**Казанский Федеральный Университет**

**Кафедра технологии нефти, газа и углеродных материалов Kazan Federal University,**

**Department of oil & gas technology and carbon materials**

**Расчетные методы определения физико-химических свойств газа Уренгойского месторождения**

**Computational methods for determining the physico-chemical properties of gas from the Urengoy field**

Гелеверя Глеб Владимирович, Geleverya Gleb1

Баймагамбетов Александр Игоревич, Baimagambetov Alexander 2

Валиев Динар Зинурович, Valiev Dinar Zinurovich3

Кемалов Руслан Алимович, Kemalov Ruslan Alimovich4

Кемалов Алим Фейзрахманович, Kemalov Alim Feizrahmanovich5

магистрант кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов1

магистрант кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов2

старший преподаватель кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов3

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов4

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии нефти, газа и углеродных материалов 5

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казань, Россия

УДК 553.98. Шифр научной специальности ВАК: 1.4.12. «Нефтехимия»

E-mail: geleverya21@internet.ru

**Аннотация:** точное знание физических свойств природного газа критически важно для эффективного проектирования, эксплуатации и оптимизации технологических процессов в нефтегазовой промышленности. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью получения достоверных данных о физических свойствах газа Уренгойского месторождения, что позволит повысить точность моделирования и прогнозирования работы газотранспортной инфраструктуры и оптимизировать процессы переработки газа. Цель работы – определить основные физические свойства природного газа Уренгойского месторождения на основе исходных данных о плотности при стандартных условиях, молярной доле азота и молярной доле диоксида углерода, используя методику, описанную в ГОСТ 30319.2—2015. В основе исследования лежит теоретический подход, базирующийся на применении корреляционных зависимостей и уравнений состояния, определённых в указанном ГОСТе. Исходные данные о составе газа использовались в качестве входных параметров для расчета его физических свойств, таких как вязкость, теплоёмкость, коэффициент сжимаемости и др., в соответствии с алгоритмом, предусмотренным ГОСТ 30319.2—2015. В результате расчетов получены количественные значения основных физических свойств природного газа Уренгойского месторождения в широком диапазоне температур и давлений. Полученные результаты представлены в виде таблиц и графиков, демонстрирующих зависимость физических свойств от температуры и давления. Выводы исследования подтверждают эффективность применения ГОСТ 30319.2—2015 для расчета физических свойств природного газа. Полученные данные о физических свойствах газа Уренгойского месторождения могут быть использованы для точного моделирования работы газопроводов, оптимизации процессов переработки и повышения эффективности всего газового производства. Работа демонстрирует возможность использования стандартных методик для получения важных инженерных данных.

**Ключевые слова:** Природный газ, физические свойства, Уренгойское месторождение, ГОСТ 30319.2—2015, термодинамические свойства

**Abstract:** accurate knowledge of the physical properties of natural gas is critically important for effective design, operation and optimization of technological processes in the oil and gas industry. The relevance of this work is due to the need to obtain reliable data on the physical properties of the Urengoyskoye field gas, which will improve the accuracy of modeling and forecasting the operation of the gas transportation infrastructure and optimize gas processing processes. The purpose of the article is to determine the basic physical properties of natural gas from the Urengoyskoye field based on initial data on density under standard conditions, molar fraction of nitrogen and molar fraction of carbon dioxide, using the methodology described in GOST 30319.2–2015. The research is based on a theoretical approach based on the application of correlation dependencies and equations of state defined in the specified GOST. The initial data on the composition of the gas were used as input parameters for calculating its physical properties, such as viscosity, heat capacity, compressibility coefficient, etc., in accordance with the algorithm provided for in GOST 30319.2—2015. As a result of calculations, quantitative values of the basic physical properties of the natural gas of the Urengoy field in a wide range of temperatures and pressures were obtained. The obtained results are presented in the form of tables and graphs demonstrating the dependence of physical properties on temperature and pressure. The conclusions of the study confirm the effectiveness of the application of GOST 30319.2—2015 for calculating the physical properties of natural gas. The obtained data on the physical properties of the gas from the Urengoyskoye field can be used to accurately simulate the operation of gas pipelines, optimize processing processes and increase the efficiency of the entire gas production. The work demonstrates the possibility of using standard techniques to obtain important engineering data.

**Keywords**: Natural gas, physical properties, Urengoyskoye field, GOST 30319.2—2015, thermodynamic properties.

**Введение (Introduction)**

Природный газ Уренгойского месторождения, являясь одним из крупнейших источников углеводородного сырья в России, требует тщательного изучения своих физических свойств для эффективного проектирования и эксплуатации газотранспортных систем, а также оптимизации процессов переработки. Литературные источники [1, 2] описывают состав и некоторые физические свойства уренгойского газа, однако, существующие данные часто фрагментарны и получены различными методами, что снижает точность моделирования и прогнозирования. Применение стандартизованных методик, таких как ГОСТ 30319.2—2015, является критически важным для получения сопоставимых и достоверных результатов. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения точности определения физических свойств газа для обеспечения безопасной и эффективной работы газотранспортной инфраструктуры. Проблема заключается в недостатке систематизированных и стандартизированных данных по физическим свойствам уренгойского газа, что ограничивает возможности для точного моделирования и оптимизации технологических процессов.

