

1. Exemplified by using the momentum equation in the applied gas dynamics, in particular, in the theory of the thrust augmenting ejector, the necessity to take into account losses on impact (friction) in the momentum equation of the interacting deformable bodies was mathematically proved.

2. The possibility of creating thrust with no mass ejection is shown on the example of a known mechanical device of an inerzoid using the momentum equation (subject to friction). This also corresponds to the partial solution of the Meshchersky equation, when the mass of expellant and the additional mass are equal (one and the same oscillating mass), and the efficiency coefficient of the processes is different.

3. As a hypothesis, the principle of inerzoid motion is transferred to the atomic level of a solid, where the oscillating nucleus with the electronic cloud under the action of inertial forces and the magnetic field can create an asymmetric system with the unbalanced force.

4. The possible manifestation of the identified propulsive force in nature, space, its implementation in technology, for example in the device implementing oarer biomechanics, is shown.

## References

### Journal Articles:

- [1] Lopota V.A., Glushko V.P., Glushko V.V. On drives without expelling mass in "empty" outer space // Robotics and technical cybernetics, 2018, No. 2; pp. 66-76.
- [2] Sarah Scoles. Здоровое безумие. В мире науки /Sane Insanity. Scientific American, 2019, No. 10; pp. 42-49.
- [3] Bogdanov V.I. Unsteady mass interaction, inerzoids, propulsive devices with no emission of reaction mass, and the Euler law of momentum conservation // Engineer, 2007, No. 7; pp. 24-26.
- [4] Bogdanov V.I. Pulse Increase at Mass Interaction in an Energy Carrier. American Journal of Modern Physics, 2013, Vol. 2, No. 4, pp.195-201.
- [5] Frolov A.V. Nanotechnology-inspired ambient power converters. // Alternating kilowatt, 2012, No. 1.
- [6] Paxson, D. E. and Wilson, J. Unsteady Ejector Performance: An Experimental Investigation Using a Pulse jet Driver, Paper AIAA-2002-3915, 2002.
- [7] Bogdanov V.I., D.S. Khantalin. Features of calculating spherical gas-dynamic reaction thrust resonator augmentor. "Vestnik of P.A. Solovyov RSATU" Rybinsk, 2014, No. 3; pp. 42-47.
- [8] Falichev O. Тяга в будущее // Военно-промышленный курьер / Hankering for future // Military-industrial messenger, June 11-17, 2019, No. 22 (785); p. 4.
- Books and Book Chapters:**
- [9] Abramovich G.N. Applied gas dynamics. Publisher "Nauka", 1969; 824 p.
- [10] Nechaev Yu.N., Fyodorov R.M. Theory of aircraft gas turbine engines. Part 2. M.: "Machinostroyeniye", 1978, – 336 p.
- [11] Kitaygorodsky A.I. Introduction to physics. Publisher "Nauka", 1973; 688 p.
- [12] Bogdanov V.I. Pulsating working process in jet propulsion. Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015.
- [13] History and Science Philosophy. Edited by Professor Yu.V. Kryanev and Professor L.E. Motorina, Study guide. M.: Alpha - M. INFRA-M, 2008.
- [14] Eliseyev Yu.S., Manushin E.A., Mikhaltsev V.E. et al. Theory and design of gas turbine and combined power plants – M.: Publisher of the Bauman MSTU, 2000; 640 p.
- [15] Kolpakova A.V., Vlasenko E.A. Mysteries and riddles of the universe. – M.: OLMA Media Group, 2014; 256 p.
- [16] B.M. Yavorsky, A.A. Detlav. Physics handbook. M.: Nauka, 1990; 634 p.
- Websites:**
- [17] NASA Innovative Advanced Concepts (NIAC) Program: <https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/niac/index.htm>
- [18] EmDrive Engine, <http://spacegid.com>.
- [19] Gyro antigravity, <http://mydocx.ru/Quot>.
- [20] Thorson Engine, <http://trinitas.ru/rus/doc/0231/004a/02311023.htm>.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2020.1.72.620](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.1.72.620)

**Гамидов Натиг Нейман оглы**  
Кандидат технических наук, доцент,  
НИПИ "Нефтегаз", SOCAR,  
Азербайджанской Республики

## АННОТАЦИЯ

Статья посвящена обобщению результатов экспериментальных исследований по изучению влияния различных факторов на фазовое поведение газоконденсатной системы. Данными по углеводородным смесям из глубокозалегающих месторождений Азербайджана, несомненно, может внести существенный вклад и дать дополнительный импульс для уточнения математических методов моделирования фазового поведения, которые могут быть полезными при решении различных вопросов, связанных с разработкой конкретных месторождений нефти и газа, а также при выборе оптимальных режимов добывающих скважин.

**Ключевые слова:** углеводородная система, газоконденсатное месторождение, фазовое поведение, давление конденсации, конденсатосодержание, ретроградное явление.

