



УДК 622.279.72

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНГИБИТОРОВ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ НА ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЧУКОТСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE USE OF INHIBITORS OF HYDRATE FORMATION ON THE GAS FIELDS OF CHUKOTKA AUTONOMOUS REGION

Савенок Ольга Вадимовна

доктор технических наук,
профессор кафедры Нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный
технологический университет
olgasavenok@mail.ru

Поварова Лариса Валерьевна

кандидат химических наук, доцент,
доцент кафедры химии,
Кубанский государственный
технологический университет
larispv08@gmail.com

Тихонов Егор Викторович

студент,
института Нефти, газа и энергетики,
Кубанский государственный
технологический университет
tigr-1299@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу эффективности применения ингибиторов гидратообразования на газовых месторождениях Чукотского Автономного округа. Проведено сравнение таких ингибиторов, как метанол, смеси изопропанола с метанолом и этанол.

Ключевые слова: гидраты, ингибитор, метанол, этанол, изопропанол.

Savenok Olga Vadimovna

Doctor of technical sciences,
Professor of oil and gas
engineering department
named after professor G.T. Vartumyan,
Kuban state technological university
olgasavenok@mail.ru

Povarova Larisa Valeryevna

Candidate of chemical sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of chemistry department,
Kuban state technological university
larispv08@gmail.com

Tikhonov Egor Viktorovich

Student,
Institute of Oil, Gas and Energy,
Kuban state technological university
tigr-1299@mail.ru

Annotation. The article is devoted to the analysis of the effective use inhibitors hydrate formation in the gas fields of the Chukotka Autonomous region. Applications of inhibitors such as methanol, mixtures of isopropanol with methanol and ethanol were compared.

Keywords: hydrates, inhibitor, methanol, ethanol, isopropanol.

Для подготовки к трубопроводному транспорту продукции газовых скважин Западно-Озерного месторождения применяется установка комплексной подготовки газа (УКПГ). Транспорт газа осуществляется в г. Анадырь с целью обеспечения потребности города в топливном газе для электростанции и котельных. Установка введена в эксплуатацию в 2001 году.

Западно-Озерное месторождение находится в Чукотском нефтегазоносном районе. В административном отношении в Чукотском автономном округе (в 120 км юго-западнее г. Анадырь).

Территория месторождения расположена в зоне тундры и лесотундры. Климат умеренно-континентальный, характерно избыточное увлажнение, короткое холодное лето, снежная зима с частыми штормовыми ветрами, метелями, оттепелями. Средняя температура января $-22,8^{\circ}\text{C}$; средняя температура июля $+10,7^{\circ}\text{C}$.

Одной из основных проблем, возникающих при эксплуатации УКПГ, является образование гидратов. Соединения гидратов могут образовываться в скважинах, на измерительных устройствах, в газовом шлейфе, в магистральном трубопроводе, теплообменниках, в регуляторах давления, вызывая закупоривание узлов газового месторождения. Гидратообразование колоссально нарушает технологический регламент установки комплексной подготовки газа.

Борьба с гидратами в стволе газовой скважины ведется в двух основных направлениях: предотвращение гидратообразования и ликвидация образовавшейся пробки.



Для предотвращения гидратообразования на Западно-Озерном месторождении используется автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУТП). С помощью неё в реальном времени специалист по добыче газа может отследить параметры, по которым можно сделать заключение о начале образования гидратной пробки.

Для экономии использования ингибитора на месторождении предусмотрена установка СПИ-02 (система подачи ингибитора).

На газовых месторождениях Чукотского АО применялись различные технологии борьбы с гидратообразованием. Газовый промысел эксплуатируется с 2002 года и на протяжении 17 лет производился поиск наиболее эффективного ингибитора для конкретного промысла. Наиболее распространённый ингибитор – метиловый спирт. В таблице 1 приведены физико-химические свойства метанола.

