

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук
Перминова Анатолия Викторовича

на диссертационную работу Лысаковой Евгении Игоревны
«**ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК НАНОЧАСТИЦ НА ТЕЧЕНИЯ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ**»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности

1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы

Целью диссертационной работы Лысаковой Е.И. является «систематическое исследование влияния добавок наночастиц различного размера, концентрации и материала на свойства буровых растворов на водной основе и характеристики их течений». Для достижения поставленной цели в ходе работы: исследовано влияние добавок наночастиц на коэффициенты вязкости и реологические свойства буровых растворов; изучено влияние добавок наночастиц на фильтрацию буровых растворов на водной основе; разработана методика численного моделирования многофазных течений буровых растворов с добавками наночастиц в скважинах, на основе которой выполнено моделирование течений буровых растворов и выяснено влияние наночастиц на эффективность выноса шлама из скважин.

В ходе работы впервые экспериментально: показана зависимость реологических параметров буровых растворов, модифицированных наночастицами от их размеров и материала; доказано, что добавка наночастиц изменяет вязкие и упругие свойства буровых растворов; выяснено, что основной причиной снижения фильтрационных потерь буровых растворов при добавке наночастиц является коагулирование наночастицами пор в фильтрационной корке. **Впервые установлено,** что фильтрационные потери буровых растворов зависят от соотношения концентраций микро- и наночастиц, а также от соотношения между размерами микро- и наночастиц и порами фильтра. На основе численных расчетов созданы **новые методики** повышения эффективности выноса шлама, движущимся в скважине буровым раствором модифицированным наночастицами.

Добавки наночастиц в буровые растворы прежде всего влияют на их реологические свойства. С помощью добавок наночастиц можно так же влиять на процессы фильтрации бурового раствора, понижать коэффициент трения буровой трубы о стенки скважины или предотвращать прихват буровой колонны. Наночастицы оказывают гораздо более сильное влияние на свойства буровых растворов, чем микроскопические частицы, однако, систематических исследований влияния наночастиц на свойства буровых растворов практически не проводилось. Результаты исследований, описанные в литературе, не позволяют достоверно судить о влиянии концентрации, размера и вида наночастиц на основные свойства буровых растворов и их течения в скважине. Систематическое изучение влияния добавок наночастиц на реологию и течения буровых растворов является весьма **актуальной задачей**, особенно с точки зрения **практических приложений**.

На основании результатов работы можно сформулировать обоснованные рекомендации по **практическому применению** наночастиц для усовершенствования свойств буровых растворов на водной основе. **С теоретической точки зрения** весьма полезными являются результаты, которые описывают зависимость реологических и фильтрационных свойств, а также характеристик течений буровых растворов от концентрации, размера, материала наночастиц и температуры раствора. **Теоретическая и практическая значимость** работы заключается в разработке новой методики описания течения буровых растворов на водной основе с добавкой наночастиц в скважинах с различным углом наклона.

Обоснованность и достоверность результатов обеспечивается использованием поверенных измерительных приборов, современных аппаратных и программных средств обработки данных, сопоставлением и согласованием полученных результатов с

известными из литературы данными, использованием физически обоснованных математических моделей и результатами их тестирования и сопоставления с известными решениями и экспериментами.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 134 наименований. Материал изложен на 148 страницах, содержит 86 рисунков и 5 таблиц.

Во **введении** обосновывается актуальность и степень разработанности темы исследования, формулируется цель, ставятся задачи работы, отражается научная новизна и практическая значимость представляемой работы, перечислены положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** приводится анализ современного состояния исследований влияния наночастиц на свойства буровых растворов. В данной главе показано, что изучение свойств буровых растворов с наночастицами является очень **перспективной и актуальной** задачей для разработки **экономически эффективного и экологически устойчивого** бурового раствора.

Во **второй главе** приведено описание методики приготовления бурового раствора, модифицированного наночастицами. Для проведения систематических лабораторных исследований по созданию рецептур новых буровых растворов на водной основе с добавкой наночастиц и исследования их физико-химических свойств использовано современное оборудование высокого качества, соответствующее международным стандартам.

