

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.036.01 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ  
ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
(ФИЛИАЛ – ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД)  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 16.03.2023 № 113

О присуждении Лысаковой Евгении Игоревне, гражданке России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

**Диссертация** «Влияние добавок наночастиц на течения буровых растворов» по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите 12.01.2023, протокол № 112, диссертационным советом Д 004.036.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр (филиал – Институт механики сплошных сред) Уральского отделения Российской академии наук, 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, д. 1, утвержденным приказом Минобрнауки России № 87/нк от 26 января 2018.

**Соискатель** Лысакова Евгения Игоревна 1990 г. рождения, в 2013 г. с отличием окончила магистратуру ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» (СФУ), г. Красноярск, по направлению «Ядерная энергетика и теплофизика». В 2018 г. окончила аспирантуру очной формы обучения ФГАОУ ВПО СФУ по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника. В настоящее время работает старшим преподавателем кафедры бурения нефтяных и газовых скважин ФГАОУ ВПО СФУ.

**Научный руководитель** – д.ф.-м.н., директор Института инженерной физики и радиоэлектроники ФГАОУ ВО СФУ Минаков Андрей Викторович.

**Официальные оппоненты:**

1. Борзенко Евгений Иванович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры прикладной газовой динамики и горения ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский Томский государственный университет", г.Томск;
2. Перминов Анатолий Викторович, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой общей физики ФГАОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет", г. Пермь;

дали положительные отзывы на диссертацию

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова" (АлтГТУ), г. Барнаул, в своем положительном заключении, составленным д.ф.-м.н., профессором Полетаевым Г.М., заведующим кафедрой высшей математики; д.ф.-м.н., профессором Пышнограем Г.В., профессором кафедры высшей математики, ведущим научным сотрудником научного направления АлтГУ, и утвержденном ректором АлтГТУ, д.т.н., профессором Марковым А.М., указала, что диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу в области систематического исследования влияния добавок наночастиц различного размера, концентрации и материала на свойства буровых растворов на водной основе и характеристики их течений. Работа имеет существенное значение для развития знаний в

области разработки отечественных буровых растворов нового поколения с целью оптимизации процессов строительства нефтегазовых скважин и снижения экологической нагрузки при использовании стандартных буровых растворов, что подтверждает наличие в исследовании обоснованных технологических решений, имеющих существенное значение для развития страны. Представленная диссертационная работа «Влияние добавок наночастиц на течения буровых растворов» удовлетворяет требованиям Положения «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Лысакова Евгения Игоревна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

**Соискателем опубликовано** 15 статей в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК:

1. Minakov A.V., Pryazhnikov M.I., **Mikhienkova E.I.**, Voronenkova Y.O. Systematic experimental study of the temperature dependence of viscosity and rheological behavior of water-based drilling fluids with nano-additives [Electronic resource] // Petroleum. – 2022. – <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2022.03.001>.

*Экспериментально исследовано влияние добавки наночастиц различного состава и размера на температурную зависимость вязкости и реологии буровых растворов на водной основе.*

2. Minakov A.V., **Mikhienkova E.I.**, Neverov A.L., Rudyak V.Y. Comprehensive numerical study of the effect of nanoparticle additives on the cutting transport performance in horizontal boreholes // Computational Design and Engineering. – 2021. – V. 8, I. 1. – P. 283-297.

*Численно исследовано влияние добавок наночастиц разного состава и размера на потери давления и эффективность выноса шлама из горизонтальной скважины.*

3. Pryazhnikov M.I., **Mikhienkova E.I.**, Minakov A.V., Litvinenko V. Rheological and microrheological study of microsuspension with nanodiamonds // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. – 2019. – V. 2 – P. 883-887.

*Экспериментально исследовано влияние наночастиц на реологию и вязкоупругие свойства глинистых буровых растворов.*

4. Минаков А.В., **Михиенкова Е.И.**, Неверов А.Л., Матвеев А.В. Экспериментальное исследование антифрикционных свойств буровых растворов с наночастицами // Трение и износ. – 2019. – Т. 40, № 5. – С. 545-552.