Таблица 1 – Физико-химические свойства метанола

| №№ n/n | Наименование параметра | Параметр |
|-----------|---|--|
| 1 | Состав, объёмные % | метанол (не менее) – 99,8; примеси (не более) – 0,2 |
| 2.1 | Молекулярная масса, кг/кмоль | 32,04 |
| 2.2 | Температура кипения, °С (при давлении 101 кПа) | 64,0 |
| 2.3 | Плотность при 20 °С, кг/м ³ | 792 |
| 3 | Взрывопожароопасность | |
| 3.1 | Температура вспышки, °С | 8 |
| 3.2 | Температура самовоспламенения, °С | 436 |
| 3.3 | Пределы взрываемости, объёмные % | 6,7–34,7 |
| 4 | Токсическая опасность | |
| 4.1 | ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³ | 5 |
| 4.2 | ПДК в атмосферном воздухе, мг/м ³ | 1* |
| 4.3 | Летальная токсодоза, см ³ | 30 |
| 4.4 | Пороговая токсодоза, см ³ | 5–10 |
| 5 | Реакционная способность | хорошо растворяется в воде, реагирует с кислотами |
| 6 | Запах | сильный, похожий на этиловый спирт |
| 7 | Коррозионное воздействие | нет |
| 8 | Меры предосторожности | приточно-вытяжная вентиляция, индивидуальные средства защиты, средства огнетушения |
| 9 | Информация о воздействии на людей | яд, поражает центральную нервную и сердечно-сосудистую системы |
| 10 | Средства защиты | фильтрующий противогаз марки А или М, резиновые перчатки, защитные очки, спецодежда |
| 11 | Методы перевода вещества в безвредное состояние | сжигание |
| 12 | Меры первой помощи пострадавшим от воздействия вещества | промывание желудка в течение двух часов 5 %-м раствором питьевой соды, повреждённые участки кожи промыть тёплой водой с мылом |
| 13 | Класс опасности | 3 |
| 14 | Категория и группа взрывоопасной газовой смеси | IIA-T2 |

Результаты использования метанола в качестве ингибитора гидратообразования на месторождениях Чукотского АО с 2002 года по 2012 г. представлены на рисунках 1 и 2. По технологическому регламенту, которым руководствовались операторы по добыче нефти и газа, показатель расхода для метанола составляет 0,25 л на 1000 м³ газа. Этот теоретический показатель был практически одинаков с практическими значениями на промысле. Так, на практике расход составлял 0,23–0,27 л на 1000 м³ в зависимости от условий перепада температуры окружающей среды. На рисунках 1 и 2 представлены две диаграммы практической и теоретической зависимости расхода метанола от добычи газа на месторождении газового промысла «Западно-Озерный».

