

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Калинина Станислава Александровича на тему «Повышение эффективности извлечения сверхвязкой нефти путем воздействия на пласт теплоносителем и диоксидом углерода», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.4 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

Актуальность темы. В настоящее время, в России более половины всех запасов нефти относятся к категории трудноизвлекаемых, значительная часть которых приходится на высоковязкие и сверхвязкие нефти (СВН) и природные битумы (ПБ). Разработка залежей с такими запасами ведется с применением тепловых методов увеличения нефтеотдачи (МУН). Однако, сложные геолого-физические условия залегания залежей СВН и связанные с ними физические ограничения снижают эффективность применения тепловых МУН. Рядом исследований установлено, что комбинация теплового и газового воздействия позволяет повысить эффективность извлечения СВН. В связи с этим, изучение особенностей технологии комбинированного воздействия и разработка методической базы для выполнения исследований является одной из актуальных задач.

Диссертационная работа посвящена научному обоснованию повышения эффективности извлечения запасов СВН путем реализации комбинации теплового и газового воздействия, а также разработке методических и технико-технологических решений для выполнения лабораторных исследований и изучения комбинированного воздействия теплоносителем и диоксидом углерода.

Научная новизна и практическая значимость исследований. В диссертации Калининым С.А. представлены результаты, обладающие научной новизной:

- разработаны методики и усовершенствована техника экспериментального изучения комбинированных методов извлечения СВН, основанных на тепловом и газовом воздействии на пласт;
- научно обоснована возможность повышения эффективности разработки трещиновато-порово-кавернозного коллектора с низкой пластовой температурой, насыщенного СВН, при комбинированном воздействии на пласт теплоносителем и диоксидом углерода за счет вовлечения в более активную разработку матричной зоны пласта;

- разработана методика определения оптимальных условий реализации комбинированного воздействия на залежи СВН, основанная на результатах лабораторных и численных экспериментов на линейных моделях пласта;

- установлены оптимальные условия, при которых достигается наибольшая эффективность реализации комбинированного воздействия теплоносителем и диоксидом углерода в условиях пермо-карбоновой залежи Усинского месторождения.

Практическая значимость диссертационной работы заключается:

- в разработанных автором методических и технико-технологических решениях, которые нашли применение при выполнении лабораторных исследований в рамках технико-экономической оценки проектов по закачке газов в пласт с целью повышения нефтеотдачи и утилизации парниковых газов;

- в разработанной методике определения оптимальных условий реализации комбинированного воздействия, которая позволяет сократить трудозатраты при выборе оптимального варианта реализации проекта.

Степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе, подтверждается:

- анализом результатов лабораторных и опытно-промышленных исследований технологий воздействия на залежи сверхвязкой нефти в карбонатных коллекторах с применением чистого диоксида углерода и диоксида углерода в комбинации с паром;

- проведением большого объема лабораторных исследований, выполненных на современном лабораторном оборудовании, с использованием реального кернового материала и газонасыщенных моделей сверхвязкой нефти;

- апробацией полученных результатов исследований на семинарах и конференциях российского и международного уровней;

- публикацией основных результатов исследований в изданиях, рекомендованных для публикаций основных научных результатов диссертационных исследований на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, в издании, индексируемом в базе данных Scopus;

- практическим внедрением результатов исследований (получен акт внедрения Филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми.).

Рекомендации по использованию результатов диссертации.

Методические и технико-технологические решения, разработанные автором, а также методика определения оптимальных условий комбинированного воздействия на залежи СВН теплоносителем и диоксидом углерода могут быть использованы при выполнении научно-исследовательских работ на этапе лабораторного изучения технологий воздействия на залежи и поиска оптимального варианта реализации проекта.

Краткая характеристика основного содержания диссертации.

Диссертационная работа Калинина С.А. включает в себя введение, четыре главы, заключение и список использованных источников, включающий 111 наименований. Работа включает в себя 59 рисунков и 26 таблиц и изложена на 147 страницах машинописного текста.

Во введении приводится обоснование актуальности темы диссертационной работы; формулируется цель и задачи работы; характеризуется степень научной новизны полученных результатов и их апробация; выполнена оценка практической значимости работы; сформулированы защищаемые положения.

