

Применение сайклинг-процесса на газоконденсатных месторождениях Западной Сибири с высоким газоконденсатным фактором

А. Н. Кабиров^{1✉}, А. А. Вольф¹, Д. А. Рожнев²

¹ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, Российская Федерация

²ООО «Проектное бюро «Технологии эффективной разработки месторождений»,

г. Тюмень, Российская Федерация

✉ kamalov_tax@bk.ru

Аннотация: Проведено комплексное исследование применения сайклинг-процесса для разработки газоконденсатных месторождений Западной Сибири с высоким газоконденсатным фактором (более 200 г/м³). Рассмотрены физико-химические основы метода, заключающиеся в поддержании пластового давления выше давления начала конденсации для предотвращения ретроградных потерь конденсата в пласте. Представлено математическое описание процесса, включающее расчет коэффициента охвата пласта на основе безразмерного объема закачки и коэффициента вариации проницаемости. Методология включает применение композиционного гидродинамического моделирования с использованием уравнений многокомпонентной двухфазной фильтрации и уравнений состояния. Проведен сравнительный технико-экономический анализ различных сценариев разработки, выявивший повышение коэффициента извлечения конденсата с 45 до 85 %. Установлено критическое влияние геологической неоднородности и налоговых условий на экономическую эффективность проекта. Результаты исследований могут быть полезными при проектировании систем разработки новых газоконденсатных месторождений Западной Сибири с высоким газоконденсатным фактором для максимизации коэффициента извлечения конденсата.

Ключевые слова: Западная Сибирь, газоконденсатные месторождения, сайклинг-процесс, коэффициент извлечения конденсата, поддержание пластового давления

Для цитирования: Кабиров А.Н., Вольф А.А., Рожнев Д.А. Применение сайклинг-процесса на газоконденсатных месторождениях Западной Сибири с высоким газоконденсатным фактором. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(5):39-43. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-5-39-43>.

Application of the cycling process at gas condensate fields in Western Siberia with high gas condensate factor

A. N. Kabirov^{1✉}, A. A. Wolf¹, D. A. Rozhnyov²

¹Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Industrial University of Tyumen», Tyumen, Russian Federation

²LLC Project Bureau «Technologies for Effective Field Development», Tyumen, Russian Federation

✉ kamalov_tax@bk.ru

Abstract: The article provides a comprehensive study of the application of the recycling process for the development of gas condensate fields in Western Siberia with a high gas condensate factor (more than 200 g/m³). The article discusses the physical and chemical principles of the method, which involves maintaining the reservoir pressure above the condensation pressure to prevent retrograde loss of condensate in the reservoir. The article presents a mathematical description of the process, including the calculation of the reservoir coverage factor based on the dimensionless injection volume and the permeability variation coefficient. The methodology includes the use of compositional hydrodynamic modeling using multi-component two-phase filtration equations and state equations. A comparative technical and economic analysis of various development scenarios was conducted, revealing an increase in the condensate recovery factor from 45% to 85%. The critical impact of geological heterogeneity and tax conditions on the economic efficiency of the project was established. The research findings can be useful in designing development systems for new gas condensate fields in Western Siberia with a high gas condensate factor to maximize the condensate recovery factor.

Keywords: Western Siberia, gas condensate fields, recycling process, condensate recovery factor, reservoir pressure maintenance

For citation: Kabirov A.N., Wolf A.A., Rozhnyov D.A. Application of the cycling process at gas condensate fields in Western Siberia with high gas condensate factor. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(5):39-43. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-5-39-43>.

Введение

Сайклинг-процесс представляет собой перспективный метод разработки газоконденсатных месторождений, особенно актуальный для залежей Западной Сибири с высоким газоконденсатным фактором (ГКФ), превышающим 200 г/м^3 . Этот метод основан на поддержании пластового давления путем обратной закачки в продуктивный пласт отбензиненного газа после извлечения из него тяжелых углеводородных фракций. Для месторождений Западной Сибири, где конденсат является ценным компонентом, использование сайклинг-процесса позволяет существенно повысить коэффициент извлечения конденсата (до 75–90 % против 40–60 % при традиционной разработке на истощение).

