

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.054.04, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ГИДРОДИНАМИКИ ИМ. М.А.
ЛАВРЕНТЬЕВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК, ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ РОССИИ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 19.12.2017 г. № 16

О присуждении Осипцову Андрею Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Модели механики многофазных сред для технологии гидроразрыва пласта» по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы» принята к защите 5 сентября 2017 года, протокол № 9, диссертационным советом Д 003.054.04, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Федеральное агентство научных организаций России, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 15, г. Новосибирск, Россия, созданным приказом № 782/нк Минобрнауки России от 24.06.2016 г.

Соискатель Осипцов Андрей Александрович 1983 года рождения, в 2005 г. окончил механико-математический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук “Асимптотические модели течений лавы на криволинейной подстилающей поверхности” защитил в 2006 году в диссертационном совете Д.501.001.89, созданном на базе Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, работает в должности старшего преподавателя в Автономной некоммерческой организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий».

Диссертация выполнена в Автономной некоммерческой организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий».

Официальные оппоненты:

- Аксенов Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, механико-математический факультет МГУ, профессор;
 - Роменский Евгений Игоревич, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория дифференциальных уравнений и смежных вопросов, главный научный сотрудник;
 - Урманчеев Саид Федорович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра Российской академии наук, лаборатория «Механика многофазных систем», главный научный сотрудник.
- дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН), в своем положительном заключении, подписанным Калиниченко Владимиром Анатольевичем, доктором физико-математических наук, доцентом, ведущим научным сотрудником Лаборатории механики сложных жидкостей, Теодоровичем Эдуардом Владимировичем, доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником Лаборатории механики сложных жидкостей, Базилевским Александром Викторовичем, доктором физико-математических наук, старшим научным сотрудником Лаборатории механики сложных жидкостей, и утвержденном Суржиковым Сергеем Тимофеевичем, доктором физико-математических наук, академиком РАН, директором ИПМех РАН, указала, что рассматриваемая диссертация является законченной научно-квалификационной работой, она выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842. Ее автор, Осипцов Андрей Александрович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «механика жидкости, газа и плазмы».

Соискатель имеет более 50 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 24 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 24 работы. Научные работы, общим объемом 295 страниц, полностью отражают содержание диссертации. Работы посвящены построению и исследованию семейства многоконтинуальных моделей, позволяющих описывать многофазные течения на различных стадиях технологии гидроразрыва пласта (ГРП), включая закачку суспензии в скважину, течение суспензии по трещине, поперечную миграцию и осаждение частиц в трещине, фильтрацию углеводородов в закрытой трещине по направлению к скважине и газожидкостные течения в скважине после ГРП при старте добычи.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Osipov A.A., Asmolov E.S. Asymptotic model of the inertial migration of particles in a dilute suspension flow through the entry region of a channel // Phys. Fluids, 2008. V. 20, N1–2, 123301, P. 1-15.
2. Asmolov E.S., Osipov A.A. The inertial lift on a spherical particle settling in a horizontal viscous flow through a vertical slot // Phys. Fluids, 2009. V. 21, 063301, P. 1-9.
3. Боронин С.А., Осипцов А.А. Двухконтинуальная модель течения суспензии в трещине гидроразрыва // Докл. РАН. 2010. Т. 431. № 6. С. 758-761.
4. Boronin S.A., Osipov A.A., Desroches J. Displacement of yield-stress fluids in a fracture // Int. J. Multiphase Flow, 2015. V. 76, P. 47–63.
5. Боронин С.А., Осипцов А.А., Толмачева К.И. Многоконтинуальная модель фильтрации суспензии в пористой среде // Изв. РАН. МЖГ. 2015. № 6. С. 50-62.
6. Osipov A.A. Hydraulic fracture conductivity: effects of non-spherical proppant from lattice-Boltzmann simulations and lab tests // Advances in Water Resources, 2017. V. 104, P. 293-303.
7. Osipov A.A. Fluid mechanics of hydraulic fracturing: a review // Journal of Petroleum Science & Engineering, 2017. V. 156. P. 513-535.

На автореферат диссертации поступило 6 отзывов:

Все отзывы положительные.