В **третьей главе** изучено влияние наночастиц на реологические свойства буровых растворов на водной основе. Было установлено, что добавка наночастиц в буровые растворы значительно меняет их реологические характеристики. Показано, что с увеличением концентрации и уменьшением размера наночастиц эффективная вязкость возрастает. Влияние наночастиц начинается с очень малых концентраций, которые практически не меняют плотность бурового раствора. Для описания реологии буровых растворов с различными концентрациями и размерами наночастиц необходимо применять различные реологические модели. Исследована зависимость реологических параметров моделей Шведова-Бингама, Освальда де Вале и Гершеля-Балкли от концентрации и размера наночастиц. В главе приведены экспериментальные данные температурной зависимости эффективной вязкости буровых растворов на водной основе, модифицированных наночастицами. Измерения вязкости выполнены в диапазоне температур от 25 до 80 °С. Установлено, что повышение температуры приводит к повышению эффективной вязкости базовой глинистой суспензии более чем в 10 раз, а у модифицированных наночастицами глинистых растворов вязкость с ростом температуры повышается менее существенно. При всех рассмотренных температурах уменьшение размера наночастиц приводит к росту эффективной вязкости буровых растворов. В конце главы проведен анализ влияния наночастиц на микро-реологию буровых растворов. Показано, что с увеличением температуры значительно сокращается время, за которое частицы раствора образуют гелевую структуру.

В **четвертой главе** изложены результаты экспериментального исследования влияния наночастиц на фильтрационные свойства буровых растворов на водной основе. Проанализирована зависимость фильтрационных характеристик от концентрации и размера микрочастиц, а также от проницаемости керна. Вначале главы было исследовано влияние концентрации наночастиц на фильтрационные свойства буровых растворов. Показано, что добавление наночастиц в определенной концентрации приводит к положительному результату, т.е. снижению фильтрационных потерь бурового раствора. Далее установлено, что с уменьшением размера наночастиц фильтрационные потери бурового раствора также монотонно снижаются. **Впервые** установлено, что влияние наночастиц на фильтрационные потери буровых растворов зависит от концентрации микрочастиц и размеров пор фильтра.

В **пятой главе** изложены результаты численных расчетов течений буровых растворов в модельной скважине с различным углом её наклона, а также результаты исследования влияния нанодобавок на эффективность выноса шлама буровыми растворами. Численные расчеты показали, что в вертикальных скважинах транспорт частиц шлама преимущественно осуществляется в режиме гомогенной суспензии, в горизонтальных – в виде гранулированного слоя. С ростом угла наклона скважины концентрация шлама у нижней её стенки увеличивается и при угле наклона около 45 градусов достигает плотной упаковки. Для горизонтальной скважины большая часть частиц шлама осаждается в плотноупакованный слой, который движется существенно медленнее, чем основной поток. Добавление наночастиц в буровой раствор существенно сказывается на качестве промывки скважины от шлама. Увеличение эффективности выноса шлама при добавке наночастиц обусловлено уплощением и уширением профиля скорости в канале. Такое изменение профиля скорости связано с усилением вязкопластических свойств жидкости при увеличении концентрации и уменьшении размера наночастиц.

В заключении приводятся основные результаты, полученные в диссертационной работе.

К **достоинствам диссертации** следует отнести, приведенный автором, литературный обзор. Все задачи, представленные в диссертации, имеют ясную формулировку. Результаты экспериментов и численные решения подробно проанализированы, из них выделены основные положения, которые лаконично сформулированы в конце каждой главы и в заключении к диссертации. Диссертант показал хорошее владение современными методами натурального и численного эксперимента. Результаты, полученные в диссертации, имеют несомненную теоретическую и практическую значимость, могут быть полезны при проектировании, бурении и эксплуатации скважин.

К работе можно высказать ряд **замечаний**.