Технология сайклинг-процесса

Физическая сущность сайклинг-процесса заключается в управлении фазовым состоянием пластовой углеводородной системы посредством поддержания пластового давления выше критического уровня, известного как давление начала конденсации. Для газоконденсатной смеси зависимость между давлением, температурой и фазовым состоянием описывается диаграммой фазовых состояний [1]. При разработке на истощение пластовое давление падает и система пересекает линию точек росы, входя в область ретроградной конденсации, где тяжелые углеводороды выпадают в жидкую фазу в пористой среде пласта. Сайклинг-процесс искусственно удерживает давление в пласте выше этого порога, предотвращая необратимые потери ценного конденсата.

Технологическая цепочка представляет собой замкнутый цикл, начинающийся с добычи пластового газа из эксплуатационных скважин. На устье скважины поступает так называемый жирный газ – многокомпонентная смесь, содержащая метан, этан, пропан, бутаны и более тяжелые углеводороды, которые при поверхностных условиях и составляют газовый конденсат. Этот поток, находящийся под высоким давлением, направляется на установку комплексной подготовки газа (УКПГ).

На УКПГ происходит ключевой этап разделения потока. Пластовый газ подвергается низкотемпературной сепарации, где за счет ступенчатого снижения давления и температуры происходит отделение основной массы жидкой фазы – нестабильного газового конденсата. Для интенсификации процесса часто применяются турбодетандеры, обеспечивающие глубокое охлаждение. Последующая очистка газа методами абсорбции или адсорбции, например с использованием гликоля или молекулярных сит, необходима для удаления остаточных паров воды и тяжелых фракций, что предотвращает гидратообразование на дальнейших стадиях. Параллельно полученный нестабильный конденсат стабилизируется на ректификационных колоннах, где из него удаляются легкие углеводороды, чтобы получить товарный продукт, пригодный для транспортировки [2]. В результате установка комплексной подготовки газа выдает два основных продукта: товарный стабильный конденсат, готовый к отправке, и отбензиненный «сухой» газ, основу которого составляет метан.

Далее этот сухой газ направляется на компримирование. Мощные компрессорные станции, оснащенные многоступенчатыми компрессорами, повышают давление газа до уровня, существенно превышающего текущее пластовое давление. Этот этап является одним из наиболее энергоемких во всей технологической цепи. После сжатия и охлаждения газ по системе трубопроводов подается к нагнетательным скважинам, которые расположены в соответствии с выбранной геологической моделью для обеспечения эффективного охвата пласта.

Попадая в пласт, сухой газ выполняет две критически важные функции. Во-первых, он создает дополнительное энергетическое воздействие, компенсируя отбор и поддерживая пластовое давление выше точки начала конденсации [3]. Во-вторых, двигаясь по пласту, он вступает в термодинамическое взаимодействие с оставшимся жирным газом. Происходит процесс вытеснения и массообмена; легкие компоненты закачиваемого газа растворяются в выпавшем конденсате, если он успел образоваться, вызывая его ретроградное испарение и возвращая ценные тяжелые фракции в газовую фазу для последующего извлечения. Таким образом, в установившемся режиме работы система приходит к динамическому балансу, при котором тяжелые фракции систематически извлекаются на поверхности, а легкие компоненты непрерывно циркулируют в замкнутом контуре «пласт – УКПГ – компрессор – пласт», выполняя роль рабочего агента для поддержания пластовой энергии и извлечения целевых продуктов.

Обзор результатов исследований

Исследования А. К. Курбанова и М. Д. Розенберга [4], посвященные фазовым равновесиям в газоконденсатных системах, показали, что для месторождений Западной Сибири с высоким ГКФ ($>200 \text{ г/м}^3$) давление начала конденсации может достигать 28–32 МПа, что существенно сужает «окно» для безаварийной разработки на истощение. Авторами была экспериментально подтверждена ключевая роль ретроградного испарения при закачке сухого газа, которое является обратным процессом ретроградной конденсации и приводит к переходу жидкой фазы обратно в газовую.

Работы В. И. Воропай [5] позволили количественно описать механизм вытеснения жирного газа сухим в пористой среде. Было установлено, что наиболее вероятным механизмом извлечения конденсата при сайклинг-процессе является не простое «выталкивание», а сложный процесс многофазного многокомпонентного вытеснения, сопровождающийся массообменом между фазами. Формирование и перемещение фронта вытеснения происходит за счет перераспределения компонентов между жирным газом, выпавшим конденсатом и закачиваемым сухим газом. В процессах массообмена участвуют конвективный и диффузионный переносы углеводородных компонентов, причем эффективность извлечения тяжелых фракций (C_5^+) напрямую зависит от степени контакта фаз и скорости закачки.

