

**ОТЗЫВ**  
**официального оппонента**  
**на диссертацию Бек Дины Доновны на тему:**  
**«Трещинообразование в породах под действием**  
**высокоинтенсивных тепловых и гидромеханических**  
**воздействий» представленной на соискание ученой**  
**степени кандидата геолого-минералогических наук по**  
**специальности 25.00.08 – «Инженерная геология,**  
**мерзлотоведение и грунтоведение»**

***Актуальность рассматриваемой проблемы***

Диссертационная работа Бек Д.Д. посвящена изучению процесса трещинообразования в породах различного состава и строения под действием высокоинтенсивных тепловых и гидромеханических воздействий, а также разработке методик прогноза указанных процессов. Трещинообразование в породах рассматривается в приложении к реально используемым в инженерной практике мероприятиям таким как замораживание и термостабилизация грунтов с использованием низкотемпературного хладоносителя и повышение нефтеотдачи с помощью гидроразрыва пласта (ГРП). Также в работе представлена методика термостабилизации грунта с использованием в качестве хладагента сжиженного природного газа (СПГ), позволяющая промораживать сильнозасоленные грунты и грунтовые толщи, содержащие криопэги. Учитывая, что освоение арктических месторождений полезных ископаемых все более интенсифицируется в России, изучение процессов трещинообразования как с точки зрения сохранения окружающей среды (ТСГ), так и с точки зрения эффективного воздействия на недра (ГРП) являются актуальной задачей.

***Характеристика содержания работы***

Рассматриваемая работа, общим объемом 158 стр. машинописного текста, состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы, состоящего из 123 наименований, и 5 приложений, включающих описание работы с программными продуктами, списки иллюстраций и таблиц. Она проиллюстрирована 51 рисунком и 25 таблицами.

В **первой главе** дается обзор современного состояния вопроса трещинообразования в породах различного состава и строения. Рассматриваются основные понятия и теории трещинообразования. Приводится ряд имеющихся аналитических и численных моделей, описывающих процесс разрушения и трещинообразования в массиве пород.

Во **второй и четвертой главах** дается описание исследуемых геологических объектов: криолитозоны Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения на п-ове Ямал и отдельных участков баженовской свиты Западной Сибири.

Разделами, в которых отражены основные результаты работы, являются третья и пятая главы. В них представлены материалы, позволяющие сформулировать защищаемые положения, научную новизну и практическую значимость работы.

**Третья глава** посвящена выявлению закономерностей трещинообразования в мерзлых породах под действием высокоинтенсивных тепловых воздействий, а также разработке методики его прогноза. Также в данном разделе представлена технология

термостабилизации грунтов с помощью низкотемпературного термостабилизатора (НТС), которая в свою очередь обуславливает необходимость разработки и актуальность методики прогноза трещинообразования в породах при взаимодействии с низкотемпературным хладагентом. Представленные связная и несвязная задачи для моделирования процессов трещинообразования позволяют оценить входную в НТС температуру хладагента и оценить наиболее благоприятный период запуска НТС в эксплуатацию.

В пятой главе описывается процесс трещинообразования в низкопроницаемых породах нефтеносной баженовской свиты под действием высокоинтенсивных гидромеханических воздействий (ГРП). Математическая модель трещинообразования разработана на базе модели упруго-пластической среды Друккера-Прагера с неассоциированным законом течения. В главе последовательно рассматриваются закономерности и особенности распространения трещин в однослойной (квазиоднородной), двухслойной и многослойной средах. Результаты численного моделирования в однослойном массиве позволили выявить возможность ветвления трещины, направленной из горизонтальной скважины даже в среде с отсутствующей слоистостью. Результаты численного моделирования в слоистых средах (на примере схематизированных реальных разрезов вынганьяхинского и салымского месторождений) позволяют разработать рекомендации для выбора основных параметров мероприятий гидроразрыва.

## РЕЗЮМИРУЮЩАЯ ЧАСТЬ

### *Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций*

Можно отметить, что автор уделил значительное внимание сбору и обобщению материалов о современном состоянии вопроса и изучил достаточный объем опубликованных по указанной тематике материалов. В рамках исследований был проведен большой объем расчетных работ, посвященных моделированию процессов трещинообразования под высокоинтенсивными воздействиями.