## Введение

Процессы добычи, транспорта и переработки нефти и газоконденсата, как правило, сопровождаются фазовыми переходами. Интенсивность и особенности этих переходов, а также свойства образующихся фаз зависят от большого числа факторов [1-5, 11, 12]. Имеется большое количество публикаций, посвященных экспериментальному изучению особенностей этого процесса [6-10, 13]. Важно отметить, что большая часть этих экспериментальных исследований выполнялась на бинарных, тройных и п-компонентных искусственных смесях, в то время как значительно меньше таких исследований выполнено для естественных углеводородных систем, особенно в области давлений выше 40,0-50,0 МПа [1, 6, 11]. Вместе с тем, за последние 15-25 лет открыты и введены в промышленную разработку глубокозалегающие газоконденсатные и газоконденсатнонефтяные месторождения, имеющие аномально высокие пластовые давления выше 70,0-80,0 МПа. Знание особенностей свойств углеводородов таких залежей, правильное прогнозирование их фазового поведения очень важно для нефтегазодобывающей отрасли. Кроме того, существующие на сегодняшний день математические методы моделирования фазовых переходов базируются именно на результатах экспериментального изучения этой проблемы [4,

12]. И дальнейшее совершенствование математических методов моделирования, а также создание принципиально новых подходов для экспресс-прогноза состава и свойств фаз зависят от объема и качества накопленных экспериментальных данных в этой области. Поэтому работы в этом направлении продолжаются по сей день, несмотря на дороговизну и трудоемкость самих экспериментов [11, 12, 14, 15].

В этом смысле, дополнение банка экспериментальных данных, имеющихся в мировой литературе, данными по углеводородным смесям из глубокозалегающих месторождений Азербайджана, несомненно, может внести существенный вклад и дать дополнительный импульс для уточнения математических методов моделирования фазового поведения таких систем, особенно в области высоких давлений и температур.

## Экспериментальные исследования и полученные результаты

Эксперименты проводились с двумя типами конденсатов - легкими (скв.111) и тяжелыми (скв.56), отобранными из скважин месторождения Булла-дениз (Азербайджан), ближе к начальному этапу вступления их в эксплуатацию (1982 и 1989гг.). В табл.1, показаны начальные составы газов и некоторые свойства конденсатов из скв. 111 и 56.

Табл.1

### Сведения о составах и свойствах флюидов

Компонентный состав	Скважина 111		Скважина 56	
	содержание, мол.%	свойства конденсата	содержание, мол. %	свойства конденсата
N <sub>2</sub>	0	плотность 745.7 кг/м <sup>3</sup>  молекулярная масса M=152  начальное конденсатосо- держание 300 г/ м <sup>3</sup>	0	плотность 810.6 кг/м <sup>3</sup>  молекулярная масса M=167  начальное конденсатосо- держание 200 г/ м <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub>	0.2		0.21	
C <sub>1</sub>	85.05		89.11	
C <sub>2</sub>	6.40		5.46	
C <sub>3</sub>	1.19		1.50	
iC <sub>4</sub>	0.27		0.23	
nC <sub>4</sub>	0.40		0.34	
iC <sub>5</sub>	0.16		0.13	
nC <sub>5</sub>	0.10		0.10	
C <sub>6</sub>	0.02		0.02	
C <sub>7+</sub>	6.21		2.9	

Для изучения поведения системы скв.111 (табл.1) при различных давлениях и температурах были определены значения давления начала конденсации в интервале температур 10-140°C. Результаты измерений в виде фазовых огибающих на рис.1 послужили основанием для выбора температуры и соответствующего ей давления однофазного состояния системы для проведения последующих этапов планируемого комплекса исследований. Эксперименты показали, что,

несмотря на высокое конденсатосодержание, система достаточно легко испаряется в газовую фазу даже при температуре 40°C. Как видно из рис.1, при температуре 80°C давление однофазного состояния составляет 31,6 МПа. При этой температуре была исследована изотерма конденсации (рис.2) в целях определения давления максимальной конденсации. Как видим, давление максимальной конденсации находится в районе 18,0-19,0 МПа.