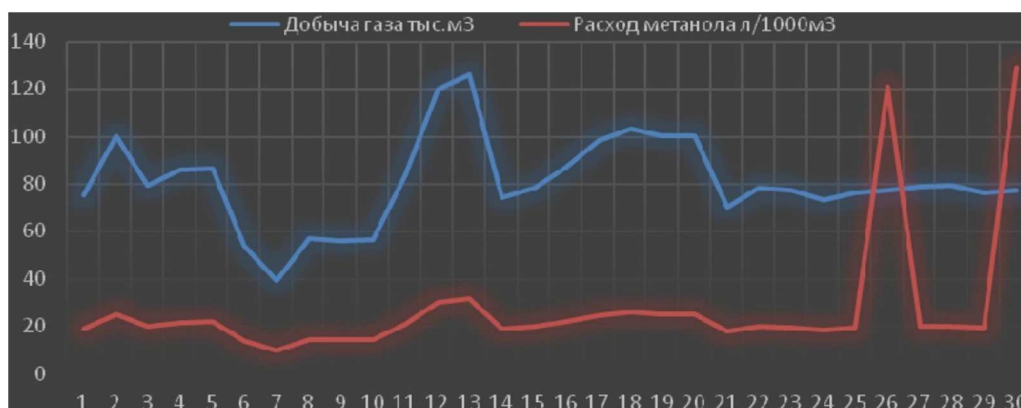


Рисунок 1 – Практические данные зависимости расхода метанола от добычи газа

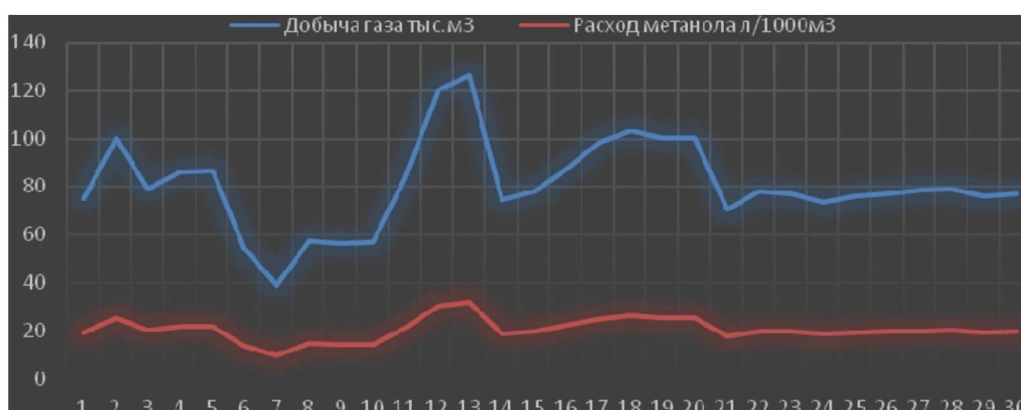


Рисунок 2 – Теоретические данные зависимости расхода метанола от добычи газа

Если сравнивать два графика, то отчётливо видно, что практические данные почти полностью совпадают с теоретически-прогнозируемым расходом ингибитора. Большие расхождения наблюдаются на 26 и 30 число месяца. Такое резкое увеличение расхода метанола в эти дни связано с тем, что в одном из узлов установки комплексной подготовки газа, а именно в теплообменнике наблюдалось образование гидратной пробки, которую невозможно было ликвидировать ни резким перепадом давления, ни обычной подачей метанола. В этой связи приходилось переходить на запасной (аварийный) теплообменник, а трубное и затрубное пространство теплообменника полностью заполнять ингибитором – метанолом.

Таким образом, среднемесячный расход метанола составляет 780–800 л на месячную добычу в 3 млн м³. Данный показатель является усреднённым, так как расход метанола в зимнее время намного меньше, чем в летний период ввиду больших перепадов температур.

С 2005 года до 2017 г. на Западно-Озерном месторождении применялся этиловый спирт. В таблице 2 приведены физико-химические свойства этанола.

Таблица 2 – Физико-химические свойства этанола

| №№ n/n | Наименование параметра | Параметр |
|-----------|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Состав, объёмные % | этанол (не менее) – 99,8; примеси (не более) – 0,2 |
| 2.1 | Молекулярная масса, кг/кмоль | 32,04 |
| 2.2 | Температура кипения, °С (при давлении 101 кПа) | 76,8 |
| 2.3 | Плотность при 20 °С, кг/м³ | 790 |
| 3 | Взрывопожароопасность | |
| 3.1 | Температура вспышки, °С | 12 |
| 3.2 | Температура самовоспламенения, °С | 444 |
| 3.3 | Пределы взрываемости, объёмные % | 6,7–34,7 |



Окончание таблицы 2

| 1 | 2 | 3 |
|-----|---|---|
| 4 | Токсическая опасность | |
| 4.1 | ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³ | 5 |
| 4.2 | ПДК в атмосферном воздухе, мг/м ³ | 1* |
| 4.3 | Летальная токсодоза, см ³ | 30 |
| 4.4 | Пороговая токсодоза, см ³ | 5–10 |
| 5 | Реакционная способность | хорошо растворяется в воде, реагирует с кислотами |
| 6 | Запах | слабый, похожий на метиловый спирт |
| 7 | Коррозионное воздействие | нет |
| 8 | Меры предосторожности | приточно-вытяжная вентиляция, индивидуальные средства защиты, средства огнетушения |
| 9 | Информация о воздействии на людей | не является ядом, но поражает центральную нервную и сердечно-сосудистую системы |
| 10 | Средства защиты | фильтрующий противогаз марки А или М, резиновые перчатки, защитные очки, спецодежда |
| 11 | Методы перевода вещества в безвредное состояние | сжигание |
| 12 | Меры первой помощи пострадавшим от воздействия вещества | промывание желудка в течение двух часов 5 %-м раствором питьевой соды, повреждённые участки кожи промыть тёплой водой с мылом |
| 13 | Класс опасности | 4 |
| 14 | Категория и группа взрывоопасной газовой смеси | IIA-T2 |

По технологическому регламенту расчётная цифра по расходу этилового спирта составляла 0,55 л/1000 м³ газа. Прогнозируемый показатель расхода был практически одинаков с практическими значениями на промысле. Так, на практике расход составлял 0,53–0,57 л на 1000 м³ в зависимости от условий перепада температуры окружающей среды.