Цель настоящей работы — определить основные физические свойства природного газа Уренгойского месторождения с использованием методики, описанной в ГОСТ 30319.2—2015, для получения достоверных и сопоставимых результатов. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи: 1) провести анализ доступной литературы по составу газа Уренгойского месторождения; 2) рассчитать физические свойства газа (плотность, вязкость, теплоемкость, коэффициент сжимаемости и др.) в соответствии с ГОСТ 30319.2—2015; 3) проанализировать полученные результаты и оценить их достоверность и практическую значимость.

**Материалы и методы исследования**

Состав пластового газа ачимовских залежей Уренгойского месторождения является метановым. Его концентрация в составе газа, определенном при первичных промысловых исследованиях, изменяется от 72,16 % мольных до 91,11 % мольных. Суммарное содержание гомологов метана (этана, пропана, бутанов) изменяется от 6,84 % до 22,47 %. Содержание тяжелых углеводородов группы С5+ изменяется от 1,84 % до 18,18 %. Концентрация неуглеводородных компонентов (азота и углекислого газа) варьирует от 0,42 % до 2,49 % [4].

В ходе работы расчеты производились по алгоритму описанному в ГОСТ 30319.2—2015.

*Определение коэффициента сжимаемости и плотности.*

Метод расчета коэффициента сжимаемости и плотности основан на применении уравнения состояния, которое приведено в международном стандарте [3], и имеет следующий вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |
| Где: Bm и m,C — коэффициенты уравнения состояния, p – плотность газа. |

Коэффициенты уравнения состояния рассчитывают по следующим формулам [3]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |
|  | (3) |
| где *хэ* — молярная доля эквивалентного углеводорода; *xа* — молярная доля азота; *xу* — молярная доля диоксида углерода. |

Молярную долю эквивалентного углеводорода рассчитывают по следующим формулам [3]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

Коэффициенты рассчитывают по формулам [3]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |
|  | (6) |
|  | (7) |
|  | (8) |
|  | (9) |
|  | (10) |
|  | (11) |
|  | (12) |
|  | (13) |
|  | (14) |
|  | (15) |

Значение теплоты сгорания эквивалентного углеводорода (Hэ) рассчитывают по формуле [3]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (16) |
| Где: Mэ — молярная масса эквивалентного углеводорода |

Молярную массу рассчитываем по формуле [3]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (17) |
| Где: хэ — молярная доля эквивалентного углеводородаxа — молярная доля азота; xу — молярная доля диоксида углерода. |

Коэффициент сжимаемости при стандартных условиях рассчитывают по формуле [3]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (18) |

Рассчитывают коэффициент сжимаемости при измеренных значениях температуры и давления по формуле [3]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (19) |
|  | (20) |
|  | (21) |
|  | (22) |
|  | (23) |
|  | (24) |
|  | (25) |

Плотность природного газа рассчитывают по формуле [3]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (26) |
| Где^ Мm — молярная масса природного газа |
|  | (27) |

*Определение показателя адиабаты.*

Показатель адиабаты природного газа вычисляют по формуле Кобза, которая имеет следующий вид [3]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (28) |

|  |
| --- |
| Где: xа — молярная доля азота |

Скорость звука вычисляют по формуле [3]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (29) |

Определение коэффициента динамической вязкости

|  |  |
| --- | --- |
|  | (30) |
| Где: xа — молярная доля азота; xу — молярная доля диоксида углерода; pп и Tп — приведенные давление и температура, соответственно. |

Приведенные давление и температуру вычисляют по формулам [3]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (31) |
|  | (32) |
| Где: pпк и Tпк — псевдокритические давление в МПа и температура в К. |  |
|  | (33) |
|  | (34) |
|  |  |

# РЕЗУЛЬТАТЫ

Данные для расчета (Уренгойского месторождения):















Коэффициент сжимаемости при стандартных условиях:



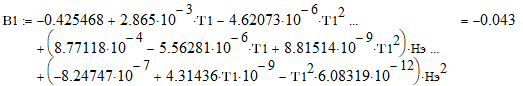
Молярная масса эквивалентного УВ:



Теплота сгорания эквивалентного УВ:



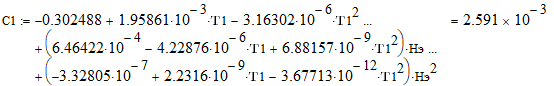
Коэффициенты для расчета:

















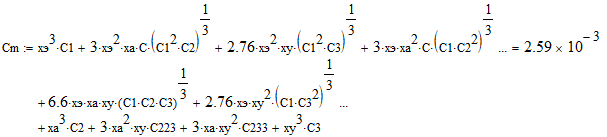






Коэффициенты уравнения состояния:





Коэффициент сжимаемости при измеренных значениях температуры и давления:

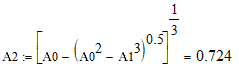












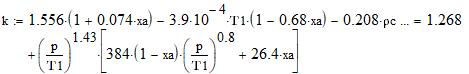


Плотность природного газа:





Показатель адиабаты:



Скорость звука:



Коэффициент динамической вязкости:











**Обсуждение**

Газ с молярной долей эквивалентного углеводорода 0,994 можно охарактеризовать как практически чистый метан или газ с очень низким содержанием примесей. Это свидетельствует о высокой степени чистоты метана в газовой смеси.

Теплота сгорания чистого метана близка к 890 кДж/моль. Значение 1103 кДж/моль выше, чем у чистого метана, что подтверждает наличие небольшого количества более высококалорийных компонентов.

Коэффициент сжимаемости газа при стандартных условиях, равный 0,997, указывает на то, что газ очень близок к идеальному газу. Это означает, что межмолекулярные взаимодействия в газе слабы, и газ ведёт себя практически как идеальный газ при стандартных условиях.

Также в ходе работы были рассчитаны физические свойства для различных значений температуры и давления. Полученные данные могут использоваться для расчета технологических процессов НТС, НТК.

*Таблица 1*

**Физические характеристики газа при различных давлениях и температур**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Т. К | р, МПа | Плотность природного газа ρ, кг/м3 | Коэффициент сжимаемости при измеренных значениях температуры и давления (z) | u, м/с | κ (показатель адиабаты) | μ, мкПа·с |
| 250 | 0,10 | 0,997 | 0,995 | 358,243 | 1,28 | 8,926 |
| 300 | 0,10 | 0,829 | 0,997 | 389,894 | 1,26 | 10,556 |
| 350 | 0,10 | 0,71 | 0,998 | 418,131 | 1,241 | 12,055 |
| 250 | 2,00 | 22,389 | 0,886 | 339,199 | 1,288 | 9,341 |
| 300 | 2,00 | 17,601 | 0,939 | 379,26 | 1,266 | 10,739 |
| 350 | 2,00 | 14,675 | 0,966 | 411,88 | 1,245 | 12,183 |
| 250 | 5,00 | 74,27 | 0,668 | 300,622 | 1,342 | 11,526 |
| 300 | 5,00 | 48,803 | 0,847 | 365,238 | 1,302 | 11,7 |
| 350 | 5,00 | 38,656 | 0,916 | 405,38 | 1,271 | 12,857 |
| 250 | 6,25 | 114,056 | 0,544 | 275,258 | 1,383 | 12,989 |
| 300 | 6,25 | 63,84 | 0,809 | 360,692 | 1,329 | 12,343 |
| 350 | 6,25 | 49,351 | 0,897 | 404,116 | 1,29 | 13,309 |

**Заключение**

В работе определены основные физические свойства (плотность, вязкость, теплоемкость, коэффициент сжимаемости) природного газа Уренгойского месторождения в широком диапазоне температур и давлений, используя методику ГОСТ 30319.2—2015 и исходные данные о молярном составе газа. Результаты, представленные в табличном и графическом виде, обеспечивают удобство использования. Новизна исследования заключается в применении стандартного ГОСТ 30319.2—2015 для расчета свойств уренгойского газа, что повысило достоверность и сопоставимость данных, устранив неопределенность, связанную с разнообразием методик. Теоретическая значимость работы состоит в уточнении физико-химических характеристик уренгойского газа и расширении базы данных по свойствам природного газа, способствуя уточнению термодинамических моделей. Практическое значение полученных результатов заключается в оптимизации технологических процессов газовой промышленности: проектировании и эксплуатации газотранспортных систем, моделировании работы газоперерабатывающих заводов, а также в более точном расчете параметров оборудования и повышении эффективности газодобычи и переработки.

# Библиография

1. Т. 4:Нефти Средней Азии, Казахстана, Сибири и острова Сахалин. Т. 4 /Сост. В. Дриацкая, М. А. Мхчиян, Н. М. Жмыхова [и др.].-1974.-787 с –
2. Подсчет запасов нефти, газа и конденсата ачимовских отложений, залежей неокома (БУ16, БУ17, БУ18), юры (пласты ЮГ2, ЮГ3, ЮГ4) Уренгойской группы месторождений: Отчет о НИР / ОАО «СибНАЦ»; Руководитель Дещеня Н.П. – Тюмень, 2003.
3. ГОСТ 30319.2—2015. Вычисление физических свойств на основе данных о плотности при стандартных условиях и содержании азота и диоксида углерода. УДК 662.76.001.4:006.354
4. Фитаев Д. Г.Совершенствование методов моделирования пластовой газоконденсатной системы ачимовских отложений уренгойского нефтегазоконденсатного месторождени