Исследования, проведенные под руководством

В. А. Шпильмана [6], были сфокусированы на практической реализации сайклинг-процесса в неоднородных пластах Западной Сибири. Моделирование показало, что коэффициент вариации проницаемости является критическим параметром, определяющим коэффициент охвата пласта. Было выявлено, что при высокой неоднородности ($V > 0,7$) происходит преждевременный прорыв закачиваемого газа по высокопроницаемым пропласткам, что резко снижает эффективность процесса. Для борьбы с этим явлением был предложен метод селективного воздействия на пласт, включающий применение гелевых систем для изоляции наиболее проницаемых зон.

Монография Г. Р. Гуцериева и Ю. П. Жагрина [7] детально описывает термодинамические основы сайклинг-процесса. Авторами подчеркивается, что закачка сухого газа не только поддерживает давление, но и вызывает изотермическое перераспределение компонентов в пластовой системе. Ключевым является явление смещения давления начала конденсации в сторону более низких значений при разбавлении пластового газа сухим, что расширяет безопасный диапазон давлений для разработки. Физико-химическая сущность процесса заключается в нарушении фазового равновесия и сдвиге точки росы за счет изменения состава системы [8].

Цель исследований: разработка научно-методического подхода для оценки эффективности применения сайклинг-процесса для газоконденсатных месторождений Западной Сибири с высоким газоконденсатным фактором (ГКФ).

Методика исследований

Включает в себя математическое моделирование процесса, анализ влияния геологической неоднородности и экономическое обоснование с учетом действующих налоговых условий.

Методика расчета и математическое моделирование

Математическое описание сайклинг-процесса основывается на комплексном решении системы уравнений, включающей законы сохранения массы, фазовые равновесия и фильтрационные зависимости [9]. Ключевым параметром является коэффициент охвата пласта вытеснением $f_{охв}$, который количественно определяет долю газонасыщенного объема пласта, вовлеченную в процесс вытеснения жирного газа сухим.

Для его расчета используется безразмерный объем закачки Q , определяемый как отношение объема газа, закачанного в пласт к начальным запасам газа.

$$Q = \frac{Q_{пл.зак.}}{Q_{зап.}} \quad (1)$$

где $Q_{пл.зак.}$ – объем газа, закачанный в пласт;

$Q_{зап.}$ – начальные извлекаемые запасы газа [1].

Прорывное значение коэффициента охвата, соответствующее моменту первого появления закачиваемого газа в добывающих скважинах, рассчитывается по эмпирической зависимости от коэффициента вариации проницаемости V [10], который характеризует геологическую неоднородность пласта.

$$f = 0,636 + 0,552V - 0,804V^2. \quad (2)$$

Сам коэффициент вариации является статистической мерой и вычисляется как отношение стандартного отклонения проницаемости σ к ее среднему значению:

$$V = \frac{\sigma}{k_{cp}} \quad (3)$$

где стандартное отклонение рассчитывается по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sum k_i) - k_{cp}^2}{n-1}}. \quad (4)$$

Средняя проницаемость определяется как среднеарифметическая взвешенная по мощности пластов.

Для значений безразмерной закачки, не превышающих прорывное, принимается условие, что коэффициент охвата равен объему закачки, то есть $f = Q$ [11].

После прорыва закачиваемого газа зависимость становится нелинейной и описывается экспоненциальной функцией

$$f = 0,98239 - 0,97303e^{-1,33449Q}. \quad (5)$$

Более фундаментальное моделирование требует применения композиционной гидродинамической модели, которая решает систему уравнений многокомпонентной двухфазной фильтрации [12].

Основу составляет уравнение неразрывности для каждого компонента в газовой и жидкой фазах

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho \theta \cdot \Delta t \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z = -\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \Delta t \cdot \text{grad}(\rho \cdot v). \quad (6)$$

Фазовые проницаемости являются функциями насыщенности, описываемыми моделями Кори – Брода [13]. Система уравнений замыкается условиями фазового равновесия, описываемыми равенством фугитивностей каждого компонента в газовой и жидкой фазах, с использованием уравнения состояния Пенга – Робинсона.