На рисунках 3 и 4 представлены две диаграммы практической и теоретической зависимости расхода этанола от добычи газа на месторождении газового промысла «Западно-Озерный».

Если сравнивать два графика, то отчётливо видно, что практические данные почти полностью совпадают с теоретически-прогнозируемым расходом ингибитора. Большие расхождения наблюдаются на 13, 17 и 19 число месяца. Такое резкое увеличение расхода метанола в эти дни связано с тем, что были большие перепады температуры окружающей среды. В этой связи приходилось запускать дополнительные скважины, которые стояли в отстое. Поэтому более 100 л было истрачено на то, чтобы заполнить трубное и затрубное пространство газовой скважины.

Таким образом, среднемесячный расход этанола составляет 1650–1700 л на месячную добычу в 3 млн м³. Данный показатель является усреднённым, так как расход этанола в зимнее время намного меньше, чем в летний период, ввиду больших перепадов.

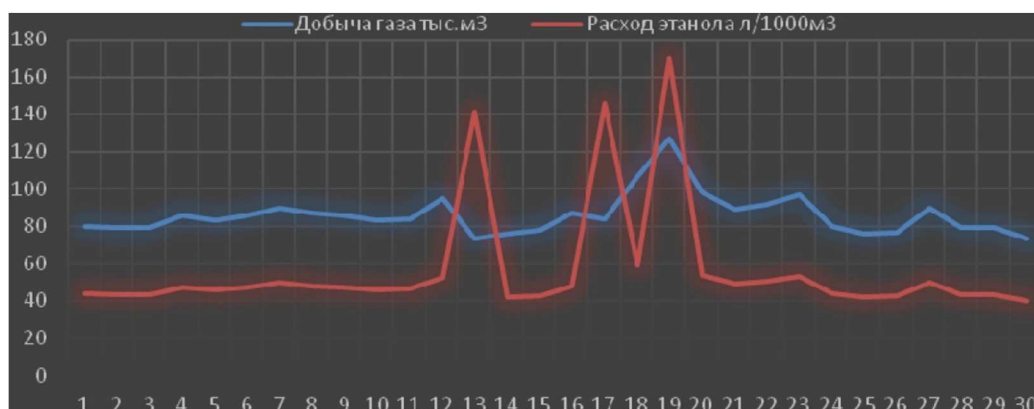


Рисунок 3 – Практические данные зависимости расхода этанола от добычи газа

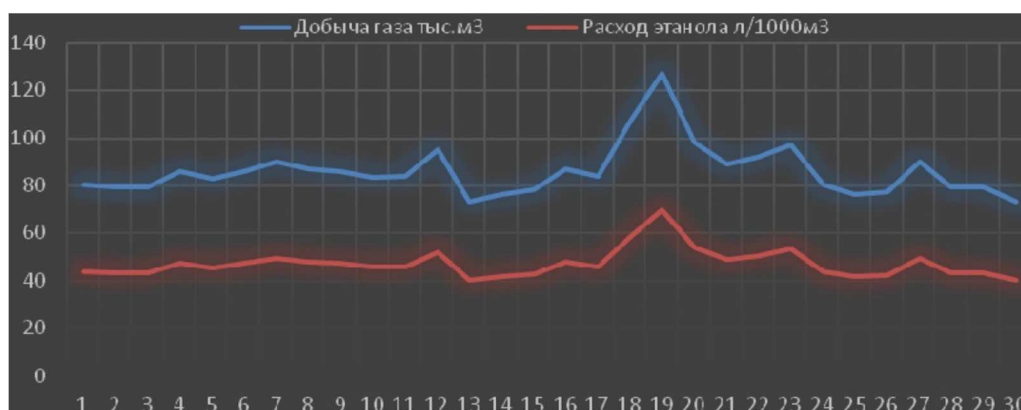


Рисунок 4 – Теоретические данные зависимости расхода этанола от добычи газа

С 2017 года по настоящее время на Западно-Озерном месторождении начали использовать технологию применения так называемого растворителя гидратообразования (табл. 3).

