.687993
31	414.385	514.15	0.688396	0.688403
32	417.871	528.84	0.6888	0.688807
33	421.26	543.53	0.689198	0.689205
34	424.557	558.22	0.689592	0.689598
35	427.766	572.91	0.689982	0.689985
36	430.889	587.6	0.690366	0.690368
37	433.931	602.29	0.690744	0.690746
38	436.894	616.98	0.691116	0.691119
39	439.781	631.67	0.691482	0.691488
40	442.596	646.36	0.691845	0.691851
41	445.341	661.05	0.692205	0.69221
42	448.018	675.74	0.692559	0.692565
43	450.629	690.43	0.692908	0.692915
44	453.178	705.12	0.693254	0.693261
45	455.665	719.81	0.693596	0.693603
46	458.094	734.5	0.693935	0.69394
47	460.465	749.19	0.694267	0.694274
48	462.78	763.88	0.694596	0.694603
49	465.041	778.57	0.694921	0.694929
50	467.251	793.26	0.695243	0.69525
51	469.409	807.95	0.69556	0.695567
52	471.518	822.64	0.695874	0.695881
53	473.579	837.33	0.696183	0.696191
54	475.593	852.02	0.696489	0.696497
55	477.562	866.71	0.696791	0.696799
56	479.486	881.4	0.697089	0.697098
57	481.367	896.09	0.697383	0.697392
58	483.206	910.78	0.697674	0.697683
59	485.004	925.47	0.697961	0.69797
60	486.761	940.16	0.698244	0.698254
61	488.48	954.85	0.698524	0.698534
62	490.16	969.54	0.6988	0.69881
63	491.802	984.23	0.699072	0.699082

64	493.408	998.92	0.699341	0.699351
65	494.978	1013.61	0.699606	0.699616
66	496.513	1028.3	0.699867	0.699877
67	498.014	1042.99	0.700125	0.700134
68	499.481	1057.68	0.700379	0.700388
69	500.915	1072.37	0.70063	0.700638
70	502.317	1087.06	0.700877	0.700884
71	503.687	1101.75	0.70112	0.701127
72	505.026	1116.44	0.701361	0.701365
73	506.334	1131.13	0.701597	0.7016
74	507.613	1145.82	0.701831	0.701831
75	508.861	1160.51	0.702057	0.702058
76	510.08	1175.2	0.70228	0.702281
77	511.271	1189.89	0.7025	0.702501
78	512.433	1204.58	0.702715	0.702716
79	513.568	1219.27	0.702926	0.702927
80	514.676	1233.96	0.703134	0.703135
81	515.756	1248.65	0.703337	0.703338
82	516.811	1263.34	0.703536	0.703537
83	517.839	1278.03	0.703731	0.703732
84	518.841	1292.72	0.703922	0.703922
85	519.818	1307.41	0.704108	0.704109
86	520.77	1322.1	0.70429	0.70429
87	521.698	1336.79	0.704467	0.704468
88	522.6	1351.48	0.704641	0.704641
89	523.479	1366.17	0.704809	0.704809
90	524.334	1380.86	0.704973	0.704973
91	525.166	1395.55	0.705133	0.705132
92	525.973	1410.24	0.705285	0.705287
93	526.756	1424.93	0.70543	0.705436
94	527.518	1439.62	0.705575	0.705581
95	528.258	1454.31	0.705715	0.70572
96	528.975	1469.	0.705851	0.705855
97	529.67	1483.69	0.70598	0.705984
98	530.343	1498.38	0.706105	0.706107