Результаты исследований

Практические аспекты применения сайклинг-процесса в Западной Сибири

Технологические и экономические вызовы внедрения сайклинг-процесса на месторождениях Западной Сибири требуют детального рассмотрения. Высокие капитальные затраты обусловлены необходимостью строительства мощных компрессорных станций, способных обеспечить давление закачки, на 15–20 % превышающее пластовое давление [14].

Для месторождения с запасами 500 млрд м³ газа стоимость компрессорного оборудования может достигать 80–100 млрд рублей, что подтверждается данными таблицы 1.

Из таблицы 1 видно, что CAPEX для сценария с сайклинг-процессом в 2,5 раза превышает аналогичный показатель для традиционной разработки. Эксплуатационные расходы складываются из энергозатрат на компримирование газа (50–60 % OPEX), затрат на химические реагенты (15–20 %) и технического обслуживания (25–30 %).

Снижение энергоемкости процесса достигается за счет применения турбодетандерных установок и оптимизации работы компрессорного парка, что позволяет уменьшить удельные операционные затраты с 2200 до 2000 рублей на тыс. м³.

Таблица 1 / Table 1

**Экономическое сравнение процессов разработки /
Economic comparison of development processes**

Показатель	Разработка на истощение	Сайклинг-процесс (базовый)	Сайклинг-процесс (оптимизированный)
КИК, %	45	70	85
CAPEX, млрд руб.	50	120	140
OPEX, руб./тыс. м ³	800	2 200	2 000
NPV, млрд руб.	80	150	220
Срок окупаемости, лет	4	8	7

Геологическая неоднородность продуктивных пластов, характерная для залежей Западной Сибири, проявляется в коэффициенте вариации проницаемости V , значения которого варьируются от 0,3 до 0,9 [15].

Из таблицы 2 видно, что при увеличении V с 0,3 до 0,9 прогнозируемый коэффициент извлечения конденсата снижается с 78 до 55 %, что обусловлено ухудшением охвата пласта вытеснением.

Таблица 2 / Table 2

**Зависимость КИК от анизотропии /
Dependence of the condensate extraction coefficient on anisotropy**

Коэффициент вариации, V	Коэффициент охвата пласта, $f_{охв}$	КИК, %
0,3	0,48	78
0,6	0,41	65
0,9	0,35	55

Для компенсации этого эффекта применяются технологии селективного воздействия, включая использование гелевых систем и механизмов управления направленностью закачки.

Критическим фактором эффективности является временной аспект реализации проекта. Запуск сайклинг-процесса на стадии, когда пластовое давление уже снизилось на 25–30 % от начального, приводит к безвозвратной потере до 40 % конденсата из-за ретроградных явлений. Оптимальным считается начало закачки при достижении депрессии не более 10–15 % от первоначального давления.

Налоговые условия оказывают решающее влияние на экономику проектов. Действующая система налогообложения, при которой НДС взимается с полного объема добытого газа, включая закачиваемую часть, создает дополнительную фискальную нагрузку в размере 15–20 % от операционных затрат.

Сравнительный анализ, приведенный в таблице 3, наглядно показывает, что даже частичное освобождение от НДС закачиваемого газа повышает NPV проекта на 25–30 %, а полная отмена данного налога увеличивает внутреннюю норму доходности с 12 до 22 %.

Таблица 3 / Table 3

**Экономическая чувствительность к налоговым условиям /
Economic sensitivity to tax conditions**

Налоговый режим	NPV, млрд руб.	IRR, %
Действующий	150	12
Частичное освобождение	190	16
Полное освобождение	250	22

Закключение

1. Сайклинг-процесс представляет собой эффективную технологию для разработки газоконденсатных месторождений Западной Сибири с высоким ГКФ. При правильном проектировании и реализации сайклинг-процесс позволяет значительно увеличить коэффициент извлечения конденсата и реализовать принципы рационального природопользования.

2. Перспективы развития технологии в регионе связаны с такими мероприятиями, как:

- разработка усовершенствованных методик расчета с учетом специфики месторождений;
- создание благоприятной налоговой среды для стимулирования инвестиций в сайклинг-процесс;
- развитие отечественного оборудования для компримирования и закачки газа.