В первой главе приводится обзор современного состояния изученности комбинированного воздействия теплоносителями и диоксидом углерода на залежах СВН. Выполнен анализ результатов экспериментальных, численных и опытно-промышленных исследований технологий с применением диоксида углерода совместно с теплоносителем. Показано, что в мировой практике чистый диоксид углерода использовался только лишь на 6 карбонатных залежах высоковязких и сверхвязких нефтей, с геолого-физическими характеристиками, близкими к характеристикам пермо-карбоновой залежи Усинского месторождения. Комбинированное воздействие теплоносителем и диоксидом углерода практически не применялось на подобных залежах.

Вторая глава посвящена описанию используемого лабораторно-методического комплекса и разработанным технико-технологическим решениям для выполнения экспериментальных исследований технологий, основанных на совместном использовании теплоносителей и газов. Для выполнения лабораторных исследований автором предлагаются решения в части подготовительных работ (методика подготовки газовых смесей в качестве газовых агентов, методический прием для ускорения процесса

подготовки рекомбинированной модели сверхвязкой нефти) и в области техники и технологии выполнения исследований (предложена специальная гидравлическая схема фильтрационной установки, позволяющая проводить два независимых эксперимента одновременно; предложено решение задачи измерения объемов флюидов при выполнении фильтрационных экспериментов, основанное на использовании поршневых расходомеров низкого давления в конструкции фильтрационной установки). На основе предложенных методических и технико-технологических решений автором разработана методика лабораторных исследований комбинированного воздействия теплоносителем и диоксидом углерода.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований с целью научного обоснования повышения эффективности разработки глубокозалегающих сложнопростроенных карбонатных залежей СВН с низкой пластовой температурой путем комбинированного воздействия теплоносителем и диоксидом углерода. Комплекс лабораторных исследований пластовых флюидов и фильтрационных экспериментов на керновых и насыпных (slim-tube) моделях пласта при различных термобарических условиях позволил обосновать возможность повышения эффективности разработки карбонатной залежи сверхвязкой нефти путем комбинированного воздействия теплоносителем и CO_2 за счет вовлечения в более активную разработку матричной части пласта, в которой сосредоточены основные запасы нефти.

В четвертой главе диссертации описывается методика определения оптимальных условий комбинированного воздействия на пласт сверхвязкой нефти теплоносителем и диоксидом углерода, основанная на комплексировании лабораторных исследований с применением линейных моделей пласта и гидродинамического моделирования. С применением разработанной методики для условий пермо-карбонтовой залежи Усинского месторождения установлены оптимальные условия комбинированного воздействия на пласт теплоносителем и диоксидом углерода.

Замечания по работе

К содержанию диссертационной работы могут быть сделаны следующие замечания:

1. Автор пишет что «сформулирована методология...». Наверное, это смело сказано, лучше говорить о разработанных автором методиках и методах.

2. Автор не указал объект исследования, что не позволяет оценить класс коллекторов (на стр.5 автор указывает «трещинно-порово-кавернозные коллектора» карбонатного типа) и типы залежей для реализации

предложений автора. Скорее всего, результаты могут быть использованы для любого типа коллектора со сверхвязкой нефтью (эксперименты выполнены на насыпных моделях с применением кварцевого песка).

3. Задача №4 звучит так: «Разработка методики определения оптим.условий ...», а в выводах она становится экспресс-методикой.

4. Стр.11 автореферата. На рис.3 (рис.3.12. диссертации) приведена зависимость $K_{выт}$ нефти (вязкости 710 мПа*с) при закачке CO_2 в объеме $1,2 \cdot V_{пор}$, которая подтверждает эффективность данной технологии. Опыты проведены на слим-модели, наполненной кварцевым песком. Не понятен критерий режима вытеснения нефти газом: смешивающееся при $K_{выт} > 0,9$ д.ед., несмешивающееся при $K_{выт} < 0,6$ д.ед!!! Наверное лучше использовать T и P , а также количество растворенного CO_2 в нефти (см.рис.1 на стр.10 автореферата или рис.2.9 на стр.64 диссертации).

