

Нефтегазовое дело. 2024. Т. 22, № 4. С. 96-103. ISSN 2073-0128 (print)

Petroleum Engineering. 2024. Vol. 22. No. 4. P. 96-103. ISSN 2073-0128 (print)

Научная статья

УДК 622.279

DOI: 10.17122/ngdelo-2024-4-96-103

ОПЫТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ТУРОНСКИХ И СЕНОМАНСКИХ ЗАЛЕЖЕЙ: Часть 2

Александр Евгеньевич Кишалов¹, Вадим Дмитриевич Липатов¹,
Владимир Иванович Савичев¹, Константин Владимирович Литвиненко¹,
Радик Аслямович Ягудин², Рита Навиевна Хайрисламова¹

¹ООО «РН-БашНИПинефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Уфа, Россия

²ООО «Харампурнефтегаз», Тюмень, Россия

Автор, ответственный за переписку

Александр Евгеньевич Кишалов, ae_kishalov@bnipi.rosneft.ru

Аннотация. Данная работа является второй частью исследования, посвященного изучению особенностей образования гидратов для условий туронских и сеноманских залежей. Запуск новых газовых проектов по объектам добычи «Турон», «Сеноман» Западной Сибири представил хорошую возможность для критического анализа известных методик защиты объектов добычи, сбора и транспорта газового промысла от образования твердых газовых гидратов. В работе представлен опыт реализации программы лабораторных исследований условий образования газовых гидратов с последующей их обработкой и углубленным анализом. Программой исследований была охвачена область термобарических параметров, характерных для условий эксплуатации турон-сеноманских залежей с локализацией гидратоопасных участков в условиях технологических режимов на полное развитие. Представлено описание проведенных лабораторных исследований, в которых были рассмотрены, в частности: два состава газа объектов «Сеноман» и «Турон», различные варианты по минерализации и ионному составу, соответствующие пластовой и конденсационной воде, а также определены условия гидратообразования при изменении дозировок базового ингибитора на основе метанола. Даны детали проведения эксперимента на основе метода качающихся ячеек и последующего анализа результатов проведенных опытов по определению термобарических условий образования и разложения гидратов. Указаны основные особенности проведения эксперимента, даны оценки скорости изменения влияющих параметров исследования на его качество. В процессе реализации экспериментальной программы подбирались оптимальные значения данных параметров, что позволило уменьшить разброс результатов опыта по определению термобарических условий образования гидрата. Экспериментально установлено, что температура разложения гидрата больше температуры его образования у всех исследованных составов газа и воды. На основе обработки обширной матрицы экспериментальных исследований уточнены расчетные зависимости термобарических условий гидратообразования, что сделало возможным повысить эффективность прогнозирования и точность расчета оптимальных дозировок ингибитора по Харампурскому газовому промыслу. В данной части статьи приведены результаты лабораторных исследований процесса образования гидратов и их анализ.

Ключевые слова

газовые гидраты; осложнение добычи; оптимизация; ингибитор гидратообразования; метанол; Турон; Сеноман; природный газ

Для цитирования

Кишалов А.Е., Липатов В.Д., Савичев В.И., Литвиненко К.В., Ягудин Р.В., Хайрисламова Р.Н. Опыт экспериментального исследования особенностей гидратообразования для условий туронских и сеноманских залежей: часть 2 // Нефтегазовое дело. 2024. Т. 22, № 4. С. 96-103. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2024-4-96-103>.

