

ОТЗЫВ

**официального оппонента, доктора технических наук Федоровой Натальи Григорьевны
на диссертацию Лаврик Анны Юрьевны на тему:
«Обоснование и разработка состава ингибирующей технологической жидкости для
освоения газовых скважин в условиях гидратообразования»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.8.2. Технология бурения и освоения скважин**

1. Актуальность темы диссертации

Гидратообразование – одна из проблем при освоении и эксплуатации скважин газовых месторождений в северных широтах. Основное негативное действие гидратов заключается в закупоривании проходных каналов оборудования, что требует проведения специальных работ по разрушению и удалению газогидратных пробок. Поэтому активно разрабатываются методы, направленные на недопущение образования гидратов. Достигается это за счет применения ингибиторов гидратообразования. Пожалуй, самым распространенным из них является метанол. Он смещает термобарические условия образования гидратов, но его применение связано с определёнными рисками, например, такими, как пожароопасность, токсичность, солеотложения при контакте с минерализованной пластовой водой. Кроме того, применение метанола связано с высокими затратами на регенерацию.

Разработка более рациональных ингибиторов (и обладающих одновременно термодинамическим и кинетическим механизмом действия) является задачей, имеющей существенное практическое значение.

Поэтому тема диссертации А.Ю. Лаврик на тему: «Обоснование и разработка состава ингибирующей технологической жидкости для освоения газовых скважин в условиях гидратообразования» – актуальна.

2. Научная новизна диссертации

Научную новизну диссертации составляет следующее:

– обоснование (теоретическое и экспериментальное) возможности изменения термобарических условий формирования и увеличения периода нуклеации газовых гидратов за счёт механизма образования водородных связей между катионами аммония NH_4^+ и молекулами воды. Именно это обеспечивает высокую концентрацию ионов в растворе заданной плотности, применяемом в качестве технологической жидкости при освоении скважин.

– коэффициенты полуэмпирической модели, основанной на уравнении Клапейрона-Клаузиуса, позволяющие уточнить условия формирования газовых гидратов метана и диапазон термобарических параметров применения технологической жидкости при освоении газовых скважин.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, приведенных в диссертации, подтверждается следующим:

- достаточным объёмом и качеством экспериментальных исследований;
- использованием (для проведения экспериментов) современного сертифицированного оборудования, внесённого в Госреестр средств измерений;
- апробацией работы на всероссийских и международных конференциях: XXIV Научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Бурение» (04.04.2024, г. Донецк); III Международной научно-практической конференции «Прорывные технологии в разведке, разработке и добыче углеводородного сырья» (22.05 – 24.05.2024, г. Санкт-Петербург); V Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли» (01.12 – 06.12.2024, г. Ставрополь); IV Международной научно-практической конференции «Прорывные технологии в разведке, разработке и добыче углеводородного сырья» (20.05 – 22.05.2025, г. Санкт-Петербург); VI Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в ТЭК» (24.11 – 28.11.2025, г. Ставрополь).

4. Научные результаты, их ценность

Научным результатом диссертации Лаврик Анны Юрьевны является разработка ингибирующей технологической жидкости на основе хлорида аммония и органических полимеров двойного действия (сочетающей термодинамический и кинетический механизмы действия) для предотвращения гидратообразования при освоении газовых скважин.

Ценность полученного результата заключается в минимизации технологических рисков и снижении затрат при использовании технологической жидкости разработанного состава.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации заключается в следующем:

1. Разработана методика исследования ингибиторов гидратообразования, включающая определение равновесных параметров разложения гидратов, а также кинетических параметров их образования – времени индукции (методом фиксированной температуры переохлаждения и методом постоянного снижения температуры) и максимальной температуры переохлаждения.

2. Проведены экспериментальные исследования термодинамических и кинетических свойств ингибирующих жидкостей с плотностью 1050 кг/м^3 в диапазонах давлений от 3 до 32 МПа. Установлено, что среди хлоридов калия, натрия и аммония, а также тиоцианата аммония и карбамида наиболее сильный ингибирующий эффект оказывает NH_4Cl , смещая кривую фазового равновесия относительно KCl и NaCl на 8°C при 20 МПа.

3. Предложена математическая модель на основе уравнения Клапейрона-Клаузиуса, связывающая температуру и давление образования гидратов метана, и определены её коэффициенты для исследуемых систем «метан – вода – ингибитор».