Таблица 3 – Физико-химические свойства растворителя гидратообразования

| №№ n/n | Наименование параметра | Параметр |
|-----------|--|--|
| 1 | Состав, объёмные % | изопропанол (не менее) – 59,7; метанол (не менее) – 40,1; примеси (не более) – 0,2 |
| 2.1 | Молекулярная масса, кг/кмоль | 32,04 |
| 2.2 | Температура кипения, °С (при давлении 101 кПа) | 82,4 |
| 2.3 | Плотность при 20 °С, кг/м³ | 789 |
| 3 | Взрывопожароопасность | |
| 3.1 | Температура вспышки, °С | 14 |
| 3.2 | Температура самовоспламенения, °С | 455 |
| 3.3 | Пределы взрываемости, объёмные % | 6,7–34,7 |
| 4 | Токсическая опасность | |
| 4.1 | ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м³ | 5 |
| 4.2 | ПДК в атмосферном воздухе, мг/м³ | 1* |
| 4.3 | Летальная токсодоза, см³ | 30 |
| 4.4 | Пороговая токсодоза, см³ | 5–10 |
| 5 | Реакционная способность | хорошо растворяется в воде, реагирует с кислотами |
| 6 | Запах | сильный, похожий на метиловый спирт |
| 7 | Коррозионное воздействие | нет |
| 8 | Меры предосторожности | приточно-вытяжная вентиляция, индивидуальные средства защиты, средства огнетушения |
| 9 | Информация о воздействии на людей | яд, поражает центральную нервную и сердечно-сосудистую системы |
| 10 | Средства защиты | фильтрующий противогаз марки А или М, резиновые перчатки, защитные очки, спецодежда |
| 11 | Методы перевода вещества в безвредное состояние | сжигание |
| 12 | Меры первой помощи пострадавшим от воздействия вещества | промывание желудка в течение двух часов 5 %-м раствором питьевой соды, повреждённые участки кожи промыть тёплой водой с мылом |
| 13 | Класс опасности | 4 |
| 14 | Категория и группа взрывоопасной газовой смеси | IIA-T2 |



Таким образом, смесь двух спиртов можно доставить на газовый промысел без использования транспортных компаний, которые имеют лицензию на осуществление перевозки метанола.

Кроме того, использование данной смеси позволяет избежать вредные условия для сотрудников компаний.

Прогнозируемый показатель расхода был практически одинаков с практическими значениями на промысле. Так, на практике расход составлял 0,53–0,57 л на 1000 м³ в зависимости от условий перепада температуры окружающей среды.

На рисунках 5 и 6 представлены две диаграмма практической и теоретической зависимости расхода этанола от добычи газа на месторождении газового промысла «Западно-Озерный».

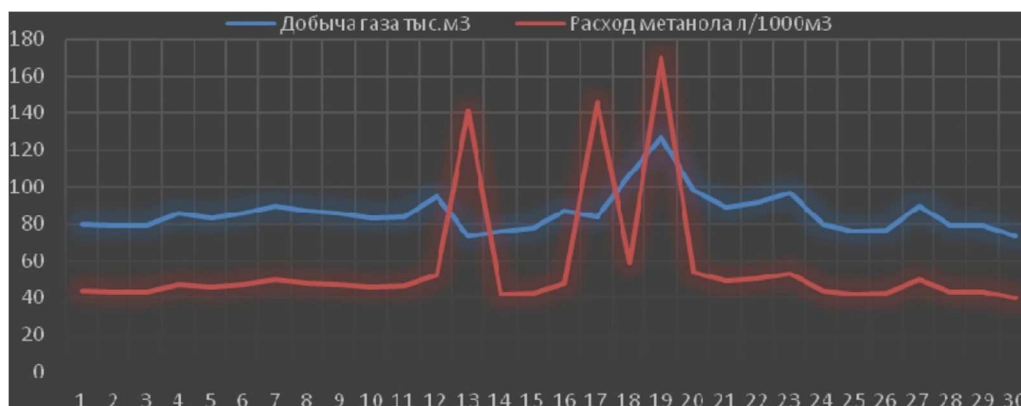


Рисунок 5 – Практические данные зависимости расхода растворителя гидратообразования от добычи газа