Original article

EXPERIMENTAL STUDY OF HYDRATE FORMATION PECULIARITIES FOR CONDITIONS OF THE TURNO AND CENOMANIAN DEPOSITS: Part II

Aleksandr E. Kishalov¹, Vadim D. Lipatov¹, Vladimir I. Savichev¹,
Konstantin V. Litvinenko¹, Radik A. Yagudin², Rita N. Khayrislamova¹

¹RN-BashNIPIneft LLC (Company of Rosneft Group), Ufa, Russia

²Kharampurneftgaz LLC, Tyumen, Russia

Corresponding author

Aleksandr E. Kishalov, ae_kishalov@bnipi.rosneft.ru

Abstract. This paper is the second part of the research devoted to the study of hydrate formation features for the conditions of Turonian and Cenomanian deposits. The launch of new gas projects at the Turon and Senoman production facilities in Western Siberia provided a good opportunity to critically analyze the known methods of protecting production, gathering and transportation facilities of the gas field from the formation of solid gas hydrates. The paper presents the experience of implementing a program of laboratory studies of conditions of gas hydrate formation with their subsequent processing and in-depth analysis. The research program covered the area of thermobaric parameters typical for the conditions of Turon-Senoman deposits exploitation with localization of hydrate-hazardous areas in the conditions of Technological Regimes for full development. The description of laboratory studies is given, in which two gas compositions of Senoman and Turon objects, different variants of mineralization and ionic composition corresponding to formation and condensation water, as well as hydrate formation conditions under changing dosages of basic inhibitor on the basis of methanol were considered. The details of the experiment based on the method of swinging cells and the subsequent analysis of the results of the completed experiments to determine the thermobaric conditions of formation and decomposition of hydrates are given. The main features of the experiment are specified, estimates of the rate of change of the influencing parameters of the experiment on its quality are given. In the process of implementation of the experimental program, the optimal values of these parameters were selected, which allowed us to significantly reduce the variation of experimental results to determine the thermobaric conditions of hydrate formation. It is experimentally established that the temperature of hydrate decomposition is higher than the temperature of its formation at all investigated gas compositions and water mineralization. Based on the processing of an extensive matrix of experimental studies, the calculation dependences of thermobaric conditions of hydrate formation were specified, which allowed to significantly improve the efficiency of prediction and accuracy of calculation of optimal dosages of inhibitor for the Kharampurskoye gas field. In this part of the article the results of laboratory studies of the hydrate formation process and their analysis are presented.

Keywords

gas hydrates; production complication; optimization; hydrate formation inhibitor; methanol; Turon; Senoman; natural gas

For citation

Kishalov A.E., Lipatov V.D., Savichev V.I., Litvinenko K.V., Yagudin R.V., Khayrislamova R.N. Opyt eksperimental'nogo issledovaniya osobennostey gidratoobrazovaniya dlya uslovij turonskikh i senomanskikh zalezhej: chast' 2// [Experimental study of hydrate formation peculiarities for conditions of the turno and cenomanian deposits: part II] // *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2024, Vol. 22, No. 4. pp. 96-103. [in Russian]. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2024-4-96-103>.

Введение

Данная работа является второй частью исследования, посвященного изучению особенностей образования гидратов для условий туронских и сеноманских залежей. В первой части статьи приведены характерные термобарические условия добычи и сбора природного газа с турон-сеноманских залежей, описан компонентный состав исследуемого газа и воды, описана методика проведения лабораторных испытаний. Установлено, что часть скважинного фонда и элементы газосборной сети по термобарическим условиям находятся в области риска образования гидратов. Во второй части статьи приведены результаты лабораторных исследований процесса образования гидратов и их анализ.

Газовые гидраты (клатраты) представляют собой осложняющий фактор, появление которого в процессе добычи может полностью парализовать работу кустовой площадки и в худшем случае – работу газового промысла в целом. Поэтому существует достаточно много современных работ, посвящённых исследованию термобарических условий образования гидратов [1–11].

Как уже было отмечено в первой части, процессы зарождения и роста газовых гидратов имеют ряд особенностей, которые с трудом поддаются последовательному теоретическому описанию, включая различия в термобарических условиях кристаллизации и разложения, вариацию температуры начала кристаллизации, а одной и той же смеси, формирование гидратов различных структур, «эффект памяти» и др. [6]. Так известно, что присутствие твердых примесей [12] и механическое перемешивание стимулируют образование и скорость роста зародышей, что приводит к повышению равновесной температуры образования гидратов.