99 530.994 1513.07 0.706224 0.706226

```
tbl1=Table[{Te[i],Pe[i]},{i,1,86}];
```

```
plt1=ListPlot[tbl1,Joined→True,PlotStyle→RGBColor[0,0,0],PlotRange→{{100,726},{0,1700}},DisplayFunction→Identity,AspectRatio→0.3,AxesLabel→{"T,Rankine","P,psia"},GridLines→Automatic]
```



```
P=5*14.69;
```

```
y[1]=0.8634;y[2]=0.0386;y[3]=0.0203;y[4]=0.0046;y[5]=0.0068;y[6]=0.0036;y[7]=0.0028;y[8]=0.0077;y[9]=0.0053;y[10]=0.0042;y[11]=0.004;y[12]=0.0073;y[13]=0.0294;y[14]=0.002;
```

```
y[1]+y[2]+y[3]+y[4]+y[5]+y[6]+y[7]+y[8]+y[9]+y[10]+y[11]+y[12]+y[13]+y[14]
```

```
1.
```

```
T=.
```

```
x[1]=.;x[2]=.;x[3]=.;x[4]=.;x[5]=.;x[6]=.;x[7]=.;x[8]=.;x[9]=.;x[10]=.;x[11]=.;x[12]=.;x[13]=.;x[14]=.;
```

```
sol[1]=FindRoot[{y[1]==K[1]x[1],y[2]==K[2]x[2],y[3]==K[3]x[3],y[4]==K[4]x[4],y[5]==K[5]x[5],y[6]==K[6]x[6],y[7]==K[7]x[7],y[8]==K[8]x[8],y[9]==K[9]x[9],y[10]==
```

```
K[10]x[10],y[11]==K[11]x[11],y[12]==K[12]x[12],y[13]==K[13]x[13],y[14]==K[14]x[14],x[1]+x[2]+x[3]+x[4]+x[5]+x[6]+x[7]+x[8]+x[9]+x[10]+x[11]+x[12]+x[13]+x[14]==1,Zi3-
```

```
Zi2+Zi(Ai-Bi-Bi2)-AiBi=0,Zv3-Zv2+Zv(Av-Bv-Bv2)-
```

```
AvBv=0},{x[1],0.05},{x[2],0.05},{x[3],0.05},{x[4],0.05},{x[5],0.05},{x[6],0.05},{x[7],0.05},{x[8],0.03},{x[9],0.03},{x[10],0.03},{x[11],0.02},{x[12],0.02},{x[13],0},{x[14],0.05},{T,350},
```

```
{Zi,0.05},{Zv,0.95},MaxIterations→1000000]//Chop
```

```
{x[1]→0.0188482,x[2]→0.00306837,x[3]→0.004101,x[4]→0.00174129,x[5]→0.00328867,x[6]→0.00381231,x[7]→0.00364153,x[8]→0.018032,x[9]→0.0392036,x[10]→0.069936,x[11]→0.
```

```
162933,x[12]→0.669759,x[13]→0.00161565,x[14]→0.0000194963,T→641.499,Zi→0.0396011,Zv→0.992183}
```

```
Tro[1]=T/.sol[1];Pr[1]=5 14.69;
```

```
i=.
```

```
For[i=2,i<200,P=(4+i)
```

```
14.69;y[1]=0.8634;y[2]=0.0386;y[3]=0.0203;y[4]=0.0046;y[5]=0.0068;y[6]=0.0036;y[7]=0.0028;y[8]=0.0077;y[9]=0.0053;y[10]=0.0042;y[11]=0.004;y[12]=0.0073;y[13]=0.0294;y[14]=0.002
```

```

;sol[i]=FindRoot[{y[1]==K[1]x[1],y[2]==K[2]x[2],y[3]==K[3]x[3],y[4]==K[4]x[4],y[5]==K[5]
x[5],y[6]==K[6]x[6],y[7]==K[7]x[7],y[8]==K[8]x[8],y[9]==K[9]x[9],y[10]==K[10]x[10],y[11]
==K[11]x[11],y[12]==K[12]x[12],y[13]==K[13]x[13],y[14]==K[14]x[14],x[1]+x[2]+x[3]+x[4]
+x[5]+x[6]+x[7]+x[8]+x[9]+x[10]+x[11]+x[12]+x[13]+x[14]==1,Zi3-Zi2+Zi(Ai-Bi-Bi2)-
AiBi=0,Zv3-Zv2+Zv(Av-Bv-Bv2)-AvBv=0},{x[1],x[1]/.sol[i-1]},{x[2],x[2]/.sol[i-
1]},{x[3],x[3]/.sol[i-1]},{x[4],x[4]/.sol[i-1]},{x[5],x[5]/.sol[i-1]},{x[6],x[6]/.sol[i-
1]},{x[7],x[7]/.sol[i-1]},{x[8],x[8]/.sol[i-1]},{x[9],x[9]/.sol[i-1]},{x[10],x[10]/.sol[i-
1]},{x[11],x[11]/.sol[i-1]},{x[12],x[12]/.sol[i-1]},{x[13],x[13]/.sol[i-1]},{x[14],x[14]/.sol[i-
1]},{T,650},{Zi,Zi/sol[i-1]},{Zv,Zv/sol[i-
1]},MaxIterations→1000000//Chop;Te[i]=T/.sol[i];Pe[i]=P;Print[i,"      ",Te[i],"      ",Pe[i],"
",Zi/sol[i]," ",Zv/sol[i]];i++]
2  648.531  88.14  0.0469302  0.991062
3  654.532  102.83  0.0541516  0.99
4  659.762  117.52  0.0612767  0.988987
5  664.388  132.21  0.0683139  0.988015
6  668.529  146.9  0.07527  0.987079
7  672.271  161.59  0.0821503  0.986175
8  675.679  176.28  0.0889592  0.9853
9  678.801  190.97  0.0957006  0.984449
10  681.676  205.66  0.102377  0.983622
11  684.336  220.35  0.108993  0.982816
12  686.806  235.04  0.115548  0.982029
13  689.108  249.73  0.122047  0.98126
14  691.258  264.42  0.12849  0.980507
15  693.272  279.11  0.134879  0.97977
16  695.162  293.8  0.141216  0.979047
17  696.939  308.49  0.147502  0.978337
18  698.613  323.18  0.153738  0.977639
19  700.192  337.87  0.159926  0.976953
20  701.684  352.56  0.166066  0.976278
21  703.094  367.25  0.17216  0.975614
22  704.428  381.94  0.178208  0.974959
23  705.692  396.63  0.184211  0.974314
24  706.89  411.32  0.19017  0.973677
25  708.026  426.01  0.196086  0.973049