*Экспериментально исследовано влияние добавки наночастиц различного состава и размера на коэффициент трения буровых растворов на водной основе.*

5. Minakov A.V., **Mikhienkova E.I.**, Voronenkova Y.O., Neverov A.L., Zeer G.M., Zharkov S.M. Systematic experimental investigation of filtration losses of drilling fluids containing silicon oxide nanoparticles // Natural Gas Science and Engineering. – 2019. – V.71. – P. 102984.

*Экспериментально исследована фильтрационная способность буровых растворов на водной основе с добавками наночастиц оксида кремния.*

6. Minakov A.V., Zhigarev V.A., **Mikhienkova E.I.**, Neverov A.L., Buryukin F.A., Guzei D.V. The effect of nanoparticles additives in the drilling fluid on pressure loss and cutting transport efficiency in the vertical boreholes // Petroleum Science and Engineering. – 2018. – V. 171. – P. 1149-1158.

*Численно исследовано влияние добавок наночастиц разного состава и размера на потери давления и эффективность выноса шлама из вертикальной скважины при ламинарном режиме течения.*

7. Минаков А.В., **Михиенкова Е.И.**, Неверов А.Л., Бурюкин Ф.А. Экспериментальное исследование влияния добавки наночастиц на реологические свойства суспензии // Письма в журнал технической физики. – 2018. – Т. 44, № 9. – С. 3-11.

*Экспериментально исследованы реологические свойства суспензий глинистых частиц с добавками наночастиц оксидов кремния, алюминия и титана.*

8. Минаков А.В., **Михиенкова Е.И.**, Жигарев В.А., Неверов А.Л. Экспериментальное исследование влияния добавки наночастиц на фильтрационные свойства микросуспензии // Письма в журнал технической физики. – 2018. – Т. 44, № 12. – С. 62-67.

*Экспериментально исследована фильтрация микросуспензий с добавками наночастиц оксида кремния через пористую среду с различной проницаемостью.*

9. Минаков А.В., **Михиенкова Е.И.**, Жигарев В.А., Неверов А.Л., Рудяк В.Я. Исследование влияния добавки наночастиц на свойства буровых растворов // Коллоидный журнал. – 2018. – Т. 80, № 4. – С. 435-444.

*Экспериментально исследовано влияние добавки наночастиц различного состава и размера на реологию, фильтрационные потери и смазывающую способность буровых растворов.*

10. **Mikhienkova E.I.**, Minakov A.V., Matveev A.V., Pryazhnikov M.I. Experimental study of temperature dependence of drilling fluids viscosity with nanoparticle // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – V. 1359. – P. 012110.

*Экспериментально исследована зависимость вязкости бурового раствора на водной основе, модифицированного наночастицами, от температуры.*

11. Pryazhnikov M.I., **Mikhienkova E.I.**, Minakov A.V., Rudyak V.Y. Investigation of temperature dependence of drilling mud viscosity with silica nanoparticles addition // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – V. 1385, I. 1. – P. 12038.

*Экспериментально исследовано влияние добавки наночастиц оксида кремния на реологию бурового раствора на водной основе при различных температурах.*

12. **Mikhienkova E.I.**, Minakov A.V., Neverov A.V. The effect of nanoparticles addition on the properties of polymer weighted drilling fluid // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – V. 272. – P. 022208.

*Экспериментально исследовано влияние наночастиц оксида кремния на свойства полимерных буровых растворов, утяжеленных баритом.*

13. **Mikhienkova E.I.**, Minakov A.V., Zhigarev V.A. The effect of nanoparticles additives on filtration properties of drilling muds with microparticles // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – P. 012127.

*Экспериментально исследовано влияние наночастиц на фильтрацию глинистых суспензий через пористую среду.*

14. Zhigarev V.A., Minakov A.V., Guzei D.V., **Mikhienkova E.I.** The effect of the nanoparticles addition on the pressure drop in the annular channel // Journal of Physics: Conference Series. – 1105. – 2018. – P. 012077.

*Численно исследовано влияние добавки наночастиц на течение бурового раствора в кольцевом канале с различным соотношением диаметров и эксцентриситета.*

15. **Mikhienkova E.I.**, Neverov A.L., Matveev A.V., Zhigarev V.A., Kudryavcev I.V. Investigation of the additive effect of nanoparticles on the hydrodynamic characteristics of drilling fluids // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – V. 899. – P. 17426588.