Одним из наиболее распространённых методов борьбы с отложениями газовых гидратов является применение специальных химических реагентов — ингибиторов. Типичный газовый промысел потребляет тысячи тонн подобных реагентов в год. Поэтому задачи оптимизации технологических процессов с поиском путей снижения дозировок ингибитора должны решаться уже на ранних стадиях существования проекта разработки.

Далее представлены некоторые результаты исследования условий гидратообразования в переменном технологическом режиме

на примере Харампурского газового промысла.

Лабораторные исследования процессов гидратообразования

Компонентные составы воды и газа, отобранных для лабораторных исследований, описаны в первой части данной статьи.

Типовой компонентный состав газов туронских и сеноманских залежей представлен подавляющей долей метана, который составляет примерно 97–98 %, с незначительными долями C_2-C_5 , N_2 и CO_2 . Относительная плотность газа по воздуху составляет 0,564.

Состав использованной для исследования воды соответствовал пластовой и конденсационной воде с общей минерализацией 0,11, 1,30, 2,00 и 14,20 г/л.

Методика проведения лабораторных испытаний и применяемое оборудование описаны в первой части данной статьи.

Результаты лабораторных исследований

Выбор скорости снижения/увеличения температуры в испытательных ячейках

На данном этапе производилась оценка влияния скорости снижения температуры в испытательных ячейках на погрешность результатов экспериментов (таблица 1).

Выполнена серия экспериментов со скоростями снижения температуры 1 и 2 °С/час. Эксперименты выполнены на основе составов газа и воды туронской залежи. Состав воды выбран с общей минерализацией 2,0 г/л. Температура в процессе экспериментов снижалась линейно с 10 до 4 °С, начальное давление в ячейке составляло 5,7 МПа.

По результатам экспериментов установлено, что повышенная скорость снижения температуры приводит к увеличению разброса результатов экспериментов. Так при 2 °С/час разброс составил 1,03 °С, а при скорости 1 °С/час — 0,15 °С. Все последующие эксперименты выполнялись со скоростью снижения температуры в испытательных ячейках 1 °С/час.

Оценка влияния минерализации и типа воды на температуру гидратообразования

На данном этапе производилась оценка влияния минерализации воды и ее состава на температуру и давление гидратообразования (таблица 2).

Таблица 1. Выбор скорости снижения температуры

Table 1. Selection of temperature decreasing rate

№ эксп.	$T_{\text{шаг изм.}}, ^\circ\text{C/час}$	$t_{\text{го}}, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{го}}, \text{МПа}$	$t_{\text{го}}(\text{сред}) / \text{разброс}, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{го}}(\text{сред}) / \text{разброс}, \text{МПа}$
1	2	5,37	5,25	5,92 / 1,03	5,28 / 0,06
2		6,06	5,27		
3		6,06	5,27		
4		6,40	5,29		
5		5,70	5,30		
6	1	6,28	5,27	6,3 / 0,15	5,27 / 0,06
7		6,33	5,27		
8		6,35	5,24		
9		6,20	5,29		
10		6,34	5,29		

Таблица 2. Оценка влияния минерализации и типа воды на температуру и давление гидратообразования

Table 2. Assessment of the influence of mineralization and water type on the temperature and pressure of hydrate formation

№ эксп.	Минерализация, г/л	$t_{\text{го}}, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{го}}, \text{МПа}$	$t_{\text{разл гидр.}}, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{разл гидр.}}, \text{МПа}$
11	14,20	5,60	5,19	7,85	5,26
12		5,62	5,17	7,80	5,23
13		5,75	5,20	7,76	5,26
14	1,30	5,93	5,21	8,25	5,27
15	0,11	6,24	5,19	8,28	5,25

Газ сеноманской залежи исследовался с моделями пластовой воды минерализацией 14,20 г/л, конденсационной воды минерализацией 1,30 и 0,11 г/л.