1. Отзыв на автореферат, подписанный д.ф.-м.н., проф. Байковым В.А., зам. генерального директора по науке ООО “РН-УфаНИПИнефть”. В отзыве сделано замечание о том, что в обзоре литературы не упоминается проблема моделирования течения геля сложной реологии по стволу скважины; обращается внимание соискателя на то, что в качестве граничных условий для модели течения в трещине заданы условия непротекания на границах трещины; предложено изучить миграции частиц при течении в трещине ГРП с учетом утечек через стенки; указано на то, что в автореферате недостаточно подробно описана комбинированная одномерная модель течения в скважине.

2. Отзыв на автореферат, подписанный д.т.н., проф. Каневской Р.Д., зав. кафедрой “Прикладной механики и компьютерного моделирования” РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина. В отзыве сделано замечание о том, что соискатель не указал способ определения утечки в уравнении (5); предложено сопоставить результаты для проницаемости упаковки частиц (разд. 4.2) с лабораторными и промысловыми оценками проводимости упакованной трещины; указано на то, что задача о фильтрации в разд. 4.1 приведена в радиальной постановке, тогда как в трещине течение описывается моделью с учетом линейной геометрии.

3. Отзыв на автореферат, подписанный д.ф.-м.н., проф. Карликовым В.П., заслуженным деятелем науки РФ, зав. кафедрой гидромеханики механико-математического факультета МГУ, не содержит замечаний.

4. Отзыв на автореферат, подписанный д.т.н. Шеберстовым Е.В., гл. научным сотрудником центра исследования пластовых систем ООО “Газпром ВНИИГАЗ” и к.г.-м.н. Рыжовым А.Е., зам. генерального директора по науке ООО “Газпром ВНИИГАЗ”. В отзыве сделаны замечания о том, что соискатель не отметил влияние температурного фактора; при моделирование течения углеводородов соискатель не указал, какие именно углеводороды; не пояснены обозначения в формулах (20).

5. Отзыв на автореферат, подписанный д.ф.-м.н. Черным С.Г., директором ИВТ РАН, к.ф.-м.н. Есиповым Д.В., зам. директора по научной работе и к.ф.-м.н. Лапиным В.Н., старшим научным сотрудником. В отзыве указано на то, что прямое численное моделирование движения отдельных частиц (по закону Ньютона) в течении жидкости (описываемом уравнениями Навье-Стокса) можно было бы использовать

для дополнительной верификации результатов по многомасштабной модели миграции частиц; неустойчивость С-Т моделируется только качественно (тогда как гравитационная конвекция еще и количественно) и ставится вопрос о правомерности вывода о взаимодействии двух эффектов; более корректно использовать термин “граница раздела” вместо англичанства “интерфейс”; не вполне корректно делать вывод о сходимости по сетке на основании расчетов всего на двух сетках; не приведены результаты сравнения с экспериментами для модели миграции; задан вопрос о необходимости использования двух-скоростной модели, если высокие числа плавучести возникают редко на практике при применении технологии ГРП.

6. Отзыв на автореферат от ООО “Газпромнефть НТЦ”, подписанный д.ф.-м.н. Яковлевым А.А., директором программ технологического развития, и утвержденный д.т.н. Хасановым М.М., генеральным директором. Отзыв не содержит замечаний.

На все замечания в отзывах на автореферат соискателем даны конструктивные и исчерпывающие ответы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в развитии математических моделей гидродинамики, включая динамику многофазных течений (в том числе, в приложении к технологиям нефтегазовой отрасли), в развитии асимптотических и численных методов и наличием публикаций в указанных сферах исследований.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

построены модели и исследованы новые классы задач, связанные с описанием многофазных течений в узких каналах и длинных трубах, а также фильтрации жидкости в средах переменной пористости. На основе выполненных автором исследований в работе сформулированы и обоснованы научные положения, совокупность которых можно квалифицировать как новое крупное достижение в механике многофазных сред, связанное с развитием моделей многофазных течений применительно к описанию различных стадий технологии гидроразрыва пласта (ГРП), которая используется для интенсификации добычи углеводородов.