```

26	709.103	440.7	0.201959	0.972429
27	710.126	455.39	0.207791	0.971816
28	711.097	470.08	0.213581	0.971211
29	712.019	484.77	0.21933	0.970612
30	712.895	499.46	0.225039	0.970021
31	713.726	514.15	0.230708	0.969435
32	714.516	528.84	0.236338	0.968855
33	715.265	543.53	0.241929	0.968281
34	715.976	558.22	0.247482	0.967713
35	716.651	572.91	0.252997	0.96715
36	717.291	587.6	0.258475	0.966592
37	717.897	602.29	0.263916	0.966038
38	718.471	616.98	0.26932	0.96549
39	719.015	631.67	0.274688	0.964946
40	719.528	646.36	0.280019	0.964406
41	720.014	661.05	0.285316	0.96387
42	720.471	675.74	0.290577	0.963338
43	720.902	690.43	0.295803	0.96281
44	721.307	705.12	0.300995	0.962285
45	721.688	719.81	0.306153	0.961764
46	722.045	734.5	0.311276	0.961246
47	722.378	749.19	0.316366	0.960731
48	722.689	763.88	0.321422	0.96022
49	722.978	778.57	0.326446	0.959711
50	723.245	793.26	0.331436	0.959205
51	723.492	807.95	0.336394	0.958702
52	723.719	822.64	0.341319	0.958201
53	723.927	837.33	0.346213	0.957703
54	724.116	852.02	0.351074	0.957207
55	724.286	866.71	0.355904	0.956713
56	724.438	881.4	0.360703	0.956221
57	724.572	896.09	0.36547	0.955732
58	724.689	910.78	0.370206	0.955244
59	724.79	925.47	0.374912	0.954758
60	724.874	940.16	0.379587	0.954274

61	724.942	954.85	0.384232	0.953792
62	724.994	969.54	0.388846	0.953311
63	725.031	984.23	0.393431	0.952832
64	725.053	998.92	0.397986	0.952354
65	725.06	1013.61	0.402512	0.951877
66	725.053	1028.3	0.407008	0.951402
67	725.031	1042.99	0.411475	0.950927
68	724.996	1057.68	0.415913	0.950454
69	724.947	1072.37	0.420322	0.949982
70	724.884	1087.06	0.424702	0.94951
71	724.808	1101.75	0.429054	0.94904
72	724.719	1116.44	0.433378	0.94857
73	724.617	1131.13	0.437674	0.948101
74	724.503	1145.82	0.441941	0.947632
75	724.376	1160.51	0.446181	0.947164
76	724.237	1175.2	0.450393	0.946697
77	724.085	1189.89	0.454577	0.946229
78	723.922	1204.58	0.458735	0.945762
79	723.747	1219.27	0.462865	0.945296
80	723.561	1233.96	0.466967	0.944829
81	723.363	1248.65	0.471043	0.944363
82	723.153	1263.34	0.475093	0.943896
83	722.933	1278.03	0.479115	0.94343
84	722.701	1292.72	0.483111	0.942963
85	722.458	1307.41	0.48708	0.942496
86	722.205	1322.1	0.491024	0.942029
87	721.94	1336.79	0.494941	0.941561
88	721.665	1351.48	0.498832	0.941094
89	721.38	1366.17	0.502697	0.940625
90	721.084	1380.86	0.506537	0.940156
91	720.777	1395.55	0.510351	0.939687
92	720.46	1410.24	0.514139	0.939216
93	720.133	1424.93	0.517902	0.938745
94	719.796	1439.62	0.521639	0.938273
95	719.449	1454.31	0.525352	0.9378

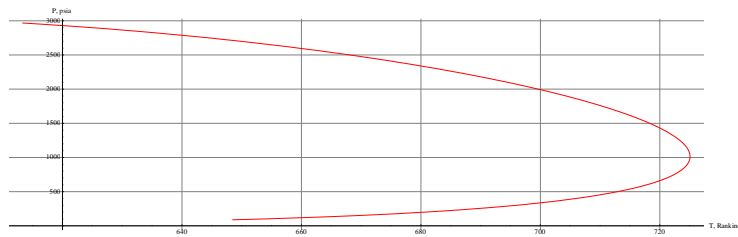
96	719.091	1469.	0.529039	0.937326
97	718.724	1483.69	0.532701	0.936852
98	718.347	1498.38	0.536338	0.936375
99	717.96	1513.07	0.539951	0.935898
100	717.563	1527.76	0.543539	0.935419
101	717.156	1542.45	0.547102	0.934939
102	716.74	1557.14	0.550641	0.934458
103	716.313	1571.83	0.554155	0.933975
104	715.877	1586.52	0.557645	0.93349
105	715.432	1601.21	0.561111	0.933004
106	714.977	1615.9	0.564553	0.932516
107	714.512	1630.59	0.567971	0.932026
108	714.037	1645.28	0.571364	0.931534
109	713.553	1659.97	0.574734	0.93104
110	713.06	1674.66	0.57808	0.930543
111	712.556	1689.35	0.581402	0.930045
112	712.043	1704.04	0.5847	0.929544
113	711.521	1718.73	0.587975	0.929041
114	710.989	1733.42	0.591226	0.928535
115	710.447	1748.11	0.594454	0.928027
116	709.896	1762.8	0.597658	0.927516
117	709.335	1777.49	0.600839	0.927002
118	708.765	1792.18	0.603997	0.926485
119	708.184	1806.87	0.607131	0.925965
120	707.595	1821.56	0.610242	0.925442
121	706.995	1836.25	0.61333	0.924916
122	706.385	1850.94	0.616395	0.924387
123	705.766	1865.63	0.619437	0.923854
124	705.137	1880.32	0.622455	0.923317
125	704.498	1895.01	0.625451	0.922776
126	703.849	1909.7	0.628423	0.922232
127	703.189	1924.39	0.631373	0.921684
128	702.52	1939.08	0.6343	0.921132
129	701.841	1953.77	0.637203	0.920575
130	701.151	1968.46	0.640084	0.920014