В [10] указано, что минерализация воды влияет на температуру образования гидрата, при этом температура разложения гидрата меняется незначительно. В отличие от результатов исследования [10], полученные в текущем исследовании результаты подтверждают факт того, что минерализация влияет на температуру образования и разложения гидратов в равной мере. При этом увеличение общей минерализации на 10 г/л уменьшает температуру разложения гидрата на 0,35–0,79 °C, а температуру гидратообразования — на 0,4–0,89 °C (с увеличением при повышении давления). Это хорошо согласуется с известными эмпирическими зависимостями для области малой минерализации (линейный участок) [2], согласно которым увеличение минерализации на 10 г/л уменьшает температуру образования гидрата на 0,5 °C. По результатам экспериментов с моделью пластовой воды среднее значение температуры гидратообразования составило 5,66 °C при среднем давлении гидрато-

бразования 5,19 МПа. При использовании конденсационных вод с минерализациями 1,30 и 0,11 г/л температура и давление гидратообразования составили 5,93 °C и 5,21 МПа и 6,24 °C и 5,19 МПа соответственно.

Определение точек образования и разложения гидратов модельных составов вода/газ при изменении дозировок ингибитора на основе метанола

На данном этапе проводилось определение условий образования и разложения гидратов при различных дозировках ингибитора гидратообразования на основе метанола с газом объектов «Турон» и «Сеноман» и моделями пластовой и конденсационной воды различной минерализации (рисунки 1 и 2). Исследованы дозировки метанола в концентрации 0,138, 0,261, 0,386, 0,522 кг метанола на один кг воды (по 3–4 опыта с различными давлениями). Дополнительно были исследованы дозировки метанола 0,48, 0,567 и 0,641 кг/кг (1–2 опыта).

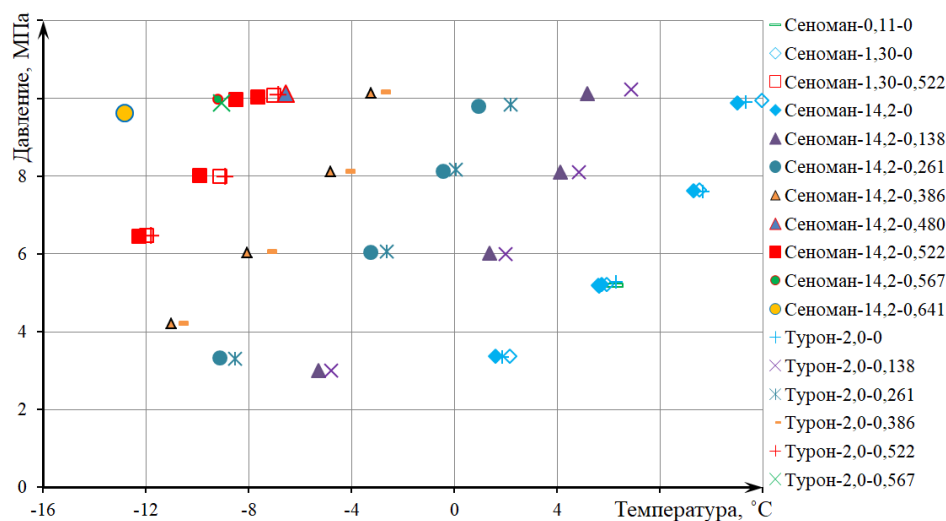


Рисунок 1. Условия гидратообразования газов состава: «Турон», «Сеноман» с различной минерализацией воды [г/л] (первый цифровой индекс легенды), при различных дозировках метанола в растворе [кг/кг] (последняя цифра)

Figure 1. Hydrate formation conditions of gases of composition: «Turon», «Senoman» with different water mineralization [g/l] (first numerical index of the legend), at different dosages of methanol in solution [kg/kg] (last digit)

