

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.054.04 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 КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело №_____

решение диссертационного совета от 06.12.2016 № 5

О присуждении Байкину Алексею Николаевичу, гражданину Российской Федерации, **ученой степени кандидата физико-математических наук.**

Диссертация «Динамика трещины гидроразрыва пласта в неоднородной пороупругой среде» **по специальности** 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы» **принята к защите** 26 сентября 2016 года, **протокол № 2, диссертационным советом** Д 003.054.04 **на базе** Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 15, г. Новосибирск, Россия, **созданным приказом № 782/нк** Минобрнауки России от 24.06.2016 г.

Соискатель Байкин Алексей Николаевич 1990 **года рождения.** В 2013 году **соискатель окончил** магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» с отличием. В 2016 году **соискатель окончил** аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» с представлением диссертации к защите.

Диссертация выполнена на кафедре теоретической механики механико-математического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», Министерство образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Головин Сергей Валерьевич, работает в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» на кафедре теоретической механики механико-математического факультета в должности профессора и в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте гидродинамики им. М. А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук в должности директора.

Официальные оппоненты:

Губайдуллин Амир Анварович, доктор физико-математических наук, профессор, Тюменский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, директор;

Перепечко Юрий Вадимович, кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория моделирования динамики эндогенных и техногенных систем, старший научный сотрудник
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ»), г. Санкт-Петербург, **в своем положительном заключении, подписанным** Кривцовым Антоном Мирославовичем, доктором физико-математических наук, член-корреспондентом РАН, заведующим кафедры теоретической механики СПбПУ, **и утвержденном** Ипатовым Олегом Сергеевичем, доктором технических наук, профессором, и. о. проректора по научной работе ФГАОУ ВО «СПбПУ», **указала, что** рассматриваемая диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, содержит новые научные результаты, 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, Байкин Алексей Николаевич, заслужи-

вают присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 — «Механика жидкости, газа и плазмы».

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 8 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях 3 работы. Работы (статьи в научных журналах, тезисы, труды), общим объемом 34 страницы, в полном объеме отражают содержание диссертации.

Работы посвящены разработке численных алгоритмов на основе математической модели гидроразрыва пласта Христиановича — Гиртстма — де Клерка и модели трещины гидроразрыва в пороупругой среде в условиях плоской деформации, построению точного стационарного решения для задачи о полубесконечной трещине в пороупругой среде, а также исследованию влияния пороупругих эффектов и неоднородности среды на динамику распространения трещины ГРП.

Наиболее значимые работы:

1) S.V. Golovin, V.I. Isaev, **A.N. Baykin** et al. Hydraulic fracture numerical model free of explicit tip tracking // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. — 2015. — Vol. 76. — P. 174–181.

Авторский вклад состоит в разработке программной реализации модели, проведении численных экспериментов и верификации модели при помощи сравнения с аналитическим решением.

2) S.V. Golovin, **A.N. Baykin**. Stationary dipole at the fracture tip in a poroelastic medium // Int. J. Solids Struct. — 2015. — Vol. 69–70. — P. 305–310.

Авторский вклад состоит в построении точного решения для задачи о стационарной полубесконечной трещине в пороупругой среде, его физической интерпретации, а также воспроизведении данного решения с помощью численного алгоритма и анализе сходимости, написании текста статьи и подготовке графических материалов.

3) **A.N. Baykin**, S.V. Golovin. Modelling of hydraulic fracture propagation in inhomogeneous poroelastic medium // J. Phys.: Conf. Ser. — 2016. — Vol. 722, no. 012003.

Авторский вклад состоит во введении в постановку задачи критерия разрушения породы на основе модели сил сцепления и учета произвольного преднапряженного состояния пласта, программной реализации численного алгоритма, верификации модели при помощи сравнения с известными из литературы результатами, оценке сходимости

численного алгоритма, участии в проектировании, проведении и анализе численных экспериментов и формулировке выводов, написании текста статьи и подготовке графических материалов.

4) А. Н. Байкин. Развитие трещины гидроразрыва в пороупругой среде // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики: сборник трудов (Казань, 20–24 августа 2015 г.). — Казань: Издательство Казанского (Приволжского) федерального университета, 2015. — С. 294–296.

Авторский вклад состоит в участии в математической постановке задачи, программной реализации численного алгоритма, участии в проектировании, проведении и анализе численных экспериментов и формулировке выводов, написании текста статьи и подготовке графических материалов.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

На автореферат поступило 6 отзывов. Все отзывы положительные. В них отмечается актуальность, научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Отмечено, что диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, соответствует специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

1. Отзыв на автореферат, подписанный д.ф.-м.н. Лукацким А.М., ведущим научным сотрудником ИНЭИ РАН (г. Москва), не содержит замечаний.
2. Отзыв на автореферат, подписанный к.т.н. Малышевым Г.А., начальником научно-исследовательского отдела проектирования и совершенствования технологий проведения гидравлического разрыва пласта Тюменского отделения «СургутНИПИнефть» (г. Тюмень). В отзыве сделано замечание, что использование двумерной базовой модели развития трещины, допущение о ньютоновости жидкости, а также наличие непротекаемой границы между модельными областями ограничивают область применения численного алгоритма. Не исследован актуальный случай развития трещин в зонально неоднородном по поровым давлениям пласте.
3. Отзыв на автореферат, подписанный д.т.н. Низовцевым М.И., заведующим лабораторией ИТ СО РАН, и д.ф.-м.н., академиком РАН Алексеенко С.В., директором ИТ СО РАН (г. Новосибирск). В отзыве отмечено, что в автореферате отсутствует сопоставление результатов расчетов автора с результатами практических измерений и

данными других расчетных работ; нечетко сформулировано понятие эффективности жидкости. Автореферат содержит недостаточное количество графического материала, иллюстрирующего постановку задачи и результаты расчетов.