*Экспериментально исследовано влияние наночастиц на реологические и фильтрационные характеристики глинистых суспензий на водной основе.*

Публикации содержат в сумме 133 страниц и в полной мере отражают основные научные результаты работы. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в тексте диссертации отсутствуют.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы:** от оппонентов и ведущей организации.

1. Положительный отзыв официального оппонента Борзенко Е.И. В отзыве представлен анализ содержания диссертации, отмечается новизна, практическая значимость и степень разработанности темы исследования; отмечены обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Оппонент отмечает следующие замечания по диссертации и автореферату:

- замечание по поводу доверительного интервала на графиках с результатами экспериментальных измерений;
- вопрос по механизму изменения реологических характеристик растворов при добавлении в них наноразмерных частиц;
- замечание об отсутствии описания тестом на аппроксимационную сходимость расчетной сетки;
- вопрос по расчетам, иллюстрирующим вынос шлама;
- замечание о ряде не очень удачных выражений и словосочетаний.

2. Положительный отзыв официального оппонента Перминова А.В. В отзыве отмечено, что систематическое изучение влияния добавок наночастиц на реологию и течения буровых растворов является весьма актуальной задачей. 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 систематически описывают зависимость реологических и фильтрационных свойств, а также характеристик течений буровых растворов от концентрации, размера, материала наночастиц и температуры раствора. Оппонент отмечает следующие замечания:

- замечание относительно формулирования некоторых утверждений по улучшению свойств буровых растворов при введении в них наночастиц;
- рекомендация представления рецептур всех рассмотренных буровых растворов в единой таблице;
- замечание об отсутствии описания в тексте диссертации некоторых представленных иллюстраций;
- рекомендация представления реологических параметров буровых растворов в единой таблице, а также вопрос по величине комнатной температуры;
- вопрос о выборе модели турбулентности, уравнении движения жидкой фазы и граничных условиях;
- вопрос о выборе расчетной сетки и анализе сходимости решения.

3. Положительный отзыв ведущей организации ФГБОУ ВО АлтГТУ. В отзыве отмечается, что диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится систематическое исследование влияния добавок наночастиц различного размера, концентрации и материала на свойства буровых растворов на водной основе и характеристики их течений. Работа имеет существенное значение для развития знаний в области разработки отечественных буровых растворов нового поколения с целью оптимизации процессов строительства нефтегазовых скважин и снижения экологической нагрузки при использовании стандартных буровых растворов, что подтверждает наличие в исследовании обоснованных технологических решений. Ведущая организация отмечает следующие замечания:

- вопрос по требованиям, предъявляемым к буровым растворам;
- вопрос по аномальному поведению реологических параметров для раствора с добавкой 10 нм наночастиц;
- замечание об утверждении, что бингамовские жидкости можно рассматривать как ньютоновскую среду с переменной вязкостью;
- вопрос по граничным условиям для скорости, давлений и напряжений, а также о направлении потока;
- вопрос о физическом смысле величины давления твердых частиц;
- вопрос об интерпретации величины распределения вероятности того, что одна частица твердой фазы коснется другой.

**На автореферат поступило 6 отзывов:**

1. Положительный отзыв от Белкина А.А., д.ф.-м.н., доцента, заведующего кафедрой теоретической механики ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (СИБСТРИН)», г. Новосибирск (3 замечания);
2. Положительный отзыв от Борисова К.И., д.т.н., профессора, профессора отделения нефтегазового дела школы природных ресурсов ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск (8 замечаний);
3. Положительный отзыв от Волкова В.Г., к.ф.-м.н., заместителя генерального директора по геологии и разработке ООО «РН-КрасноярскНИПИнефть», г. Красноярск (без замечаний);
4. Положительный отзыв от Ламосова М.Е., к.т.н., главного специалиста лаборатории сооружения скважин НЦ «Арктика» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», г. Санкт-Петербург (4 замечания);
5. Положительный отзыв от Стрижака П.А., д.ф.-м.н., профессора, профессора Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова, заведующего лабораторией тепломассопереноса ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск (3 замечания);
6. Положительный отзыв от Халикова А.А., заместителя начальника ЦДС Восточно Сибирского филиала ООО «РН-бурение», г. Красноярск (без замечаний).