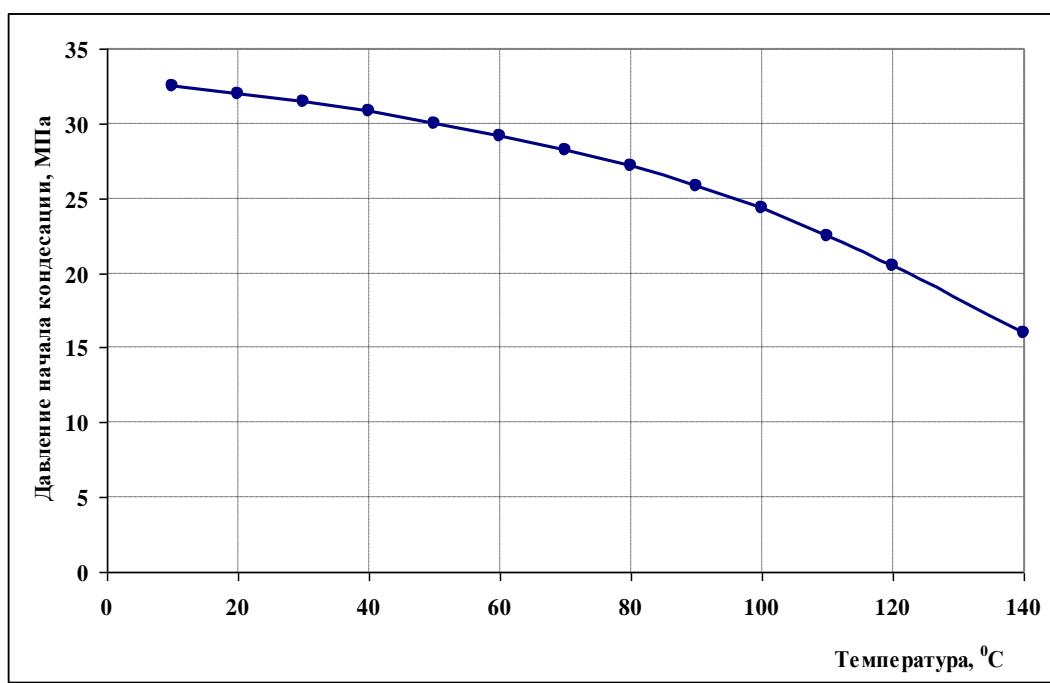


Рис.1. Зависимость давления начала конденсации от температуры по скв.111

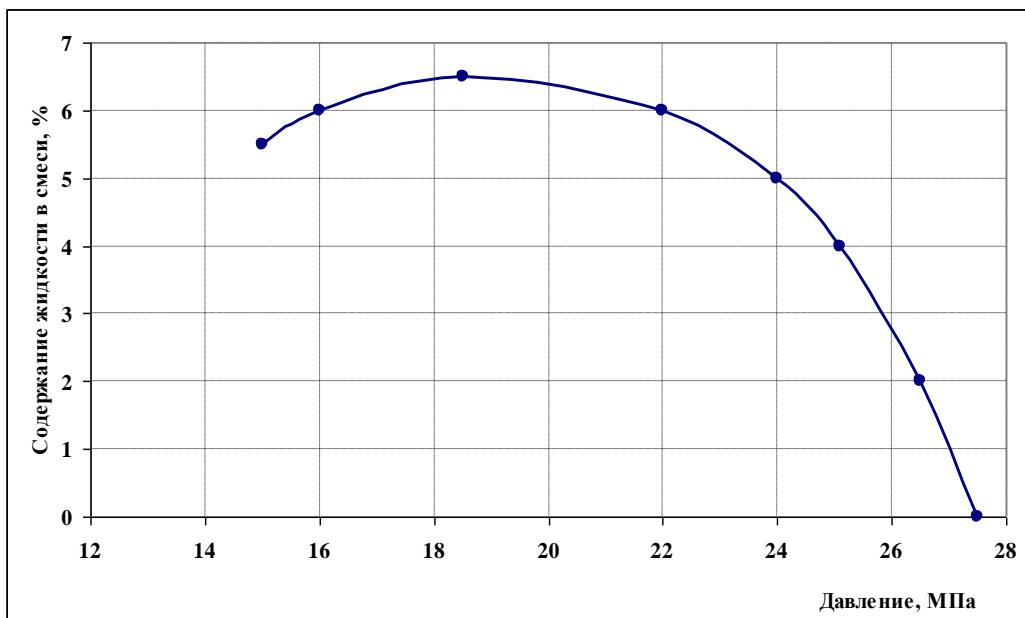


Рис.2. Контактная изотерма при  $T=80^{\circ}\text{C}$  (скв. 111)

Этот диапазон давления и был выбран для изучения фазовых превращений системы газ-жидкость, при котором количество жидкой фазы принимает максимальное значение - 6,5% объема.

Для этих условий нами определены составы газовой и жидкой фаз и константы фазового равновесия ( $K$ ) для каждого компонента (табл.2).

Табл.2

**Составы фаз и константы фазового равновесия при Р=18.6 МПа, Т= 80° С**

Компоненты	Состав газовой фазы, моль %	Состав жидкой фазы, моль %	K
N <sub>2</sub>	—	—	—
CO <sub>2</sub>	0.2	0.16	1.27
C <sub>1</sub>	88.67	46.24	1.92
C <sub>2</sub>	6.34	7.0	0.90
C <sub>3</sub>	1.13	1.95	0.58
i-C <sub>4</sub>	1.24	0.56	0.13
n-C <sub>4</sub>	0.35	0.95	0.37
i-C <sub>5</sub>	0.13	0.49	0.27
n-C <sub>5</sub>	0.08	0.34	0.24
C <sub>6</sub>	0.02	0.08	0.16
C <sub>7+</sub>	2.85	42.23	0.07

Нами также исследовано поведение жидкой фазы при контакте с газами разного состава. Для этого эксперименты включали следующие этапы:

1. Не меняя жидкую фазу, газовая фаза при постоянном давлении была вытеснена из бомбы и заменена на другой газ, в составе которого находилось 17,8 % N<sub>2</sub> (табл.3, смесь1).