### *Новизна и обоснование защищаемых положений*

Автором на защиту выносятся следующие научные положения:

1. Предложена инновационная методика использования сжиженного природного газа для целей термостабилизации грунтовых оснований инфраструктуры Южно-Тамбейского нефтегазоконденсатного месторождения с учетом геокриологических условий и технологических норм эксплуатации.
2. Предложена новая методика прогноза процессов промерзания и потенциального возникновения трещин в грунте при тепловом и механическом взаимодействии с низкотемпературным термостабилизатором на базе использования разработанного комплекса программ реализации на ЭВМ связанной и несвязанной задачи термоупругости.
3. Выявлены механизм и закономерности динамики процессов промерзания и трещинообразования в породах различного состава, строения и свойств под действием

низкотемпературного хладагента с учетом влияния изменения водно-ионного состава поровых растворов и криопэггов.

4. Разработана оригинальная методика математического моделирования процесса деформации и разрушения массива горных пород под действием гидроразрыва, которая реализована с помощью пакета программ, численной реализации системы уравнений равновесия движения и неразрывности и определяющих соотношений, которые описывают поведение среды в рамках модели Друккера-Прагера с неассоциированным законом течения. Предложена методика инициализации математической модели, заключающаяся в выборе подхода к обработке имеющихся экспериментальных данных.

5. Путем математического моделирования выявлен эффект ветвления трещин гидроразрыва, инициированных из горизонтальной скважины, а именно, возможность раскрытия трещины в направлении максимального напряжения при условии перераспределения соотношения горизонтальных и вертикальных напряжений в процессе трещинообразования за счет касательных напряжений. Проведен анализ возможности ветвления трещин в квазиоднородных геологических средах на примере литологических типов, выделенных в разрезе баженовской свиты. Данный эффект имеет экспериментальное подтверждение.

6. На примере схематизированных двухслойного и многослойного разрезов пород баженовской свиты с помощью математического моделирования оценено влияние конфигурации и последовательности расположения слоев на распространение трещин гидроразрыва.

7. Предложена методика оптимизации мероприятий гидроразрыва пласта, позволяющая контролировать направление и масштабы данного процесса в зависимости от экономических и экологических требований к результатам мероприятия применительно к реальным геологическим условиям Вынгайхинского и Салымского месторождений баженовской свиты.

Большинство из представленных положений содержит элементы научной новизны и они достаточно хорошо обоснованы результатами полевых, лабораторных наблюдений и физико-математических расчетов.

### ***Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации***

Достоверность результатов исследования опирается на представительность использованного фактического материала, а также на корректность проведенных расчетов. В основу диссертационной работы положены:

1. Анализ современного состояния проблемы изученности механизмов и закономерностей процессов трещинообразования в породах различного состава, строения и свойств под действием высокоинтенсивных низкотемпературных и гидромеханических воздействий, а также методов их математического моделирования.

2. Теория прогноза процесса трещинообразования в породах под действием высокоинтенсивных тепловых и гидромеханических воздействий

3. Моделирование процессов промораживания и трещинообразования в грунтах Южно-Тамбейского нефтегазоконденсатного месторождения при их тепловом и механическом

взаимодействии с термостабилизатором, по которому движется низкотемпературный хладагент.

4. Моделирование процессов трещинообразования в породах под действием гидроразрыва для целей оптимизации проектирования и проведения мероприятий гидроразрыва пласта.

#### ***Значимость для науки и практики полученных автором результатов***

Предложенные автором методики расчета напряженно-деформированного состояния грунтов при воздействии высокоинтенсивных тепловых потоков (ТСГ) могут использоваться при оценке и прогнозе устойчивости грунтов в регионах с особо сложными геокриологическими условиями при проектировании заводов или регазификационных терминалов СПГ. А предложенные методики прогноза формирования геометрии трещин при ГРП в баженовской свите вполне могут использоваться при составлении проектов нефтедобывающих скважин.