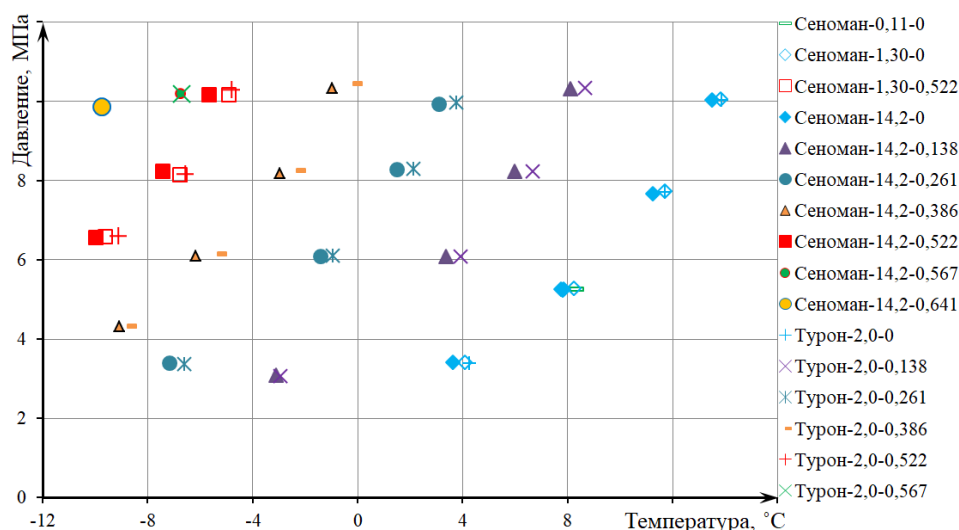


Рисунок 2. Условия разложения гидратов газов состава: «Турон», «Сеноман» с различной минерализацией воды [г/л] (первый цифровой индекс легенды), при различных дозировках метанола в растворе [кг/кг] (последняя цифра)

Figure 2. Decomposition conditions of gas hydrates of composition: «Turon», «Senoman» with different water mineralization [g/l] (first numerical index of the legend), at different dosages of methanol in solution [kg/kg] (last digit)

По результатам анализа полученных данных можно отметить, что минерализация воды при различных дозировках ингибитора оказывает примерно одинаковое влияние на температуру гидратообразования, как и в случае отсутствия ингибитора.

Состав газа объектов «Турон» и «Сеноман» не оказывает значительного влияния на температуру гидратообразования без ввода инги-

битора. При подаче ингибитора температура гидратообразования газа Сеноманской залежи на 0,4–1,4 °C ниже температуры газа Туронской залежи. Данный факт связан с тем, что большая часть экспериментов с добавлением ингибитора проводилась для газа состава «Сеноман» на модели пластовой воды с минерализацией 14,2 г/л, а для состава «Турон» с минерализацией 2 г/л, что в полной

мере позволило учесть вариативность как по составу газа, так и по минерализации водных растворов.

Температура разложения больше температуры образования гидрата на 1,6–3,1 °С при всех исследованных составах газа и воды.

Введение ингибитора гидратообразования снижает температуру разложения и образования гидрата в равной степени. Увеличение концентрации ингибитора на 0,1 кг/кг снижает температуру гидратообразования на 3,6–4,2 °С. При увеличении давления удельная эффективность действия ингибитора снижается.

Таким образом, детальный анализ изменения условий образования и разложения гидратов при вариации уровней минерализации и концентраций ингибитора со средней статистической погрешностью менее 1 °С по температуре естественным образом включил в себя анализ чувствительности к характерным субкомпонентам природного газа на примере реальных составов объектов добычи.

Выводы

1. Проведен многофакторный анализ условий образования гидратов, который учитывал составы рабочих флюидов и дозировки ингибитора. По результатам калибровочных экспериментов уточнялась методика проведения основной части исследований. Это позволило, в значительной степени, нивелировать систематические ошибки, обусловленные конечным шагом снижения температуры термостата. При скорости снижения температуры 2 °С/час разброс по температуре образования

гидратов в повторных измерениях составил 1,03 °С, в то время как при оптимальной скорости 1 °С/час он снизился до 0,15 °С.