131	700.451	1983.15	0.642942	0.919448
132	699.74	1997.84	0.645777	0.918878
133	699.02	2012.53	0.648589	0.918303
134	698.288	2027.22	0.651378	0.917723
135	697.546	2041.91	0.654145	0.917137
136	696.793	2056.6	0.656888	0.916547
137	696.029	2071.29	0.659609	0.91595
138	695.254	2085.98	0.662306	0.915348
139	694.468	2100.67	0.664981	0.914741
140	693.67	2115.36	0.667632	0.914127
141	692.861	2130.05	0.670261	0.913506
142	692.041	2144.74	0.672867	0.912879
143	691.209	2159.43	0.675449	0.912246
144	690.365	2174.12	0.678008	0.911605
145	689.509	2188.81	0.680544	0.910958
146	688.641	2203.5	0.683057	0.910302
147	687.76	2218.19	0.685546	0.909639
148	686.866	2232.88	0.688012	0.908969
149	685.96	2247.57	0.690454	0.908289
150	685.041	2262.26	0.692873	0.907602
151	684.108	2276.95	0.695268	0.906905
152	683.162	2291.64	0.697639	0.906199
153	682.202	2306.33	0.699986	0.905484
154	681.228	2321.02	0.702309	0.904759
155	680.24	2335.71	0.704607	0.904024
156	679.237	2350.4	0.706882	0.903278
157	678.219	2365.09	0.709131	0.902521
158	677.186	2379.78	0.711356	0.901753
159	676.137	2394.47	0.713555	0.900973
160	675.072	2409.16	0.71573	0.90018
161	673.99	2423.85	0.717878	0.899375
162	672.892	2438.54	0.720001	0.898556
163	671.776	2453.23	0.722099	0.897723
164	670.643	2467.92	0.724169	0.896876
165	669.491	2482.61	0.726213	0.896014

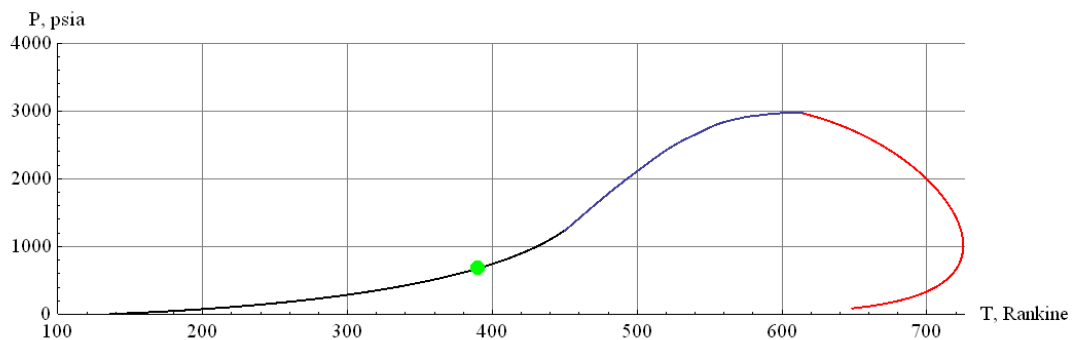
166	668.321	2497.3	0.72823	0.895136
167	667.131	2511.99	0.73022	0.894242
168	665.921	2526.68	0.732182	0.89333
169	664.69	2541.37	0.734115	0.892401
170	663.438	2556.06	0.73602	0.891452
171	662.164	2570.75	0.737896	0.890484
172	660.866	2585.44	0.739742	0.889496
173	659.546	2600.13	0.741558	0.888485
174	658.2	2614.82	0.743343	0.887452
175	656.829	2629.51	0.745096	0.886394
176	655.43	2644.2	0.746816	0.885311
177	654.004	2658.89	0.748504	0.884202
178	652.549	2673.58	0.750157	0.883064
179	651.063	2688.27	0.751775	0.881896
180	649.545	2702.96	0.753357	0.880696
181	647.993	2717.65	0.754901	0.879463
182	646.406	2732.34	0.756407	0.878194
183	644.781	2747.03	0.757872	0.876886
184	643.116	2761.72	0.759296	0.875537
185	641.409	2776.41	0.760676	0.874144
186	639.657	2791.1	0.76201	0.872703
187	637.857	2805.79	0.763296	0.871212
188	636.005	2820.48	0.764532	0.869664
189	634.098	2835.17	0.765714	0.868057
190	632.131	2849.86	0.76684	0.866384
191	630.098	2864.55	0.767905	0.864639
192	627.995	2879.24	0.768904	0.862814
193	625.813	2893.93	0.769834	0.860901
194	623.545	2908.62	0.770686	0.85889
195	621.18	2923.31	0.771455	0.856768
196	618.706	2938.	0.77213	0.85452
197	616.108	2952.69	0.772701	0.852128
198	613.368	2967.38	0.773153	0.849568
199	610.461	2982.07	0.773469	0.846809