Табл.3

**Состав "сухого" газа**

Компоненты	Состав сухого газа, моль. %		
	смесь 1	смесь 2	смесь 3
N <sub>2</sub>	17.800	8.028	0
CO <sub>2</sub>	0.172	0.198	0.21
C <sub>1</sub>	75.058	84.318	91.332
C <sub>2</sub>	5.439	5.722	6.621
C <sub>3</sub>	0.862	0.973	1.048
i-C <sub>4</sub>	0.189	0.213	0.2301
n-C <sub>4</sub>	0.279	0.314	0.3401
i-C <sub>5</sub>	0.114	0.129	0.140
n-C <sub>5</sub>	0.073	0.083	0.09
C <sub>6+</sub>	0.008	0.009	0.0099

При контакте жидкой фазы с газом нового состава, естественно, происходит перераспределение компонентов в фазах, и изменяется общая доля жидкой фазы в системе. После установления равновесия были определены составы газовой и жидкой фазы и константы фазового равновесия покомпонентно (см.табл.4 ).

2. После этого углеводородная система из бомбы pVT полностью была удалена, затем бомба промывалась и загружалась снова смесью, состав которой приведен в табл.1, т.е. эксперимент заново повторялся для тех же условий, система опять доводилась до двухфазного состояния, газовая фаза удалялась при постоянном давлении и заменялась на новую смесь (табл.3, смесь 2). Таким образом,

получено новое распределение компонентов по фазам и новые константы равновесия (табл.4).

3. Пункт 2 повторяется полностью, но при этом для контакта с жидкостью используется смесь 3 из табл.3. Результаты исследований приведены в табл.4. Таким образом, нами рассмотрено, как три разные по составу газовые смеси (из табл.3) при контакте с жидкой фазой (составы из табл.1) влияют на фазовые переходы компонентов.

Фактически, смеси в табл.4 различаются тем, что в один и тот же по составу газ сепарации (смесь 3) добавлялось разное количество азота (N<sub>2</sub>). Таким образом, можно проследить, как процентное содержание азота влияет на константы фазового равновесия фаз (K) при постоянном Р и Т.

Табл.4

**Сведения об изменении констант равновесия в зависимости от содержания N<sub>2</sub> для конденсата скв.111**

Компоненты	Нач. состав	N <sub>2</sub> = 0%			N <sub>2</sub> = 7.6 %			N <sub>2</sub> = 17.8 %		
		состав газ. фазы	состав жидк. фазы	K	состав газов. фазы	состав жидк. фазы	K	состав газов. фазы	состав жидк. фазы	K
N <sub>2</sub>	0	0	0	-	7.6	2.010	3.78	17.03	3.321	5.127
C <sub>02</sub>	0.20	0.207	0.160	1.295	0.193	0.145	1.326	0.175	0.119	1.467
C <sub>1</sub>	85.05	89.225	44.795	1.992	83.055	39.667	2.094	74.943	31.877	2.351
C <sub>2</sub>	6.4	6.628	7.277	0.911	5.804	6.423	0.904	5.560	5.794	0.960
C <sub>3</sub>	1.19	1.094	1.933	0.566	1.017	1.893	0.537	0.912	1.706	0.535
i-C <sub>4</sub>	0.27	0.245	0.592	0.414	0.226	0.591	0.383	0.202	0.542	0.373
n-C <sub>4</sub>	0.40	0.366	1.036	0.353	0.336	1.043	0.322	0.299	0.980	0.303
i-C <sub>5</sub>	0.16	0.152	0.600	0.254	0.139	0.615	0.225	0.122	0.590	0.206
n-C <sub>5</sub>	0.10	0.098	0.431	0.228	0.089	0.444	0.200	0.077	0.431	0.179
C <sub>6</sub>	0.20	0.013	0.085	0.152	0.012	0.089	0.129	0.010	0.089	0.112
C <sub>7+</sub>	6.21	1.971	43.09	0.046	1.531	47.08	0.032	0.670	54.543	0.012

На рис.3, показано изменение K в функции процентного содержания азота. Как видим, увеличение N<sub>2</sub> в системе приводит к снижению величины K для тяжелых компонентов (C<sub>4</sub>-C<sub>7+</sub>), к увеличению C<sub>1</sub>-CO<sub>2</sub> и сложному поведению углеводородов C<sub>2</sub>-C<sub>3</sub>, т.е. незначительному росту значения K для C<sub>2</sub>, а также незначительному снижению K для C<sub>3</sub> с ростом содержания N<sub>2</sub>. Следует также отметить, что сказанное, естественно, сказалось и на объеме жидкой фазы в

бомбе. С ростом азота доля жидкой фазы в системеросла от 3,3 до 4,4 %.

Для второй серии экспериментов были использованы более тяжелые системы, имеющие высокую плотность и молекулярную массу конденсата (табл.1). В этой серии работ нами был несколько видоизменен сам характер экспериментов, т.к. необходимо было работать в области высоких давлений. По двум смесям, составы которых приведены в табл.5, были проведены следующие эксперименты.