3. С учетом истощения традиционных месторождений и растущей потребности в углеводородном сырье доказано, что внедрение сайклинг-процесса на месторождениях Западной Сибири является не только экономически целесообразным, но и стратегически важным для устойчивого развития газовой отрасли России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Румма В.В., Синцов И.А. Преимущества и недостатки технологии сайклинг-процесса. *Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса: материалы Международной научно-практической конференции обучающихся, аспирантов и ученых, Нижневартоск, 20 апреля 2017 года*. Нижневартоск, 2017; 1: 103-105.
Rumma V.V., Sintsov I.A. Advantages and disadvantages of the cycling process technology. *Experience, current problems and prospects for the development of the oil and gas complex: Proceedings of the International scientific and practical conference of students, graduate students and scientists, Nizhnevartovsk, April 20, 2017*. Nizhnevartovsk, 2017; 1: 103-105. (In Russ.).
2. Чебан С.Е., Мулявин С.В. Увеличение коэффициента извлечения конденсата с помощью сайклинг-процесса. *Академический журнал Западной Сибири*. 2015; 11 (4(59)): 35-37.
Cheban S.E., Mulyavin S.F. Increasing the condensate recovery factor using the cycling process. *Academic Journal of Western Siberia*. 2015; 11 (4 (59)): 35-37. (In Russ.).
3. Урванцев Р.В., Чебан С.Е. Анализ и перспективы использования сайклинг-процесса на объекте Ос Верхнечонского месторождения. *Научный форум. Сибирь*. 2015; 1: 75-76.
Urvantsev R.V., Cheban S.E. Analysis and Prospects of Using the Cycling Process at the Os Facility of the Verkhnechonskoye Field. *Scientific Forum. Siberia*. 2015; 1: 75-76. (In Russ.).
4. Розенберг М.Д., Кундин С.А., Курбанов А.К. Фильтрация газированной жидкости и других многокомпонентных смесей в нефтяных пластах. М.: Недра, 1969.
Rosenberg M.D., Kundin S.A., Kurbanov A.K. Filtration of Gas-Saturated Liquid and Other Multicomponent Mixtures in Oil Reservoirs. Moscow: Nedra, 1969. (In Russ.).