2. Повышение минерализации водных растворов, в общем случае, приводит к понижению температуры гидратообразования. Так увеличение минерализации воды на 10 г/л приводит к снижению температуры гидратообразования примерно на 0,45 °С. При этом с повышением давления удельный эффект снижения температуры растёт.

Минерализация воды при различных дозировках ингибитора оказывает примерно равное влияние на температуру гидратообразования, как и в случае без ввода ингибитора.

3. Температура разложения больше температуры образования гидрата на 1,6–3,1 °С во всех исследованных композициях по составу газа и водных растворов.

4. Состав газа «Турон» и «Сеноман» слабо влияет на температуру гидратообразования в отсутствие ингибитора. При добавлении ингибитора температура гидратообразования газа сеноманской залежи на 0,4–1,4 °С ниже температуры газа туронской залежи при прочих равных условиях.

5. На основании обширной матрицы экспериментальных исследований условий гидратообразования по объектам «Турон» и «Сеноман» уточнены расчетные зависимости, которые позволяют заметно повысить эффективность прогнозирования и точность расчета оптимальных дозировок ингибитора на основе метанола по Харампурскому газовому промыслу.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Genov G., Kuhs W.F., Staykova D.K., Goreshnik E., Salamat A.N. Experimental Studies on The Formation of Porous Gas Hydrates // *American Mineralogist*. 2004. Vol. 89. P. 1228–1239. DOI: 10.2138/am-2004-8-910.
2. Истомин В.А., Квон В.Г. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа. М.: ИПЦ Газпром, 2004. 506 с. EDN: QMXZJJ.
3. Hassanpouryouzband A., Joonaki E., Farahani M.V., Takeya S., Ruppel C., Yang J., English N.J., Schicks J.M., Edlmann K., Mehrabian H., Aman Z. M., Tohidia B. Gas hydrates in sustainable chemistry // *Chemical Society Reviews*. 2020. Vol. 49. Issue 15. P. 5225–5309. DOI: 10.1039/C8CS00989A.
4. Истомин В.А., Моисейкин П.А., Абрашов В.Н. и др. Федулов Д.М., Черных В.В., Медведев С.Г. Сопнев Т.В. Гидратообразование в призабойной зоне пласта при освоении туронских залежей Западной Сибири // *Вести газовой науки*. 2013. № 5 (16). С. 99–104. EDN: RTHLNR.
5. Агалаков С.Е. Курчиков А.Р. Ресурсы газа в зонах стабильности газогидратов на севере Западной Сибири // *Наука и техника в газовой промышленности*. 2004. № 1-2. С. 26–35. EDN: KDYRMX.
6. Малюков В.П., Смирнов А.В. Гидратообразование в продуктивном пласте. Термобарические условия и минерализация воды // *Вестник Российского университета дружбы народов*. Серия: Инженерные исследования. 2014. № 4. С. 113–118. EDN: TCRVZP.
7. Makogon Y.F. Hydrates of Hydrocarbons. Tulsa: PennWell Publishing Co, 1997. 482 p.
8. Истомин В.А. Нестеров А.Н., Чувилин Е.М., Квон В.Е., Решетников А.М. Разложение гидратов различных газов при температурах ниже 273К // *Газохимия*. 2008. № 3. С. 30–44. EDN: LPBXSV.
9. Bishoni P.R., Natarajan V. Formation and Decomposition of Gas Hydrates // *Fluid Phase Equilibria*. 1996. Vol. 117. P. 168–177. DOI: 10.1016/0378-3812(95)02950-8.

10. Smith C., Barifcani A., Pack D. Gas Hydrate Formation and Dissociation Numerical Modelling with Nitrogen and Carbon Dioxide // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2015. Vol. 27. P. 1118–1128. DOI: 10.1016/j.jngse.2015.09.055.