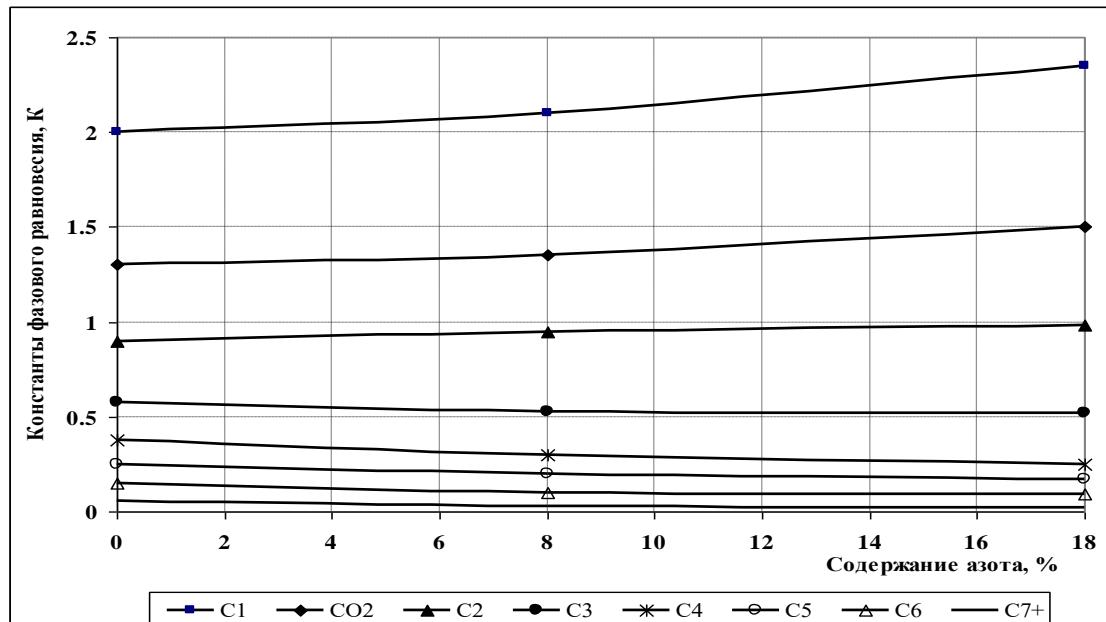


Рис.3. Изменение констант равновесия в зависимости от содержания азота при P=18,6 МПа, T=80 °C (скв.111).

Табл.5

**Исходные составы газоконденсатных смесей**

Компоненты	Смесь 1	Смесь 2
N <sub>2</sub>	0	12.62
CO <sub>2</sub>	0.21	0.60
C <sub>1</sub>	89.11	77.00
C <sub>2</sub>	5.46	5.71
C <sub>3</sub>	1.50	1.08
i-C <sub>4</sub>	0.23	0.16
n-C <sub>4</sub>	0.34	0.21
i-C <sub>5</sub>	0.13	0.08
n-C <sub>5</sub>	0.10	0.06
C <sub>6</sub>	0.02	0.02
C <sub>7+</sub>	2.90	2.90

1. При температуре 80°C были получены изотермы конденсации (см. рис.4 и табл.6). Как и следовало ожидать, наличие азота в системе увеличило величину давления начала конденсации. Далее, для обеих кривых определены составы фаз и константы равновесия при различных давлениях.