4. Отзыв на автореферат, подписанный к.ф.-м.н. Осипцовым А.А., старшим преподавателем Сколковского института науки и технологий, Территория Иновационного Центра «Сколково» (г. Москва). В отзыве соискателю указано на общепринятые термины для параметров степенной реологической модели, на недостаточную обоснованность использования одномерной модели гидродинамики внутри трещины, на отсутствие в автореферате списка используемой литературы.
5. Отзыв на автореферат, подписанный д.ф.-м.н., профессором Черным С.Г., главным научным сотрудником ИВТ СО РАН и к.ф.-м.н. Лапиным В.Н., старшим научным сотрудником ИВТ СО РАН (г. Новосибирск), в котором указано на отсутствие исследований скорости, точности и эффективности вычислительного эксперимента. Отсутствуют сравнение с экспериментальными и полевыми данными, объяснение в какой момент происходит изменение вязкости жидкости при ее закачке в трещину и фильтрации в пласт. Отмечено, что численные эксперименты по исследованию влияния порового давления на геометрию трещины показывают не влияние порового давления, а влияние способов его учета в различных модификациях модели.
6. Отзыв на автореферат, подписанный д.ф.-м.н. Шером Е.Н., главным научным сотрудником ИГД СО РАН (г. Новосибирск), не содержит замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в области математического моделирования гидроразрыва пласта и фильтрации в горных породах, наличием публикаций в указанной сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации. Кроме того, в научно-образовательном центре «Газпромнефть-Политех» ведущей организации проводятся совместные образовательные и научно-технические проекты с компанией ООО «Газпромнефть НТЦ» в области гидроразрыва пласта.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая концепция моделирования распространения трещин гидроразрыва пласта (ГРП), в которой отсутствует необходимость явно отслеживать положение фронта трещины и перестраивать расчетную область на каждом шаге по времени;

предложены численные алгоритмы для расчета по модели ГРП Христиановича — Гиртстма — де Клерка и модели трещины гидроразрыва в неоднородной пороупругой среде в условиях плоской деформации согласно вышеизложенной концепции;

предложено точное автомодельное решение для задачи о стационарной полубесконечной трещине в пороупругой среде и дана его физическая интерпретация;

доказана корректность результатов расчетов, полученных с помощью построенных численных алгоритмов, путем оценки численной сходимости и сравнения с численными и аналитическими решениями, известными из литературы, и с решением, построенным автором лично;

предложены описания механизмов влияния пороупругих эффектов (в частности порового давления) и наличия контраста проницаемости и напряжений в горной породе на геометрию, динамику и направление развития трещины ГРП в пороупругой среде.

Теоретическая значимость исследований обосновывается тем, что:

применительно к проблематике диссертации эффективно использованы теория пороупругости, теория фильтрации, вычислительная механика разрушения, метод конечных элементов;

построены математические модели с указанием сделанных упрощающих предположений, использованных уравнений, граничных условий и начальных данных, а также оригинальные численные алгоритмы для проведения расчетов по моделям;

получено новое точное автомодельное решение для задачи о стационарной полубесконечной трещине в пороупругой среде, которое может применяться для проверки численных методов для задач о трещине ГРП в пороупругой среде;

раскрыты механизмы влияния порового давления, деформации породы и наличия неоднородностей проницаемости и сжимающих напряжений в горной породе на гео-

метрию, динамику и направление развития трещины ГРП в пороупругой среде, которые дают более глубокое понимание процесса гидроразрыва пласта.

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

написаны вычислительные программы, реализующие приведенные в диссертации алгоритмы;

определенны перспективы использования полученных в диссертации результатов для моделирования распространения реальных трещин ГРП на начальном этапе закачки жидкости и использование в качестве основы для коммерческого симулятора гидроразрыва пласта;

имеются перспективы использования результатов диссертации при проектировании работ по гидроразрыву.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория, использованная в работе, построена на следующих общепризнанных физических и математических теориях: аппарат механики сплошных сред (законы механики, определяющие соотношения, постановка граничных условий), методы теории дифференциальных уравнений (анализ решений, построение слабой формулировки задачи), численные методы (метод конечных элементов, методы решения нелинейных систем уравнений, правило Рунге для оценки погрешности численного метода);

идея базируется на экспериментальном факте, что отфильтровывающаяся из трещины в пласт жидкость способна воздействовать на упругий скелет породы вблизи трещины, что может повлиять на развитие трещины ГРП;

использовано сравнение результатов моделирования с известными аналитическими и численными результатами других исследователей;

установлено качественное соответствие данных модельного эксперимента общепринятым представлениям для известных случаев.

Личный вклад соискателя состоит в его участии на всех этапах получения новых результатов: участии в формулировке математических моделей, построении и реализации численных схем, верификации моделей, участии в проведении вычислительных

экспериментов, анализе и интерпретации полученных результатов и формулировании выводов, подготовке публикаций и выступлений на конференциях и семинарах.

На заседании 06 декабря 2016 года диссертационный совет принял решение присудить Байкину А. Н. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 24 человек, из них 11 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 24, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета

д.ф.-м.н., профессор

Хлуднев Александр Михайлович



Ученый секретарь диссертационного совета

д.ф.-м.н., доцент

Рудой Евгений Михайлович

«08» декабря 2016 г.