На основании численного и асимптотического исследования ряда течений показано, что построенные модели позволяют качественно и количественно описывать процессы транспорта суспензии в трещине ГРП, фильтрацию углеводородов в закрытой трещине, заполненной гранулированным материалом, и газожидкостные течения в скважине после ГРП. В частности, построенные модели позволяют описывать гравитационное осаждение частиц с формированием осадка на дне трещины, гравитационную конвекцию и оплывание фронта суспензии в чистой жидкости, развитие неустойчивости Сэфмана-Тэйлора на границе раздела жидкостей различной реологии (в том числе, с пределом текучести), поперечную миграцию частиц за счет комбинированного эффекта осаждения, сдвигового характера течения несущей фазы и влияния стенок; фильтрацию суспензии в упаковке гранулированного материала с захватом и мобилизацией неколлоидных частиц (что приводит к повреждению и восстановлению проницаемости и пористости); газожидкостные течения в скважинах, в том числе с образованием снарядного режима течения.

Проведена верификация и сравнение с экспериментами для каждой модели из семейства с лабораторными данными и имеющимися численными или аналитическими решениями других авторов.

Теоретическая значимость исследований обосновывается тем, что в диссертации на основе единого многоконтинуального подхода механики многофазных сред и последовательного применения асимптотических методов построены новые гидродинамические модели, которые применимы для описания широкого класса нестационарных многофазных течений в узких каналах и длинных трубах. Результаты и методы, предложенные в диссертации, активно используются в различных научно-исследовательских работах (о чем свидетельствуют ссылки на труды автора), а также в курсах лекций и практических занятиях, проводимых в Сколковском институте науки и технологий.

Применительно к проблематике диссертации автором:

- эффективно использованы асимптотические методы в механике жидкости, методы построения многоконтинуальных моделей для многофазных течений, а также численные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных;

- изложены все этапы и особенности исследования задач механики многофазных сред, возникающих на различных стадиях реализации технологии гидроразрыва пласта.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что построенные в диссертации модели транспорта частиц в трещине ГРП были использованы при создании нескольких новых вариантов технологии гидроразрыва пласта и развитии коммерческих симуляторов компании Шлюмберже. Моделирование фильтрации суспензий в плотной упаковке несферических частиц послужило основой для дизайна нового типа несферического проппанта, повышающего проводимость трещины. Модели многофазных течений в скважинах, использованы при создании технологии очистки системы трещин и скважины после ГРП. Построенные модели транспорта проппанта (расклинивающего агента) в трещине ГРП могут быть использованы при создании отечественных симуляторов роста трещины ГРП. В частности, результаты диссертации уже активно используются при реализации федерального проекта КиберГРП по созданию отечественного симулятора ГРП. Такие симуляторы будут использоваться вертикально-интегрированными нефтяными компаниями и нефтесервисными компаниями для дизайна и планирования технологии ГРП. На основе построенных моделей и проведенных параметрических расчетов автором предложен ряд изобретений, на которые получено 6 патентов в РФ и США.

Оценка достоверности результатов исследования обеспечивается строгостью и непротиворечивостью построенных многоконтинуальных моделей механики многофазных сред, сравнением ключевых результатов диссертации с экспериментальными данными, совпадением результатов исследования в частных случаях с известными решениями других авторов, тщательным контролем аппроксимации, устойчивости и сходимости численных схем и, где это возможно, сравнением численных и аналитических решений.

Личный вклад соискателя состоит в формулировке постановок задач, выводе асимптотических уравнений, разработке численных схем, проведении численных расчетов, сравнении результатов с лабораторными данными, а также написании текстов статей.

На заседании 19 декабря 2017 г. диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация Осипцова А.А. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в ней сформулированы и обоснованы научные положения, совокупность которых можно квалифицировать как новое крупное достижение в механике многофазных сред, связанное с развитием моделей многофазных течений применительно к описанию технологии гидроразрыва. Работа выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842. Ее автор, Осипцов Андрей Александрович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

На заседании 19 декабря 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Осипцову А.А. ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **21** человек, из них **12** докторов наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы», участвующих в заседании, из **26** человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту **0** человек, проголосовали: за **21**, против **0**, недействительных бюллетеней **0**.

Председатель диссертационного совета
вич

д.ф.-м.н., профессор

Ученый секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н., доцент

20 декабря 2017 г.

Хлуднев Александр Михайло-



Рудой Евгений Михайлович