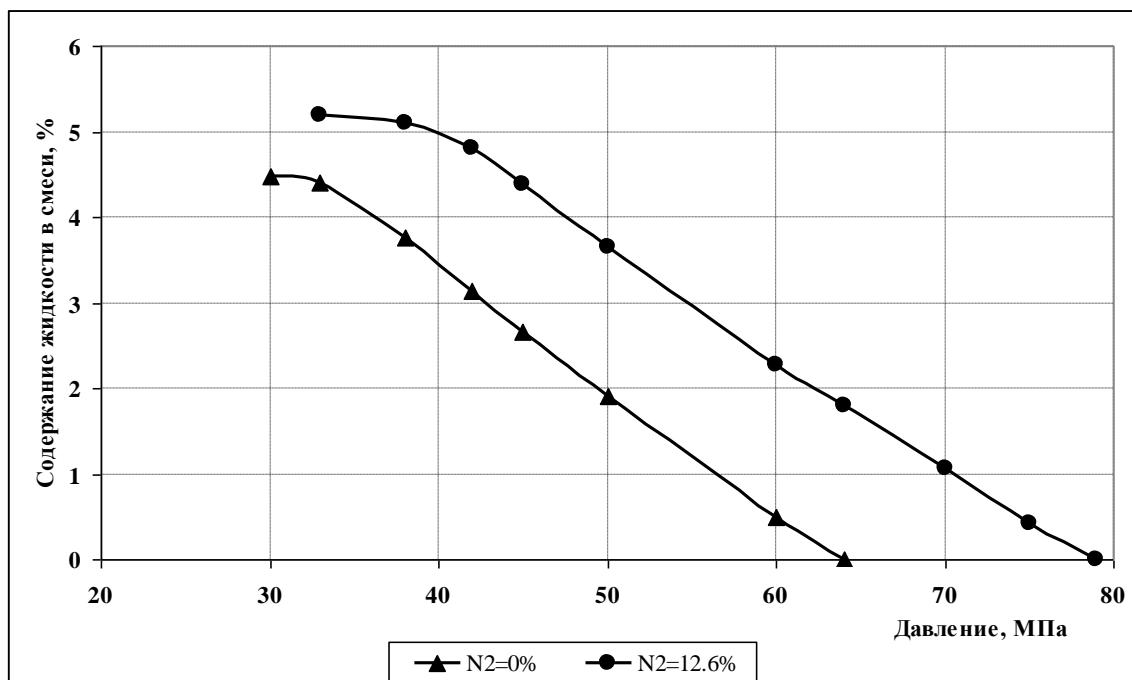
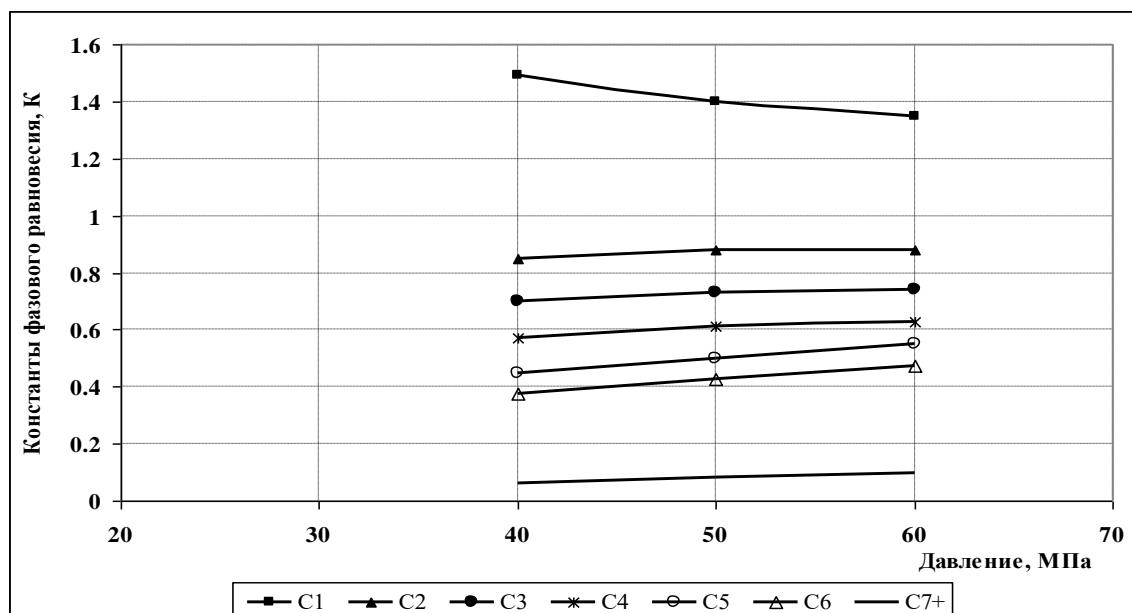
Табл.6

**Сведения о распределении константы равновесия в зависимости от давления для конденсата скв. 56. N<sub>2</sub>= 0 %**

Ком-понен-ты	Нач. состав	40.0 МПа			50.0 МПа			60,0 МПа		
		сост. газов. фазы	сост. жидк. фазы	K	сост. газов. фазы	сост. жидк. фазы	K	сост. газов. фазы	сост. жидк. фазы	K
N <sub>2</sub>	0	0			0			0		
CO <sub>2</sub>	0.21	0.21	0.2	1.05	0.21	0.21	1	0.21	0.21	1
C <sub>1</sub>	89.11	89.77	60.62	1.43	89.39	64.09	1.39	89.17	66.76	1.33
C <sub>2</sub>	5.46	5.44	6.22	0.87	5.45	6.16	0.88	5.46	6.11	0.89
C <sub>3</sub>	1.50	1.43	2.16	0.69	1.49	2.03	0.73	1.50	1.95	0.77
i-C <sub>4</sub>	0.23	0.23	0.38	0.59	0.23	0.35	0.66	0.23	0.33	0.70
n-C <sub>4</sub>	0.34	0.33	0.61	0.54	0.34	0.53	0.61	0.34	0.51	0.66
i-C <sub>5</sub>	0.13	0.13	0.27	0.46	0.13	0.24	0.54	0.13	0.21	0.60
n-C <sub>5</sub>	0.10	0.10	0.22	0.44	0.10	0.19	0.52	0.10	0.17	0.58
C <sub>6</sub>	0.02	0.02	0.05	0.36	0.02	0.04	0.45	0.02	0.04	0.52
C <sub>7+</sub>	2.9	2.29	29.26	0.08	2.64	25.14	0.10	2.34	23.69	0.12

На рис.5, 6 и табл.6, 7 приведены изменения констант фазового равновесия покомпонентно в функции давления для систем с разными процентами содержания азота. Как видно из рисунков, с ростом давления K для компонентов C<sub>2</sub>-C<sub>7+</sub> увеличивается, а для компонента C<sub>1</sub> - наоборот уменьшается. Если сопоставить изменение констант равновесия компонентов при разном

содержании азота в системе, то можно заметить, что для смеси 1 (N<sub>2</sub> = 0%) значения констант равновесия для соответствующих значений довольно выше у компонентов C<sub>2</sub>-C<sub>7+</sub>, чем смеси 2 (N<sub>2</sub> = 12.6%). А для компонента C<sub>1</sub> наблюдается обратная картина. При этом величина K почти не изменяется в зависимости от содержания азота.