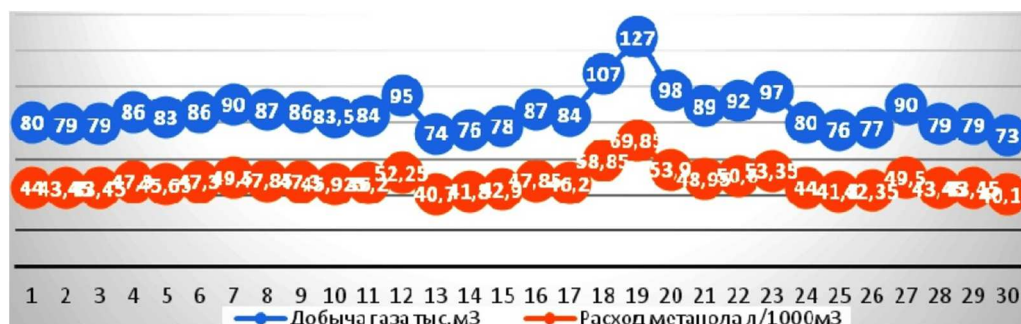


Рисунок 6 – Теоретические данные зависимости расхода растворителя гидратообразования от добычи газа

Если сравнивать два графика, то отчётливо видно, что практические данные почти полностью совпадают с теоретически-прогнозируемым расходом ингибитора. Большие расхождения наблюдаются на 13, 17 и 19 число месяца. Такое резкое увеличение расхода растворителя гидратообразования в эти дни связано с тем, что были большие перепады температуры окружающей среды. В этой связи приходилось запускать дополнительные скважины, которые стояли в отстое. Поэтому более 100 л было истрачено на то, чтобы заполнить трубное и затрубное пространство газовой скважины.

Таким образом, учитывая высокую токсичность метанола, целесообразно проводить его замену на другие вещества, обладающие ингибирующими свойствами, но менее токсичные и опасные. В этой связи целесообразно рассмотреть перспективы использования этанола и изопропанола в качестве ингибиторов гидратообразования.

В связи с тем, что экологические и социальные аспекты организации производства на любом предприятии с каждым годом становятся всё более актуальными, решение о замене ингибитора гидратообразования должно в каждом конкретном случае приниматься индивидуально.

Литература:

1. Булатов А.И., Кусов Г.В., Савенок О.В. Асфальто-смоло-парафиновые отложения и гидратообразования: предупреждение и удаление в 2 томах : учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2011. – Т. 1–2.
2. Булатов А.И., Волощенко Е.Ю., Кусов Г.В., Савенок О.В. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин : учебное пособие для студентов вузов. – Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2011. – 603 с.
3. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин в 4 томах. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.
4. Булатов А.И., Савенок О.В. Практикум по дисциплине «Заканчивание нефтяных и газовых скважин» в 4 томах : учебное пособие. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013–2014. – Т. 1–4.



5. Булатов А.И., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 576 с.
6. Булатов А.И., Качмар Ю.Д., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Освоєння нафтових і газових свердловин. Наука і практика : монографія. – Львів : Сполом.
7. Савенок О.В., Качмар Ю.Д., Яремийчук Р.С. Нефтегазовая инженерия при освоении скважин. – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – 548 с.
8. Савенок О.В., Ладенко А.А. Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2019.
9. Бадовская Л.А., Посконин В.В., Поварова Л.В. Синтез функциональных производных фурана окислением фуранов и формилфуранов пероксидом водорода // Известия Академии наук. – 2017. – Серия: Химическая. – № 4. – С. 593–599.
10. Березовский Д.А., Савенок О.В. Особенности борьбы с гидратами природных газов при разработке месторождений (на примере Северо-Ставропольского месторождения) // Сборник статей научно-информационного центра «Знание» по материалам XX Международной заочной научно-практической конференции «Развитие науки в XXI веке» (13 декабря 2016 года, г. Харьков). – Харьков : научно-информационный центр «Знание», 2016. – Ч. 2. – С. 29–44.
11. Березовский Д.А., Кусов Г.В., Савенок О.В. Методы предупреждения и ликвидации гидратообразования при эксплуатации газовых скважин на примере месторождения Узловое // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2017. – № 2. – С. 82–108.
12. Савенок О.В. Использование колюбинговых технологий для удаления гидратных пробок и растепления скважин // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 2. – С. 261–264.
13. Савенок О.В., Поварова Л.В., Даниелян Г.Г. Технологическая эффективность геолого-технических мероприятий, применяемых на Вынгапуровском месторождении // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 2. – Ч. 2. – С. 152–156.
14. Савенок О.В., Поварова Л.В., Березовский Д.А. Перспективы использования физико-химического и математического моделирования для разработки высокоэффективной комплексной технологии очистки и подготовки пластовых вод // Научно-практический рецензируемый журнал «Экология и промышленность России». – М. : Издательство «Калвис», 2019. – Т. 23. – № 3. – С. 66–71.