5. Воропай Н.И., Руденко Ю.Н., Розанов М.Н. Надежность систем энергетики и их оборудования: Справочник: В 4 т. М.: Недра, 2000. Voropay N.I., Rudenko Yu.N., Rozanov M.N. Reliability of Power Systems and Their Equipment: Handbook: In 4 volumes. Moscow: Nedra, 2000. (In Russ.).
6. Шпильман В.А. Сайклинг-процесс при разработке газоконденсатных месторождений. М.: Недра, 1990. - 215 с. ISBN 5-247-01304-9. Shpilman V.A. Cycling Process in Gas Condensate Field Development. Moscow: Nedra, 1990. - 215 p. ISBN 5-247-01304-9. (In Russ.).
7. Гуревич Г.Р., Тышляр И.С., Гаспарян В.Р., Зверикова Г.Я. Сайклинг-процесс и промысловая обработка газа на конденсатонефтяных месторождениях. М.: Недра, 1990. Gurevich G.R., Tyshlyar I.S., Gasparyan V.R., Zverikova G.Ya. Cycling Process and Field Processing of Gas at Condensate-Oil Fields. Moscow: Nedra, 1990. (In Russ.).
8. Закиров С.Н., Индрупский И.М., Рощина И.В. и др. Новая технология вертикально-латерального сайклинг-процесса с использованием горизонтальных скважин. *Георесурсы, геознергетика, геополитика*. 2010; 1 (1): 12. Zakirov S.N., Indrupskiy I.M., Roshchina I.V., et al. New technology of vertical-lateral cycling process using horizontal wells. *Georesources, geoennergetics, geopolitics*. 2010; 1 (1): 12. (In Russ.).
9. Краснова Е.И., Самуйлова Л.В., Краснов И.И. и др. Оценка причин, осложняющих разработку Комсомольского газоконденсатного месторождения. *Академический журнал Западной Сибири*. 2013; 9 (3 (46)): 110-111. Krasnova E.I., Samoilyova L.V., Krasnov I.I., et al. Assessment of factors complicating the development of the Komsomolskoye gas condensate field. *Academic Journal of Western Siberia*. 2013; 9 (3 (46)): 110-111. (In Russ.).
10. Ваганов Е.В., Краснова Е.И., Краснов И.И. и др. Изучение зависимости конденсатоотдачи от содержания конденсата в пластовом газе. *Академический журнал Западной Сибири*. 2014; 10 (1 (50)): 118. Vaganov E.V., Krasnova E.I., Krasnov I.I., et al. Study of the dependence of condensate recovery on the condensate content in formation gas. *Academic Journal of Western Siberia*. 2014; 10 (1 (50)): 118. (In Russ.).
11. Хлус А.А., Краснов И.И., Зотова О.П. и др. Прогноз фазовых процессов углеводородных систем при разработке нефтегазоконденсатных месторождений. *Академический журнал Западной Сибири*. 2014; 10 (6 (55)): 1-22. Khlus A.A., Krasnov I.I., Zotova O.P., et al. Forecasting phase processes of hydrocarbon systems during the development of oil and gas condensate fields. *Academic Journal of Western Siberia*. 2014; 10 (6 (55)): 21-22. (In Russ.).
12. Грачев С.И., Краснова Е.И., Ваганов Е.В., и др. Интенсификация и регулирование процесса разработки горизонта БС10-2. *Академический журнал Западной Сибири*. 2015; 11 (3 (58)): 95-97. Grachev S.I., Krasnova E.I., Vaganov E.V., et al. Intensification and regulation of the development process of the BS10-2 horizon. *Academic Journal of Western Siberia*. 2015; 11 (3 (58)): 95-97. (In Russ.).
13. Fevang Ø., Whitson C.H. Modeling Gas-Condensate Well Deliverability. *SPE Reservoir Engineering*. 1996; 11 (04): 221-230.
14. Парфенова Н.М. и др. Характеристика и направления рационального использования газоконденсатов Ачимовских отложений Уренгойского НГКМ. *Территория Нефтегаз*. 2014; 6: 70-76. Parfenova N.M. et al. Characteristics and directions of rational use of gas condensates of the Achimov deposits of the Urengoy oil and gas condensate field. *Territory of Oil and Gas*. 2014; 6: 70-76. (In Russ.).
15. Шарипов А.Ю., Ильин А.С. Технология повышения газоотдачи пласта. *Проблемы геологии и освоения недр: труды XIX Международного симпозиума*. Томск, 2015; 2: 140-141. Sharipov A.Yu., Ilyin A.S. Technology of enhanced gas recovery. *Problems of Geology and Subsoil Development: Proceedings of the XIX International Symposium*. Tomsk, 2015; 2: 140-141. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексей Наильевич Кабиров –

аспирант Тюменского индустриального университета, 625000, г. Тюмень, Российская Федерация; e-mail: aleksey.cabirov@yandex.ru

Альберт Альбертович Вольф –

канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Тюменского индустриального университета, 625000, г. Тюмень, Российская Федерация; e-mail: albert_volf@mail.ru

Дмитрий Андреевич Рожнев –

заведующий отделом нефтепромысловой геологии и разработки ООО «ПБ «ТЭРМ», 625000, г. Тюмень, Российская Федерация; e-mail: rojnev.dima2013@yandex.ru

Критерии авторства:

авторы внесли равный вклад в проведение исследования и подготовку статьи.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 01.10.2025

Поступила после рецензирования: 24.10.2025

Принята к публикации: 31.10.2025

ABOUT THE AUTHORS

Alexey N. Kabirov –

postgraduate student of Tyumen Industrial University, 625000, Tyumen, Russian Federation; e-mail: aleksey.cabirov@yandex.ru

Albert A. Wolf –

Cand. Sci. (Phys. & Math.), associate Professor, Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields, Tyumen Industrial University, 625000, Tyumen, Russian Federation; e-mail: albert_volf@mail.ru

Dmitry A. Rozhnyov –

head of the Department of Oilfield Geology and Development LLC «PB «TERM», 625000, Tyumen, Russian Federation; e-mail: rojnev.dima2013@yandex.ru

Contribution:

The authors contributed equally to the research and preparation of the manuscript.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 01.10.2025

Revised: 24.10.2025

Accepted: 31.10.2025