Рис.4. Контактная изотерма при  $T = 80^{\circ}\text{C}$  (скв.56)Рис.5. Зависимость констант равновесий от давления при  $N2 = 0\%$  (скв.56)

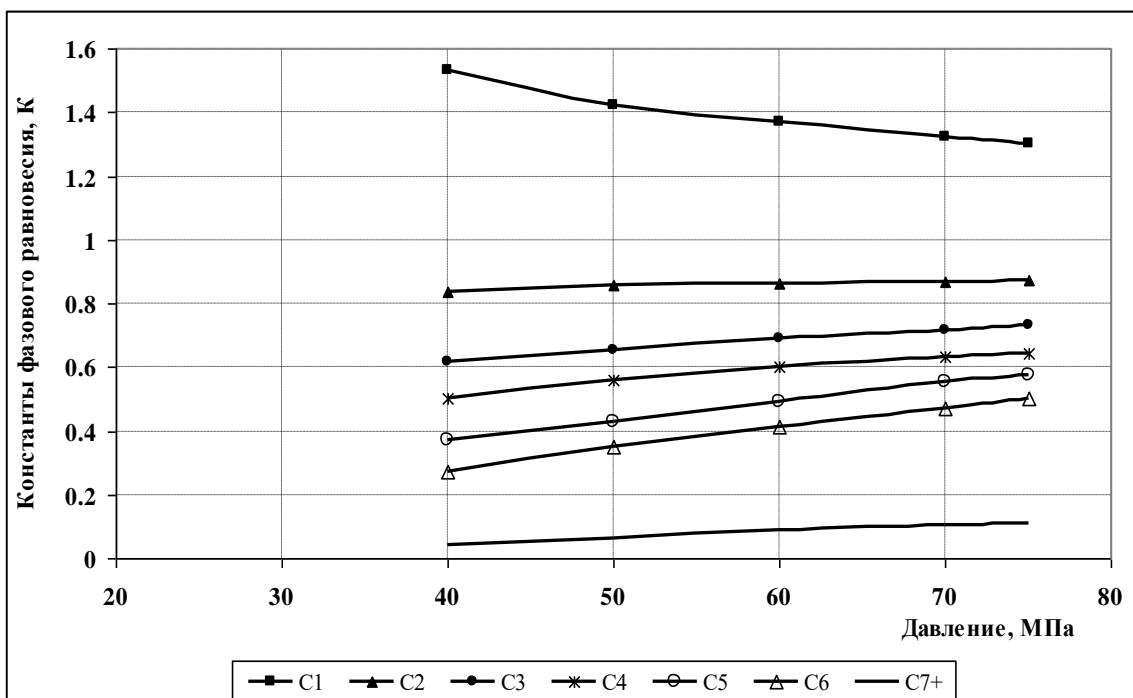
Рис.6. Зависимость констант равновесий от давления при  $N_2=12,6\%$  (скв.56)

Табл.7

**Сведения о распределении констант равновесия в зависимости от давления для конденсата скв. 56.  $N_2=12.6\%$ .**

Компоненты	Начальный состав	40,0 МПа			50,0 МПа			60,0 МПа			74,5 МПа		
		сост. газов. фазы	сост. жидк. фазы	K	сост. газов. фазы	сост. жидк. фазы	K	сост. газов. фазы	сост. жидк. фазы	K	сост. газов. фазы	сост. жидк. фазы	K
$N_2$	12.62	12.84	6.19	2.07	12.74	7.02	1.79	12.68	7.78	1.63	12.63	8.53	1.48
$CO_2$	0.16	0.16	0.15	1.05	0.16	0.157	1.02	0.16	0.16	1.0	0.16	0.16	1.0
$C_1$	77.0	77.89	50.76	1.53	77.51	54.47	1.42	77.27	56.78	1.36	77.05	59.3	1.30
$C_2$	5.71	5.67	6.76	0.84	5.69	6.69	0.85	5.7	6.62	0.86	5.71	6.54	0.87
$C_3$	1.08	1.06	1.71	0.62	1.07	1.60	0.67	1.07	1.53	0.70	0.08	1.45	0.74
$i-C_4$	0.16	0.15	0.30	0.52	0.16	0.27	0.58	0.16	0.25	0.63	0.16	0.23	0.68
$n-C_4$	0.21	1.20	0.44	0.46	0.20	0.39	0.53	0.21	0.36	0.58	0.21	0.33	0.64
$i-C_5$	0.08	0.76	0.20	0.38	0.08	0.17	0.46	0.38	0.15	0.52	0.08	0.14	0.58
$n-C_5$	0.06	0.06	0.16	0.35	0.06	0.13	0.43	0.06	0.12	0.49	0.06	0.11	0.56
$C_6$	0.02	0.018	0.066	0.279	0.19	0.05	0.36	0.02	0.05	0.42	0.02	0.04	0.50
$C_{7+}$	2.9	1.87	33.25	0.056	2.31	28.95	11.08	2.56	26.20	0.10	2.84	23.16	0.128