**В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания:**

- вопрос о границах применимости разработанных методик;
- вопрос о причинах флуктуаций на графиках;
- рекомендация выделить эффекты совместного влияния изученных факторов на течения буровых растворов;

- рекомендация более ясно сформулировать тему, цель и задачи исследования;
- рекомендация более точной формулировки некоторых терминов и определений;
- рекомендация более представительного присутствия научных публикаций, подготовленных исключительно автором диссертации;
- вопрос по методике приготовления буровых растворов с наночастицами;
- рекомендация отобразить практическую значимость в заключении к диссертации;
- замечание по программному обеспечению, с помощью которого проводилось моделирование;
- рекомендация использования одной общей реологической модели для описания неньютоновского поведения бурового раствора;
- вопрос по оценке воздействия наночастиц на фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов;
- вопрос о механизме изменения профиля скорости.

В отзывах отмечено, что диссертация является законченным исследованием и представляет научный интерес, прошла достаточную апробацию, содержит новые результаты, достоверность которых обоснована, тема работы является актуальной, результаты имеют высокую научную ценность и большое прикладное значение.

Выбор оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

**официальные оппоненты** являются одними из ведущих специалистов в области физической гидродинамики, имеют большое число публикации с результатами теоретических и экспериментальных исследований в области течений многофазных сред и вязкопластичных жидкостей; обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов;

**ведущая организация** ФГБОУ ВО "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова", г. Барнаул, является одним из ведущих научных центров в области физической гидродинамики. Основные направления научной деятельности Университета: математические проблемы механики сплошных сред; физическая гидродинамика; физика конденсированного состояния; проблемы комплексного природопользования; комплексное использование сырья, создание ресурсосберегающих экономически безопасных технологий, машин и оборудования для их реализации. По данным направлениям Университет проводит фундаментальные исследования и участвует в разработке научных основ современной техники и технологии. В университете созданы три диссертационных совета по защите диссертаций на соискание степени кандидата и доктора физико-математических и технических наук. Университет выпускает печатные издания: научный журнал "Ползуновский вестник", входящий в перечень ВАК и национальную базу журналов Russian Science Citation Index (ядро РИНЦ), и журнал «Ползуновский альманах» - сетевое издание, индексируемое в РИНЦ SCIENCE INDEX. Отзыв ведущей организации, содержащий подробную, по главам, характеристику содержания диссертационной работы; высокую положительную оценку актуальности темы исследования, достоверности, новизны, теоретической и практической значимости изложенных результатов обсужден и одобрен на заседании кафедры высшей математики ФГБОУ ВО АлтГУ, протокол № 6 от 30.01.2023 г., в присутствии признанных авторитетных специалистов по теме защищаемой диссертации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** методика численного моделирования течений многофазных буровых растворов в скважинах, основанная на использовании эйлеровой модели гранулированных сред и экспериментально измеренных реологических характеристиках буровых растворов, модифицированных наночастицами;

**предложено** объяснение механизма, приводящего к снижению фильтрационных потерь буровых растворов на водной основе при введении в них наноразмерных частиц, обусловленного коагуляцией наночастицами пор в фильтрационной корке;

**доказано, что** влияние добавки наночастиц на эффективность выноса частиц шлама при течении буровых растворов в скважине обусловлено изменением формы профилей скорости и концентрации частиц в скважине, вызванным изменениями в реологии раствора при добавлении в него наночастиц;

**введена** новая методика создания модифицированных наночастицами буровых растворов на водной основе.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**Доказано,** что реологические параметры, фильтрационные свойства, характеристики и режимы течения буровых растворов, модифицированных наночастицами, в скважинах существенно зависят от концентрации, размера и химического состава наночастиц;

**Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов):**

**использован** комплекс численных методов изучения течения шлама и бурового раствора в затрубном пространстве с помощью модели двухфазного потока Эйлера;

**изложены** результаты экспериментальных исследований влияния наноразмерных добавок различного размера, концентрации и состава на реологические и фильтрационные свойства буровых растворов, в том числе при различной температуре;