5. Стр.12 Автореферата (стр.89 диссертации). Эксперименты по определению $K_{выт}$ на кернах также подтверждают эффективность вытеснения нефти горячей водой, а также CO_2 . Однако теория эксперимента «хромает», так как не понятна логика градации по температурам (от 23 до 35 град. С - прирост +7 град.С; от 35 до 150 град.С – прирост 115 град.С; от 150 до 200 град.С – прирост 50 град.С), и градации по давлениям: 8,5~10~12 МПа. (Может быть это связано с критической точкой CO_2 : $T_{кр}=31,1$ град.С, $P_{кр}=7,38$ МПа). В отличие от экспериментов на слим-модели, в данном случае опыты сделаны для некоторых условий (см.таблица 1).

Таблица 1. Матрица планирования экспериментов

T, град.С \ P, МПа	8,5	10	12
23	+	-	-
35	+	-	-
150	+	-	-
200	-	+	+

Причем, проведенные эксперименты не позволяют проследить динамику изменения $K_{выт}$ от температуры и давления!!!

6. Стр.15 автореферата. На рис.7 приведены функции ОФП. Автор принял $K_{он}=0,15$ при $T=200$ град.С, $K_{он}=0,25$ при $T=150$ град.С, $K_{он}=0,80$ при $T=35$ град.С. Что соответствует $K_{выт}$ от 0 до 0,81!!! Такого в экспериментах не было.

T, град.С	$K_{он}$	$K_{нн}$	$K_{выт}=(K_{нн}-K_{он})/K_{нн}$
35	0.78	0.78	0.00
150	0.25	0.78	0.68
200	0.15	0.78	0.81

7. К недостаткам работы можно отнести отсутствие ссылки новейшие исследования в диссертации Радаева Андрея Викторовича, приведены данные по Квыт газом CO_2 , подтверждающие результаты автора. (см. «Теплофизические основы применения сверхкритических флюидных систем для увеличения и интенсификации нефтеотдачи пластов». 1.3.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника», 2.8.4 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений». Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Казань, 2022).

8. Стр.135 диссертации, стр.17 автореферата. В табл.4.10 приведен технико-экономический расчет выбора оптимальных условий воздействия. Если мы сравним значение удельной прибыли (П.уд) для «оптимального варианта» ($T=65$ град.С), равное 0,84 и крайние значения при $T=35$ град.С (П.уд = 0,789) и $T=200$ град С (П.уд =0,823), то расхождение составит (-6%) и (-2%), соответственно. При этом ошибка технологического расчета составляет, обычно $\pm 10\%$. Может быть следовало выбрать технологические критерии (например, Квыт, КИН и др.)?

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования Калинина С.А.

Заключение

В целом диссертация Калинина С.А. является завершенной научной работой. Результаты и выводы, сформулированные в диссертации, соответствуют цели и задачам исследования. Диссертация написана грамотным научным языком. Содержание автореферата диссертации соответствует основным положениям, выводам и содержанию диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Калинина С.А. на тему «Повышение эффективности извлечения сверхвязкой нефти путем воздействия на пласт теплоносителем и диоксидом углерода», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений, соответствует требованиям раздела 2 «Порядка присуждения учёных степеней в ПНИПУ» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», принятого на заседании Учёного совета ПНИПУ, протокол №3 от 25 ноября 2021 г. и утверждённого ректором ПНИПУ 09.12.2021 г., а её автор – Калинин Станислав Александрович – заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Профессор кафедры «Разработка и эксплуатация
нефтяных и газовых месторождений»,
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный
университет», доктор технических наук
(25.00.17 - Разработка и эксплуатация
нефтяных и газовых месторождений)

Мулявин
Семен Федорович

«18» ноября 2022 г.

Я, Мулявин Семен Федорович, даю согласие на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Контактные данные:

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»
Институт геологии и нефтегазодобычи
625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 70
Тел.: +7 (912)9227504
E-mail: muljavinsf@tyuiu.ru



Мулявин С.Ф.
вед. общего отдела ТИУ
Мулявин С.Ф.
11.2022