11. Sadeq D., Iglauer S., Lebedev M., Smith C., Barifcani A. Experimental Determination of Hydrate Phase Equilibrium for Different Gas Mixtures Containing Methane, Carbon Dioxide and Nitrogen with Motor Current Measurements // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2017. Vol. 38. P. 59–73. DOI: 10.1016/j.jngse.2016.12.025.

12. Насырова М.И., Липатов В.Д., Имашев Р.Н., Савичев В.И., Жонин В.В., Литвиненко К.В., Абрашов В.Н., Скоробогач М.А. Численное моделирование газоабразивного износа элементов газопромыслового оборудования. Нефтегазовое дело. 2021. Т. 19. № 5. С. 67–74. DOI: 10.17122/ngdelo-2021-5-67-74. EDN: FCSMYP.

REFERENCES

1. Genov G., Kuhs W.F., Staykova D.K., Goreshnik E., Salamatin A.N. Experimental Studies on The Formation of Porous Gas Hydrates. *American Mineralogist*, 2004, Vol. 89, pp. 1228–1239. DOI: 10.2138/am-2004-8-910.

2. Istomin V.A., Kwon V.G. *Preduprezhdenie i likvidatsiya gazovyyh gidratov v sistemah dobychi gaza* [Prevention and Elimination of Gas Hydrates in Gas Production Systems]. Moscow, Gazprom IRC Publ., 2004. 506 p. EDN: QMXZJJ. [in Russian].

3. Hassanpouryouzband A., Joonaki E., Farahani M.V., Takeya S., Ruppel C., Yang J., English N.J., Schicks J.M., Edlmann K., Mehrabian H., Aman Z. M., Tohidia B. Gas hydrates in sustainable chemistry. *Chemical Society Reviews*, 2020, Vol. 49, Issue 15, pp. 5225–5309. DOI: 10.1039/C8CS00989A. [in Russian].

4. Istomin V.A., Moiseikin P.A., Abrashov V.N. et al. Fedulov D.M., Chernykh V.V., Medvedev S.G. Sopnev T.V. Gidratoobrazovanie v prizabojnoj zone plasta pri osvoenii turonskih zalezhej Zapadnoj Sibiri [Hydrate Formation in The Bottomhole Zone of the Formation During Development of the Turonian Deposits of Western Siberia]. *Vesti gazovoj nauki — Lead Gas Science*, 2013, No. 5 (16), pp. 99–104. EDN: RTHLNR. [in Russian].

5. Agalakov S.E. Kurchikov A.R. Resursy gaza v zonah stabil'nosti gazogidratov na severe Zapadnoj Sibiri [Gas Resources in Gas Hydrate Stability Zones in the North of Western Siberia]. *Nauka i tekhnika v gazovoj promyshlennosti — Science and Technology in the Gas Industry*, 2004, No. 1-2, pp. 26–35. EDN: KDYRMX. [in Russian].

6. Malyukov V.P., Smirnov A.V. Gidratoobrazovanie v produktivnom plaste. Termobaricheskie usloviya i mineralizatsiya vody [Hydrate Formation in The Reservoir. Thermobaric Conditions and Salinity]. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Inzhenernye issledovaniya — Rudn Journal of Engineering Research*, 2014, No. 4, pp. 113–118. EDN: TCRVZP. [in Russian].

7. Makogon Y.F. *Hydrates of Hydrocarbons*. Tulsa: PennWell Publishing Co, 1997. 482 p.

8. Istomin V.A. Nesterov A.N., Chuvilin E.M., Kvon V.E., Reshetnikov A.M. Razlozhenie gidratov razlichnyh gazov pri temperaturah nizhe 273K [Decomposition of Hydrates of Various Gases at Temperatures Below 273K]. *Gazohimiya — Gas Chemistry*, 2008, No. 3, pp. 30–44. EDN: LPBXSV. [in Russian].

9. Bishoni P.R., Natarajan V. Formation and Decomposition of Gas Hydrates. *Fluid Phase Equilibria*, 1996, Vol. 117, pp. 168–177. DOI: 10.1016/0378-3812(95)02950-8.