tbl2=Table[{{Te[i],Pe[i]},{i,2,198}}];

```
plt2=ListPlot[tbl2,Joined→True,DisplayFunction→Identity,AspectRatio→0.3,AxesLabel→{"T, Rankine", "P, psia"},GridLines→Automatic,PlotStyle→Red]
```



```
plt3=Graphics[{PointSize[0.015],Point[{{389.84,680.23}},VertexColors→{Green}]}];
p={5,6.22,7.47,8.96,10.75,12.9,15.48,18.57,22.28,26.74,32.08,38.5,46.19,55.43,66.51,72.31,79.8,95.76,114.9,144.29,174.46,195.63,215.43,224.76,226.53,226.47,226.31,226.10,225.37,224.29,222.25,221.07,218.93,216.43,214.28,210.56,210.35,206.76,200.96,195,174.71,163.35};
P=p 14.50377;
t={76.90,81.33,85.05,88.81,92.57,96.32,100.04,103.68,107.22,110.58,113.72,116.53,118.9,120.68,121.68,121.80,121.62,120.10,116.55,107.75,94.04,80.20,60.27,41.61,29.08,26.85,24.64,22.85,18.85,14.85,10.85,9.41,6.85,2.85,-1.15,-4.20,-5.15,-9.15,-13.15,-18.89,-32.31,-38.85,-45.77};
T=((t+273.15) 9 )/5;
data4={{450.93,1250},{469.57,1592.11},{481.37,1802.63},{500.62,2118.42},{519.25,2407.89},{531.68,2565.79},{540.99,2657.89},{556.52,2810.79},{562.73,2849.11},{568.94,2880.42},{578.26,2920.05},{582.61,2930.21},{590.68,2950.21},{601.24,2967.37},{613.368,2967.38}};
fun=Interpolation[data4]
InterpolatingFunction[{{450.93,613.368}},<>]
plt4=Plot[fun[x],{x,450,614}];
Show[plt1,plt2,plt3,plt4,DisplayFunction→$DisplayFunction,PlotRange→{{100,726},{0,4000}}]
}}
```



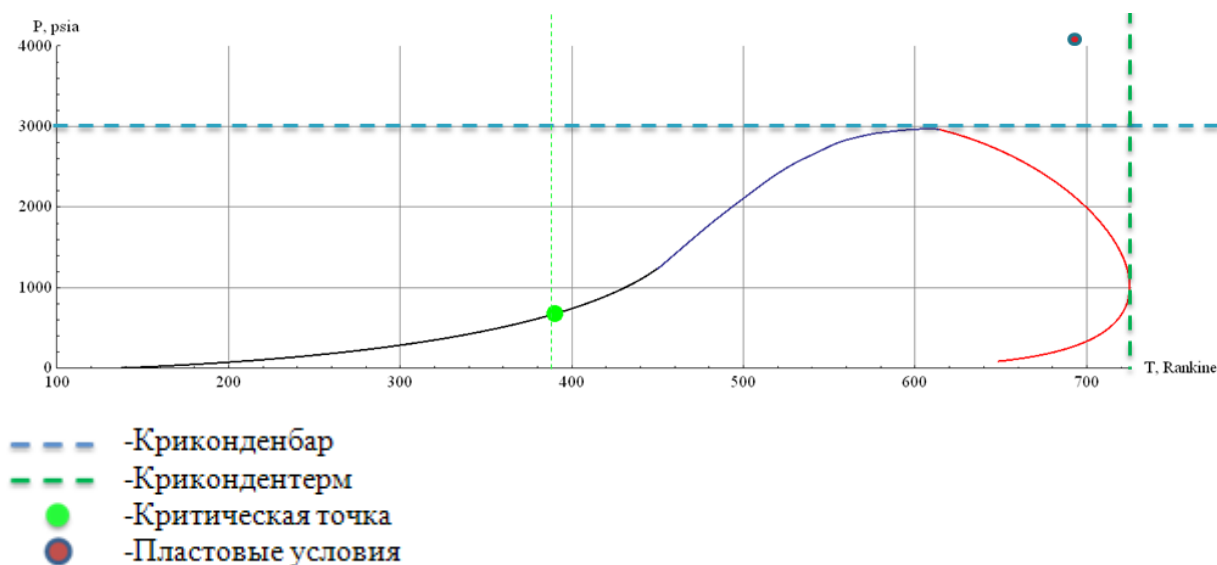


Рисунок 10 - Фазовая диаграмма Кириного месторождения.

В заключении по Кириному месторождению сказано, что конденсат вероятно образуется в призабойной части пласта. Расчет по Пенгу-Робинсону показывает, что конденсат образуется уже в пластовых условиях со следующими параметрами: Доля конденсата 0.02% и он представлен компонентами C8H18, C9H20, C10H22.

2.3 Аналитический расчет межфазного натяжения по составам жидкой и паровой фаз.

При разработке МГМ выпадения конденсата на забое не ожидается, поэтому расчет межфазного натяжения целесообразен для Кириного газоконденсатного месторождения, т.к. присутствуют жидкая и паровая фазы.