**раскрыты** противоречия предшествующих подходов в исследовании влияния наночастиц на функциональные характеристики буровых растворов, характеристики и режимы их течения;

**изучено** влияние наночастиц на основные функциональные свойства буровых растворов на водной основе и характеристики их течений;

**проведена модернизация** алгоритмов численного моделирования течения буровых растворов в скважине с целью установления механизмов влияния добавки наночастиц на эффективность выноса частиц шлама при течении промывочных жидкостей в скважине с различным углом наклона.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработана и внедрена** новая методика регулирования параметров буровых растворов на водной основе с помощью введения в них наноразмерных добавок, взамен существующим дорогостоящим и экологически небезопасным реагентам, которые нужно вводить в большем количестве для достижения подобных функциональных свойств промывочной жидкости;

**определены** возможности применения наночастиц для усовершенствования основных функциональных свойств буровых растворов на водной основе. Полученные результаты

могут быть использованы в практических приложениях, так как значительные изменения свойств промывочных жидкостей наступают уже при введении очень низкой концентрации наночастиц, что не влияет на плотность бурового раствора и не влечет изменение гидростатического давления в скважине;

**создана** методика описания течения буровых растворов на водной основе с добавкой наночастиц в скважинах с различным углом наклона, с помощью которой было показано, что наночастицы способны увеличить эффективность выноса шлама и таким образом улучшить промывку скважины;

**представлены** рекомендации по применению результатов исследования для разработки рецептур буровых растворов и составления программ бурения при проектировании скважин.

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**теория** построена на известных приближениях и моделях гидродинамики;

**идея базируется** на анализе и обобщении имеющегося опыта исследования течений буровых растворов, модифицированных наночастицами;

**использовано** сопоставление полученных результатов с известными в литературе данными;

**установлено** соответствие результатов численного моделирования экспериментальным данным, относящимися к течению вязкопластичного бурового раствора, расчету перепада давления в кольцевом канале при движении неньютоновской жидкости, а также выносу шлама из горизонтальной трубы.

**использованы** проверенные измерительные приборы, современные аппаратные и программные средства для обработки данных, физически обоснованные математические модели и результаты их систематического тестирования и сопоставления с эталонными решениями и экспериментами.

**Личный вклад соискателя состоит в** проведении экспериментальных исследований свойств приготовленных буровых растворов с добавками наночастиц; проведении, обработке и анализе результатов экспериментов; проведении численного моделирования течения модифицированных буровых растворов на основе полученных в эксперименте данных; формулировке выводов; написании научных статей. Разработка и тестирование методики и математическое моделирование течения буровых растворов с наночастицами в скважине проводилась совместно с научным руководителем А. В. Минаковым. Совместно с А. Л. Неверовым проводилась разработка рецептур буровых растворов и постановка лабораторных экспериментов по исследованию их свойств.

**Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается** наличием последовательного плана исследования, концептуальности и взаимосвязи основных выводов.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует требованиям п. 9 "Положения о присуждении ученых степеней" № 842, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г.: в ней содержится результаты экспериментально обоснованного применения наночастиц для усовершенствования свойств буровых растворов на водной основе. Показано, что с

помощью добавок наночастиц можно управлять функциональными свойствами буровых растворов в очень широких пределах. Помимо этого, в диссертационной работе разработана новая методика для описания течения буровых растворов на водной основе с добавкой наночастиц в скважинах с различным углом наклона, с помощью которой было показано, что наночастицы способны увеличить эффективность выноса шлама и таким образом улучшить промывку скважины. Полученные результаты обладают существенной практической и теоретической значимостью и могут найти применение при проектировании скважин специалистами крупных нефтяных компаний.

На заседании 16 марта 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Лысаковой Е.И. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человека, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, дополнительно введено на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 16, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель  
диссертационного совета Д 004.036.01  
д.т.н., профессор, академик РАН  
Матвеев Валерий Павлович

\_\_\_\_\_ / Матвеев В.П.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 004.036.01  
д.ф.-м.н., доцент  
Зуев Андрей Леонидович



\_\_\_\_\_ / Зуев А.Л.

17 марта 2023 г.