1. В тексте диссертации часто встречаются утверждения типа «введение нанотрубок оптимизировало пластическую вязкость» или наночастицы «улучшают реологию растворов». Не понятно, что автор имеет ввиду? Оптимизировано и улучшено по сравнению с чем? Что значит улучшить реологию? Можно изменить в ту или иную сторону реологические параметры или свойства жидкости для того, чтобы достигнуть того или иного эффекта. Следует более точно формулировать мысль.
2. В диссертации в целом изучается достаточно большое количество различных по составу буровых растворов. В главе 2 описаны материалы и методы их приготовления. Не понятно, обладают ли эти материалы и методы уникальностью, т.е. новизной. В пункте «личный вклад» говорится, что автор диссертации совместно с Неверовым А.Л. проводил разработку рецептур буровых растворов. В начале главы 3 говорится об экспериментальном исследовании «разработанных буровых растворов» с наночастицами в количестве более чем 40 штук. Почему в диссертации, например после второй главы, не представлена сводная таблица с хотя бы общими характеристиками разработанных и/или использованных в работе буровых растворов? Если действительно разработаны и изучены новые рецептуры буровых суспензий, то это является существенным практическим результатом работы.
3. В главе 2 рисунки 2.1, 2.2 и 2.3 описаны очень лаконично. При этом фрагменты, обозначенные литерой «б» на этих рисунках, в тексте диссертации не обсуждаются совсем.
4. В пункте 3.1 третьей главы на рисунках 3.1 – 3.4 представлен ряд экспериментальных зависимостей, аппроксимированных реологическими законами Освальда-де-Вилля, Шведова-Бингама и Гершеля-Балкли. При использовании каждого из указанных реологических законов необходимо определить набор эмпирических констант, которые следовало бы указать, например, в виде таблицы рядом с рисунками. В главе

- 3 кроме концентрации и размеров наночастиц исследуется влияние температуры на реологические свойства буровых растворов. Поэтому уместно было бы указать, при каких температурах получены графики на рисунках 3.1 – 3.13. Что автор имеет ввиду под термином «комнатная температура»?
5. Глава 5 посвящена численному моделированию частиц шлама в потоке бурового раствора. Решается сопряженная задача, основанная на математических моделях движения твердых частиц шлама и движения жидкости – бурового раствора. В пункте 5.1 достаточно подробно описаны уравнения движения частиц шлама. О гидродинамической модели движения бурового раствора на стр. 104 сказано, что «В общем случае рассматривалось турбулентное течение бурового раствора. Для моделирования турбулентности использовалась двухпараметрическая $k-\omega$ SST модель». На каком основании течение бурового раствора в принципе считалось турбулентным? Всегда ли оно турбулентное? Например, в п. 5.3 заявляется, что «рассмотрено установившееся ламинарное течение». Каковы основания для выбора именно такой модели турбулентности? Почему, хотя бы в общем виде, не представлены уравнения движения жидкости и соответствующие граничные условия? Без описания математической модели движения жидкой фазы, т.е. бурового раствора, постановка задачи выглядит не полной.
6. Для численного моделирования диссертантом был выбран пакет ANSYS Fluent, где для аппроксимации уравнений движения используется метод конечных элементов. Для характеристики расчетной сетки в рамках этого метода более корректно указывать количество элементов (ячеек) сетки, нежели количество узлов. Каковы были основания для выбора той или иной расчетной сетки? Проводился ли анализ сходимости решения при сгущении расчетной сетки?

Приведенные замечания не снижают **общего положительного впечатления** от работы. Автореферат отражает содержание диссертации.

Закключение. Диссертационная работа Лысаковой Евгении Игоревны выполнена на хорошем научном уровне, она представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям. Лысакова Евгения Игоревна заслуживает присуждения степени **кандидата физико-математических наук** по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Доктор физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой общей физики факультета Прикладной математики и механики ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, а. 251,
paw@pstu.ru, +7 (342) 2-198-025

Перминов Анатолий Викторович
27.02.2023

Я, Перминов Анатолий Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку



Подпись

Перминов А. В.

ЗАВЕРЯЮ:

Ученый секретарь ПНИПУ

В.И. Макаревич

27 02 23