4. Разработана ингибирующая технологическая жидкость для борьбы с гидратообразованием при освоении скважин (патент на изобретение № 2855205) с плотностью 1050 кг/м^3 , обеспечивающая предотвращение образования гидратов в НКТ, включающая NH_4Cl (15-20 масс. %), ПВП (0,5-1 масс. %), КМЦ (1-2 масс. %), ПГМГ (0,2- 0,4 масс. %) и воду техническую (76,6-83,3 масс. %). Установлено, что данный состав в области давлений до 6 МПа показывает аналогичную, а в области давлений выше 6 МПа – превосходящую ингибирующую способность в сравнении с раствором метанола 20 масс. % (снижение равновесной температуры на $2,2^\circ\text{C}$ при 20 МПа). Разработанный состав в 2,5 раза увеличивает нуклеационный период образования гидратов относительно раствора NH_4Cl .

Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 8 печатных работах, в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 3 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент на изобретение.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Основные результаты диссертационной работы, а именно:

- разработанный состав ингибирующей технологической жидкости;
- математические зависимости температуры и давления фазового равновесия гидратов;

– рекомендации по определению участков скважины, опасных с точки зрения гидратообразования – могут быть использованы в производственной деятельности проектных и добывающих организаций нефтегазовой отрасли.

Результаты и методики исследований свойств ингибирующих составов могут быть использованы в Санкт-Петербургском горном университете императрицы Екатерины II при выполнении научно-исследовательских работ и в учебном процессе нефтегазового факультета.

7. Замечания и вопросы по работе

Замечаний принципиального характера нет.

Замечания редакционного характера

1. С.31. Методика приготовления ингибирующих составов на примере водного раствора NH_4Cl / ПВП / КМЦ / ПГМГ с заданной плотностью 1050 кг/м^3 , п.3:

«Отбор необходимой массы ПВП и КМЦ в сухом виде. Перемешивание ПВП и КМЦ в химическом стакане, затворение смеси небольшим количеством теплой воды».

– Представляется, что методика должна содержать ориентиры по значению времени перемешивания компонентов и «небольшому» количеству воды.

2. С. 32 и далее по тексту встречается обозначение «Мпа» вместо «МПа».

3. Общее замечание к стилю изложения методик: «Методика определения термодинамических свойств ингибиторов» (с. 34, п 2.3) и «Методика определения кинетических свойств ингибиторов» (с. 36, п. 2.4).

– Стиль изложения методик – повествовательный, а не по пунктам (в виде четкого пошагового алгоритма).

4. С. 54 диссертации. При получении математической модели на основе уравнения Клапейрона-Клаузиуса автор получает формулу (3.9):

$$dP/dT = LP/RT^2, \quad (3.9)$$

и далее использует выражение:

«По формуле (3.10) получаем:

$$dP/P = (LR/T^2)dT. \quad (3.10). \gg$$

– Математически верно использовать выражение «Разделяя переменные в выражении (3.9), получаем формулу (3.10)».

Вопросы

1. В работе автор рассматривает технологические жидкости с плотностью 1050 кг/м^3 . Как изменяются свойства технологической жидкости при другой заданной плотности?

2. Каковы границы применимости разработанного состава ингибирующей технологической жидкости по давлению и температуре?

Вышеизложенные замечания не снижают общей положительной оценки и ценности диссертационной работы, а также значимости выполненных автором исследований.

8. Заключение по диссертации

Диссертация «Обоснование и разработка состава ингибирующей технологической жидкости для освоения газовых скважин в условиях гидратообразования», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.2. Технология бурения и освоения скважин, полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор **Лаврик Анна Юрьевна** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.2. Технология бурения и освоения скважин.

Официальный оппонент,
профессор кафедры строительства нефтяных и газовых скважин
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
доктор технических наук по специальности 25.00.15 – Технология
бурения и освоения скважин



Подпись Федоровой Натальи Григорьевны заверяю

Сведения об официальном оппоненте:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»

Почтовый адрес: 355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1.

Официальный сайт в сети Интернет: <https://ncfu.ru/>

эл. почта: fng8@mail.ru

телефон: (8652) 33-04-32, 52-60

Фёдорова Наталья Григорьевна

ПОДПИСЬ
УДОСТОВЕРЯЮ

И.О. начальник Управления
делами СКФУ
Н.Н. Голованов
01.07.2021г.

ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮЩАЯ
начальник отдела по
работе с сотрудниками УКА



Г. Г. ГОРБАЧЕВА