Расчет поверхностного натяжения на границе раздела жидкой и паровой фаз чистых веществ можно провести по формуле Маклеода – Сагдена [13]:

$$\sigma = [(\Pi (\rho_{ж} - \rho_{п}))^4 10^{-3}], (3.3.1)$$

где Π – константа, названная Сагденомпарахором, $\rho_{ж}, \rho_{п}$ – молярные концентрации соответственно жидкой и паровой фаз, моль/см³.

Парахором называется относительный объем двух жидкостей с равным поверхностным натяжением. Он является аддитивной функцией атомов и групп в молекуле, практически независим от температуры [13].

Парахор индивидуальных компонентов гомологического ряда метана можно вычислить по значениям их молекулярной массы по формулам [13]:

$$\Pi_i = 30 + 2.82 M_i, 16 \leq M_i \leq 114 \quad (3.3.2)$$

$$\Pi_i = 189 + 1.43 M_i, 114 \leq M_i \leq 170 \quad (3.3.3)$$

Парахор жидкой или паровой смеси можно определить по их составам:

$$P_{ж.см} = \sum x_i P_i, P_{п.см} = \sum y_i P_i \quad (3.3.4)$$

Поверхностное натяжение (в Н/м) на границе раздела смесей можно определить по формуле [13]:

$$\sigma_{см} = [\sum_{i=1}^n (P_i(x_i \rho_{ж} - y_i \rho_{п}))]^4 10^{-3}, \quad (3.3.5)$$

где x_i, y_i – молярные доли компонентов в жидкой и паровой фазах соответственно, $\rho_{ж}, \rho_{п}$ – плотности соответственно жидкой и паровой фаз, моль/см³.

Для компонентов Киринского газоконденсатного месторождения расчетное значение $\sigma_{см} = 0.015$ Н/м.

Поверхностное натяжение зависит от температуры и давления: чем выше температура (или давление), тем ниже коэффициент межфазного натяжения. При критических давлении и температуре он становится равным нулю [13].

2.4 Энтальпийная номограмма для К.....го газоконденсатного месторождения.

Вопрос образования газогидратов был рассмотрен на примере КГКМ, для которого построена энтальпийная номограмма с совмещением равновесной кривой гидратообразования (метан) и линии образования конденсата.

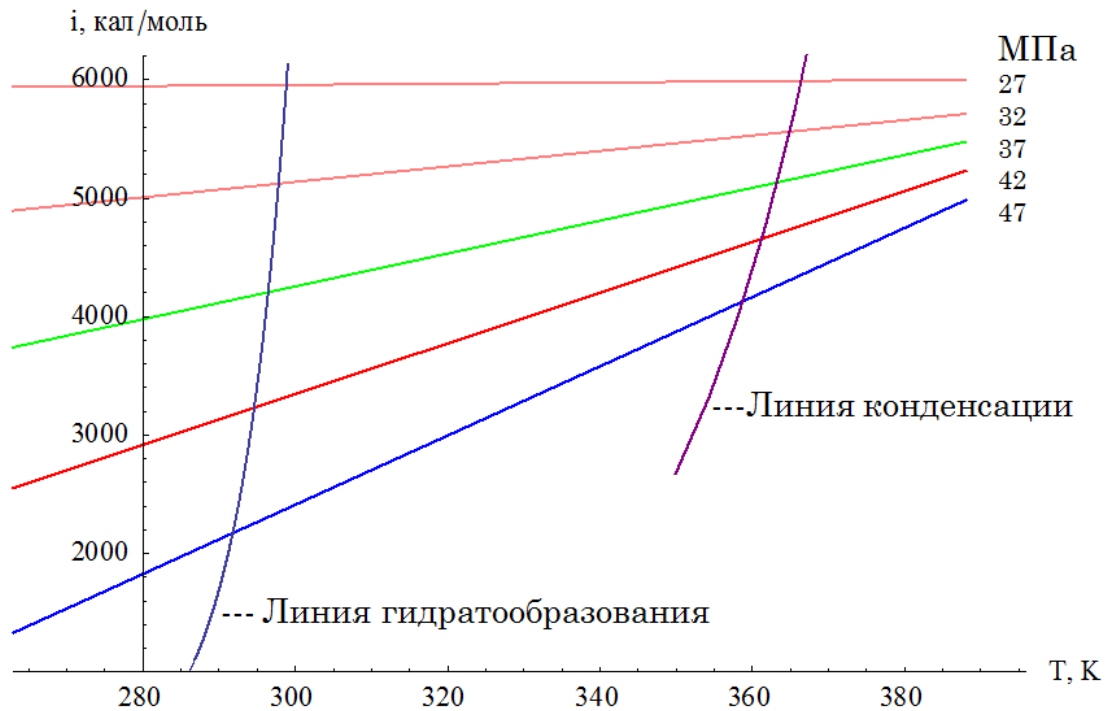


Рисунок 11 - Энтальпийная номограмма КГКМ.

2.5 Расчет среднего расстояния между молекулами компонентов газа Киринского газоконденсатного месторождения при различных условиях.

$$r_{\text{cp}} = \sqrt[3]{\frac{V}{n}}, \quad (3.5.1)$$

$$\text{или } r_{\text{cp}} = \sqrt[3]{\frac{Vm}{Na}}, \quad (3.5.2)$$

$$\text{или } r_{\text{cp}} = \sqrt[3]{\frac{RT}{P Na}}, \quad (3.5.3)$$

где r_{cp} – среднее расстояние между молекулами, м; Na – число Авогадро; Vm – молярный объем, м³;

Нормальные условия: $r_{\text{cp}} = 3.34168 * 10^{-9}$ м

Критические условия: $r_{\text{cp}} = 5.15493 * 10^{-10}$ м

Пластовые условия: $r_{\text{cp}} = 5.64335 * 10^{-10}$ м

2.6 Расчет коэффициентов взаимной диффузии газов.