References:

1. Bulatov A.I., Kusov G.V., Savenok O.V. Asfalto-resin-paraffin deposits and hydrate formation: warning and removal in 2 volumes : textbook. – Krasnodar : Publishing House – South, 2011. – V. 1–2.
2. Bulatov A.I., Voloshchenko E.Yu., Kusov G.V., Savenok O.V. Ecology in the course of the oil and gas wells construction : textbook for the university students. – Krasnodar : LLC Prosveshchenie-South, 2011. – 603 p.
3. Bulatov A.I., Savenok O.V. Overhaul of the oil and gas wells in 4 volumes. – Krasnodar : Publishing House – South, 2012–2015. – V. 1–4.
4. Bulatov A.I., Savenok O.V. Workshop on the discipline «Completion of the oil and gas wells» in 4 volumes : textbook. – Krasnodar : Publishing House – South, 2013–2014. – V. 1–4.
5. Bulatov A.I., Savenok O.V., Yaremichuk R.S. Scientific basis and practice of oil and gas well development. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 576 p.
6. Bulatov A.I., Kachmar Y.D., Savenok O.V., Yaremichuk R.S. Development of the naphtha and gas sverdlov in. Science and practice : monograph. – Lviv : Spole.
7. Savenok O.V., Kachmar Y.D., Yaremichuk R.S. Oil and gas engineering during well development. – M. : Infra-Engineering, 2019. – 548 p.
8. Savenok O.V., Ladenko A.A. Development of the oil and gas fields. – Krasnodar : Published by FGBOU VO KubGTU, 2019.
9. Badovskaya L.A., Pskonin V.V., Povarova L.V. Synthesis of the functional derivatives of furan by oxidation of furan and formylfuran by hydrogen peroxide // Izvestia of the Academy of Sciences. – 2017. – Series: Chemical. – № 4. – P. 593–599.
10. Berezovsky D.A., Savenok O.V. Peculiarities of natural gas hydrate control during field development (on the example of the Severo-Stavropolskoye field) // Collection of articles of the «Knowledge» Research and Information Center based on the materials of the XX International Conference «Science Development in the XXI century». (13 December 2016, Kharkiv). – Kharkiv : Knowledge Research and Information Centre, 2016. – Parts 2. – P. 29–44.
11. Berezovsky D.A., Kusov G.V., Savenok O.V. Methods of prevention and elimination of hydrate formation during the exploitation of gas wells on the example of Uzlovoe field // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2017. – № 2. – P. 82–108.
12. Savenok O.V. Application of coiled tubing technologies for removal of hydrate plugs and well melting // Bulatovskie readings. – 2017. – Vol. 2. – P. 261–264.
13. Savenok O.V., Povarova L.V., Danielyan G.G. Technological efficiency of geological and technical measures applied at the Vyngapurovskoye field // Bulatovskie readings. – 2018. – Vol. 2. – P. 152–156.
14. Savenok O.V., Povarova L.V., Berezovsky D.A. Prospects for the use of physicochemical and mathematical modeling for the development of a highly efficient complex technology of treatment and preparation of formation waters // Research and Practice Reviewed Journal «Ecology and Industry of Russia». – M. : Kalvis Publishing House, 2019. – V. 23. – № 3. – P. 66–71.