Табл.8

**Результаты экспериментов фазового поведения продукции скв.56 в зависимости от давления и содержания  $N_2$**

Давление, МПа	$N_2 = 0\%$				$N_2 = 12,6\%$			
	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Мольные доли		Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Мольные доли	
	газа	системы	жидкой фазы	газовой фазы	газа	системы	жидкой фазы	газовой фазы
40,0	260,18	654,2	0,02292	0,97708	261,5	670,8	0,03266	0,96734
50,0	299,45	666,0	0,00116	0,98884	304,7	607,7	0,02221	0,97779
52,7	-	-	-	-	314,38	674,7	0,01939	0,98061
60,0	329,11	672,0	0,00299	0,99711	337,53	680,6	0,01313	0,98687
63,3	-	-	-	-	346,74	682,7	0,01070	0,98930
70,3	-	-	-	-	364,52	686,1	0,00590	0,99410
74,5	-	-	-	-	374,16	687,3	0,00312	0,99688

Были также определены составы систем в целом. В табл.8 показаны доли жидкой, газовой фаз и их плотности. Как видно из табл.8, с ростом давления, как и ожидалось, плотности фаз и

мольные доли газовой фазы в системе возрастают. Кроме того, отмечено, что с ростом содержания азота при прочих равных условиях плотность газовой фазы в системе уменьшается.

### **Заключение**

Таким образом, установлены некоторые закономерности изменения фазового состояния продукции скважин глубокозалегающего газоконденсатного месторождения Азербайджана Булла-дениз в зависимости от давления и содержания в смеси азота. Показано, что величина констант фазового равновесия компонентов системы изменяется в зависимости от физико-химических свойств индивидуальных углеводородов, величины давления, а также свойств системы.

Полученные данные представляют интерес как в создании банка данных по термодинамическим свойствам газоконденсатных систем, так и в разработке новых приемов математического моделирования свойств систем для условий глубокозалегающих месторождений нефти и газа.

### **Список литературы**

- 1.Абасов М.Т., Аббасов З.Я., Фаталиев В.М. Гамидов Н.Н., Мамедова Г.Г. Прикладные вопросы термодинамики при добыче нефти и газа. Баку: Nafta-Press, 2013, 212 с.
- 2.Абасов М.Т., Аббасов З.Я., Фаталиев В.М. Гамидов Н.Н., Мамедова Г.Г. Экспериментальное исследование влияния различных факторов на показатели процесса истощения газоконденсатной залежи // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. ВНИОЭНГ, 2011, № 3, с. 65-68.
3. Абасов М.Т., Юсуфзаде Х.Б., Ахмедов А.А. и др. Геология и разработка морского газоконденсатного месторождения Южная. - Баку, "Элм", 1979. 123 с.
- 4.Аббасов З.Я., Фаталиев В.М. Изучение фазового поведения газоконденсатных систем при давлениях, выше области ретроградной конденсации // Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле, 2017, №1-2, с. 65-71.
- 5.Брусиловский А.И. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа. М.: Грааль, 2002, 575 с.
- 6.Гриценко А.И., Шандрыгин В.Н. и др. Разработка газоконденсатных месторождений с воздействием на пласт. М.: «Недра», 1996, 239 с.
- 7.Катц Д.Л. и др. Руководство по добыче, транспорту и переработке природного газа. М.: Недра 1965, 765 с.
- 8.Мирзаджанзаде А.Х., Аметов И.М., Ковалев А.Г. Физика нефтяного и газового пласта. Москва–Ижевск: ИКИ, 2005, 280 с.
- 9.Мирзаджанзаде А.Х., Кузнецов О.Л., Басниев К.С., Алиев З.С. Основы технологии добычи газа. Москва: ОАО Недра, 2003, 880 с.
- 10.Рамазанова Э.Э., Велиев Ф.Г. Прикладная термодинамика нефтегазоконденсатных месторождений. М.: Недра 1986, 222 с.
- 11.Фаталиев В.М., Гамидов Н.Н., Мамедова Г.Г. и др. Экспериментальное изучение влияния плотности оставшегося в пласте конденсата на показатели процесса его испарения // Известия НАН Азербайджана, Науки о Земле, 2013, №3, с. 67-71.
- 12.Abbasov Z.Y., Fataliyev V.M., Hamidov N.N. The solubility of gas components and its importance in gascondensate reservoir development // Petroleum science and technology, 2017, v. 35, iss. 3, p.p. 249-256.
- 13.Chawla I.S., Barrufet M.A., Rahman S. et. al. Influence of Temperature, Pressure and Molecular Weight of Hydrocarbon Components on the Multi-Phase Equilibria of Hydrocarbon/Water systems / SPE annual Technical Conference exhibition. Texas A&M University. Dallas, U.S.A., 22-25 October, 1995. p.p. 901-916.
- 14.Hassanzadeh Khadar R., Aminshahidy B., Hashemi A. et.al. Application of Gas Injection and Recycling to Enhance Condensate Recovery // Petroleum Science and Technology, 2013, v.31, iss.10, p.p. 1057-1065.
- 15.Heidari Sureshjani M., Gerami S., Emadi M.A. A Simple Approach to Dynamic Material Balance in Gas-Condensate Reservoirs // Oil & Gas Science and Technology - Revue d'IFP Energies nouvelles, 2014, v.69, No.2, p.p. 307-317.