При молекулярной диффузии, согласно закону Фика, количество диффундирующего через слой вещества пропорционально поверхности слоя F , изменению концентрации по толщине слоя $\Delta_{\text{сл}}$, времени τ и обратно пропорционально толщине слоя δ . Таким образом [8]:

$$M = \frac{D F \Delta_{\text{сл}} \tau}{\delta}, \text{ кг} - \text{уравнение диффузии}, \quad (3.6.1)$$

где D – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом диффузии.

Коэффициент зависит от свойств диффундирующего компонента и среды, в которой происходит диффузия, а также от температуры и давления. Коэффициент диффузии в газах обратно пропорционален давлению и прямо пропорционален абсолютной температуре в степени 3/2 [8].

Для определения коэффициента диффузии газа А в газе В при абсолютной температуре T и абсолютном давлении P использовалась следующая зависимость [8]:

$$D = \frac{0.0043 * 10^{-4} T^{3/2}}{P (v_A^{1/3} + v_B^{1/3})} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}, \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \quad (3.6.1)$$

v_A, v_B - молекулярные объемы газов.

Молекулярные объемы определяются как сумма атомных объемов элементов, входящих в состав соединений [8].

Расчеты коэффициентов диффузии показывают, что сильнее всего в пласте диффундируют метан, азот, этан и углекислый газ. Их коэффициенты диффузии соответственно равны: $4.9 \cdot 10^{-6}$, $3.4 \cdot 10^{-6}$, $2.5 \cdot 10^{-6}$, $2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$

Например, время подъема молекулы метана с глубины 1500 м по цементному камню составляет примерно 1-1.5 года. Ореол диффузии легких компонентов газов в кровлю пласта ориентировочно составляет 300-500 м.

2.7 Расчет потенциальной энергии взаимодействия двух молекул

Потенциальная энергия двух молекул рассчитана по формуле [1]:

$$U = \vartheta k T, \quad (3.7.1)$$

где ϑ - числовой коэффициент близкий к 1. Значения ϑ известны для ряда веществ. Построение кривых взаимодействия двух молекул производили по трем методикам:

$$U = \frac{\alpha}{r^9} - \frac{\beta}{r^7} \quad (3.7.2)$$

$$U = \frac{\alpha}{r^{12}} - \frac{\beta}{r^6} - \text{формула Леннарда - Джонса} \quad (3.7.3)$$

$$U = \frac{\alpha}{r^5} - \frac{\beta}{r^3} \quad (3.7.4)$$

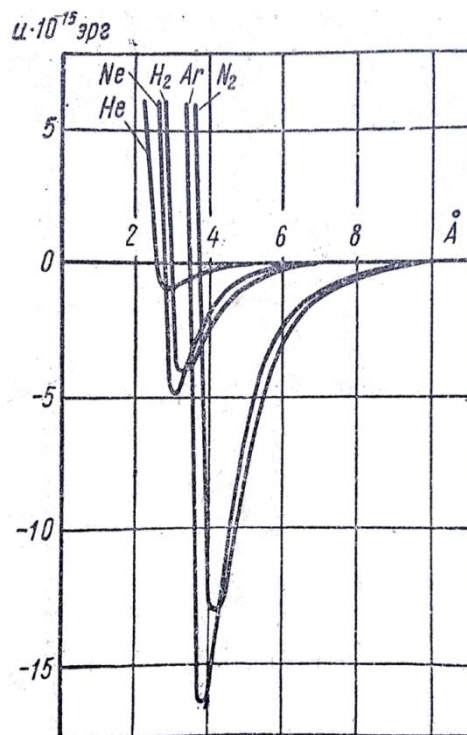


Рисунок 12 - Кривые потенциального взаимодействия двух молекул.

Графики на рис. 13 были построены по формуле (3.7.4).