10. Smith C., Barifcani A., Pack D. Gas Hydrate Formation and Dissociation Numerical Modelling with Nitrogen and Carbon Dioxide. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2015, Vol. 27, pp. 1118–1128. DOI: 10.1016/j.jngse.2015.09.055.

11. Sadeq D., Iglauer S., Lebedev M., Smith C., Barifcani A. Experimental Determination of Hydrate Phase Equilibrium for Different Gas Mixtures Containing Methane, Carbon Dioxide and Nitrogen with Motor Current Measurements. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2017, Vol. 38, pp. 59–73. DOI: 10.1016/j.jngse.2016.12.025.

12. Nasyrova M.I., Lipatov V.D., Imashev R.N., Savichev V.I., Zhonin V.V., Litvinenko K.V., Abrashov V.N., Skorobogach M.A. CHislennoe modelirovanie gazoabrazivnogo iznosa elementov gazopromyslovogo oborudovaniya [Numerical Simulation of Gas-Abrasive Wear of Industrial Equipment Elements]. *Neftgazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2021, Vol. 19, No. 5, pp. 67–74. DOI: 10.17122/ngdelo-2021-5-67-74. EDN: FCSMYP. [in Russian].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Александр Евгеньевич Кишалов, главный специалист отдела оптимизации технологий мехдобычи, ООО «РН-БашНИПИНефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Уфа, Россия

Aleksandr E. Kishalov, candidate of technical sciences, main specialist of the department of optimization of mechanical extraction technologies, RN-BashNIPIneft LLC (Company of Rosneft Group), Ufa, Russia

ae_kishalov@bnipi.rosneft.ru

Вадим Дмитриевич Липатов, главный специалист отдела оптимизации технологий мехдобычи, ООО «РН-БашНИПИНефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Уфа, Россия

Vadim D. Lipatov, main specialist of the department of optimization of mechanical extraction technologies, RN-BashNIPIneft LLC (Company of Rosneft Group), Ufa, Russia

lipatovvd@bnipi.rosneft.ru

Владимир Иванович Савичев, кандидат физико-математических наук, эксперт отдела оптимизации технологий мехдобычи, ООО «РН-БашНИПИнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»)), Уфа, Россия

Vladimir I. Savichev, candidate of physical-mathematical sciences, expert of the department of optimization of mechanical extraction technologies, RN-BashNIPIneft LLC (Company of Rosneft Group), Ufa, Russia

savichevvi@bnipi.rosneft.ru

Константин Владимирович Литвиненко, кандидат технических наук, начальник управления скважинных технологий и работ, ООО «РН-БашНИПИнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»)), Уфа, Россия

Konstantin V. Litvinenko, candidate of technical sciences, head of well technology and operations department, RN-BashNIPIneft LLC (Company of Rosneft Group), Ufa, Russia

litvinenkov@bnipi.rosneft.ru

Радик Аслямович Ягудин, кандидат технических наук, заместитель главного геолога, ООО «Харампурнефтегаз», Губкинский, Россия, yagudinra@kharampurneftegaz.ru

Radik A. Yagudin, candidate of technical sciences, chief geologist, Kharampurneftegaz LLC, Tyumen, Russia,

yagudinra@kharampurneftegaz.ru

Рита Навиевна Хайрисламова, ведущий специалист отдела оптимизации технологий мехдобычи, ООО «РН-БашНИПИнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»)), Уфа, Россия

Rita N. Khayrislamova, leading specialist of the department of optimization of mechanical extraction technologies, RN-BashNIPIneft LLC (Company of Rosneft Group), Ufa, Russia

Статья поступила в редакцию 24.06.2024; одобрена после рецензирования 05.07.2024; принята к публикации 30.07.2024.

The article was submitted 24.06.2024; approved after reviewing 05.07.2024; accepted for publication 30.07.2024.