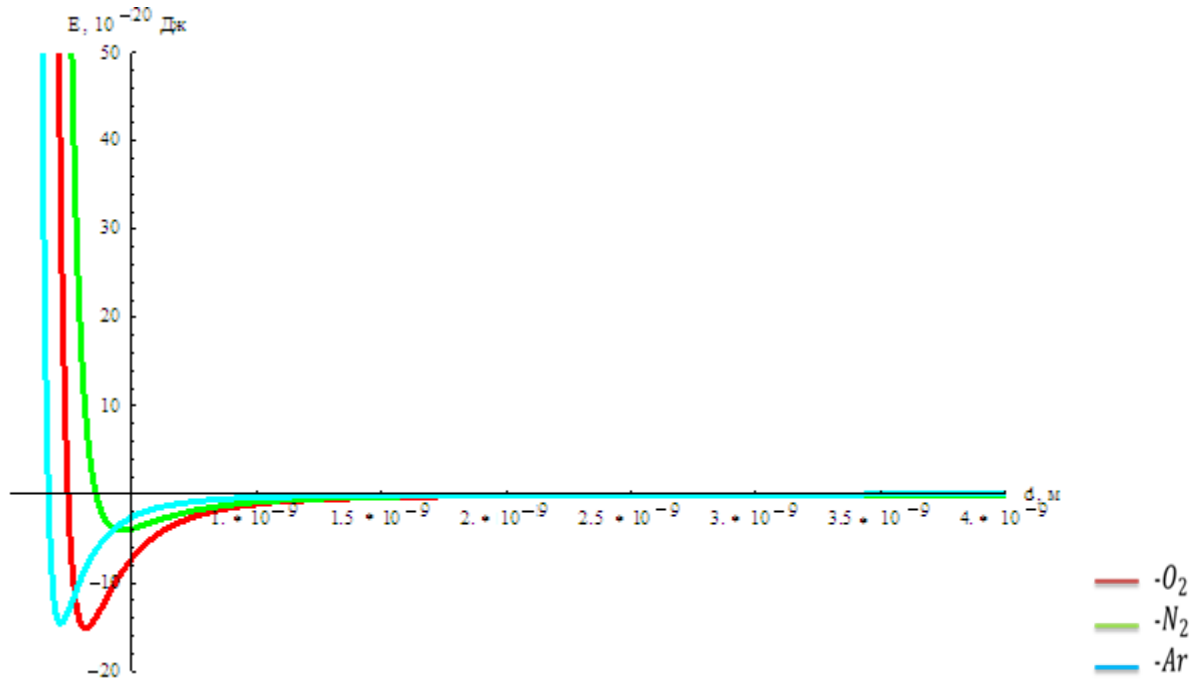


Рисунок 13 - График потенциальной энергии взаимодействия двух молекул.

Из вида кривой потенциальной энергии взаимодействия двух молекул следует, что без большой ошибки левую часть кривой, отвечающую силам отталкивания, можно заменить вертикальной прямой, т.е. считать потенциал отталкивания бесконечно большим. Это означает, что молекулы реального газа с хорошей степенью приближения можно рассматривать как твердые, взаимно притягивающиеся, сферические шарики диаметром d_0 [1].

Также кривая для неона (Ne) была построена с помощью формулы Леннарда-Джонса для сопоставления с (3.7.1):

$$U = \frac{\alpha}{r^{12}} - \frac{\beta}{r^6}$$

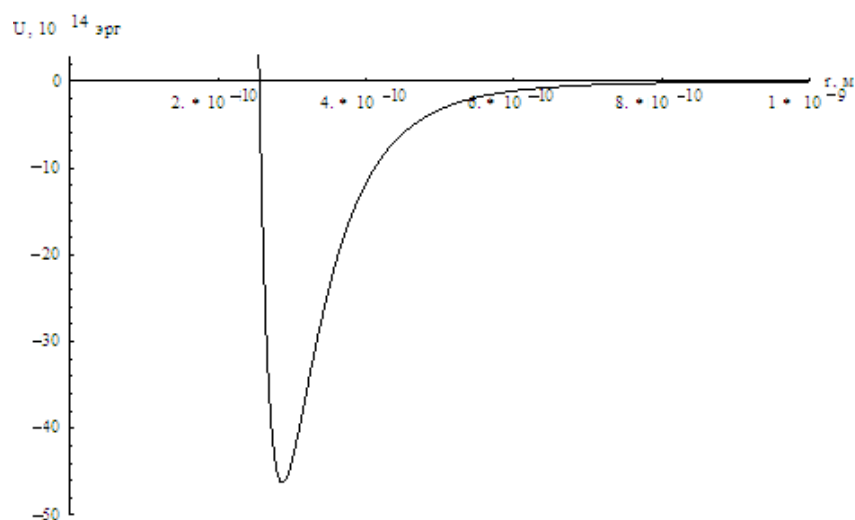


Рисунок 14 - График потенциального взаимодействия двух молекул Ne.

В заключение расчетов и построения фазового портрета необходимо сопоставить с расчетом в среде PVTsim.

Список литературы

1. Вукалович, М.П. Термодинамика: учебное пособие для вузов/Вукалович М. П., Новиков И.И. – М.: Машиностроение, 1972. – 672 с.
2. Гейц, И. В. Охрана труда/Гейц И. В. – М.: Дело и сервис, 2006. – 687 с.
3. Захаров, Е. В. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности шельфа морей России/ Захаров Е. В. – М.: Недра, 2011. – 180 с.
4. Козлов, С.А. Оценка устойчивости геологической среды на морских месторождениях углеводородов в Арктике. Нефтегазовое дело. – 2005. - № 2 - С.15-24.
5. Куклев, Ю.И. Физическая экология: Учеб. Пособие/Куклев Ю.И. – М.: Высшая школа, 2001. – 357с.:ил.
6. Кульпин, Л. Г. Пьезометрия скважин на арктическом шельфе / Кульпин Л. Г.// OilandGasJournal, Russia.-2013.- №5. – с. 50–54.
7. Макогон, Ю.Ф. Газовые гидраты, предупреждение их образования и использование/Макогон Ю.Ф. – М.: Недра, 1985. – 232 с.
8. Плановский, А.Н. Процессы и аппараты химической технологии/Каган С.З, Плановский А.Н., Рамм В.М.: – М.,1968. – 848 с.