#### ***Стиль изложения, оформление работы***

Работа написана понятным языком. Текст работы аккуратно оформлен и достаточно проиллюстрирован рисунками и таблицами.

#### ***Публикации и апробация работы***

Изданные по заявленной теме публикации соответствуют содержанию диссертации. По теме диссертации в отечественных и зарубежных изданиях напечатано 13 статей и тезисов, среди которых 3 входят в список, определенных по п. 2.3 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном Университете имени М.В. Ломоносова. Результаты работы были представлены на различных российских и международных конференциях.

#### ***Общее заключение по работе***

Диссертация посвящена весьма важным направлениям современных научных исследований в области техногенного воздействия на арктические недра и является определенным научным шагом в решении сложнейших задач прогноза такого воздействия в разных средах и при различных типах воздействий.

Вместе с тем к работе есть ряд замечаний:

1. Небрежное отношение к ссылкам на работы других ученых: некоторые ключевые работы упоминаются в тексте, но их нет в списке использованной литературы (например, известная работа А.Х.Лахенбуха). Практически отсутствуют ссылки на работы других авторов при описании геокриологических условий Южно-Тамбейского месторождения на Ямале, как будто все приведенные данные автор получил сам, а не коллективы ученых на протяжении многих десятилетий. Обзорные разделы по ГРП практически повторяют работы Ю.П.Стефанова за 2002 - 2010 гг., где обзор работ оканчивается 2009 годом. Т.е. за 10 последних лет работ по расчету трещин ГРП не было?
2. Обзорные разделы главы 1 не содержат результирующих выводов о том, что было сделано до этой работы и что автор планирует сделать в диссертации, т.е. анализ чужих работ не завершен.

3. В работе сделано географическое открытие «полуострова Сабетта» (стр.46 и 47), хотя такого полуострова не существует.
4. Прогноз трещинообразования в однослойных массивах сводится к расчету скорости и времени промораживания грунтового массива вокруг цилиндра при заданных температурах на стенке цилиндра с помощью известного пакета TUNDRA и сравнению получаемых напряжений (неясно как получаемых, в гл. 3 нет пояснений и ссылок на формулы) с прочностью грунтов на разрыв при данных температурах, полученных другими исследователями. В чем новизна прогноза? Что касается многослойного массива, то там вообще нет прогноза трещинообразования, приведены только расчеты динамики промерзания по пакету TUNDRA.
5. Название гл.4 включает в себя словосочетание «Баженовское месторождение». Такого месторождения нет, есть баженовская свита.
6. При описании геомеханических и литологических свойств баженовской свиты Западной Сибири (п.4.3), которые далее участвуют в расчетах, источником данных указана зарубежная работа по свойствам пород формации Eagle Fort (США), что вызывает недоумение (других ссылок нет), учитывая обилие отечественных литературных источников по свойствам пород именно баженовской свиты.
7. При описании методик и задач моделирования (п.5.1-5.3) автор указывает, что в значительной части они взяты из работ проф. Ю.П.Стефанова без соавторов (2002-2010 гг.). Возникает вопрос о личном вкладе автора, прежде всего, в постановку задачи и разработку модели формирования трещин при ГРП.
8. При моделировании ГРП в разрезе Вынгайхинского месторождения (п.5.4) в диссертации отсутствует значительная часть вводимых параметров. Причем, как по выделенным литотипам, так и по свойствам жидкости гидроразрыва. В разделе опять отсутствуют ссылки на соответствующие формулы методики прогноза трещинообразования. Проверить адекватность результатов расчетов и, соответственно, методики прогноза трещинообразования, не представляется возможным.
9. В разделе «Основные выводы работы» собственно выводами являются только 5 из 11 пунктов. Остальное – констатация известных фактов.

Обилие замечаний к работе вытекает из явно видной торопливости при подготовке диссертации и недостаточного внимания к работе со стороны 2 научных руководителей. При более тщательном прочтении текста научными руководителями перед опубликованием значительная часть замечаний наверняка была бы снята. Вместе с тем, после прочтения диссертации, можно утверждать, что автор является квалифицированным исследователем процессов промерзания/протаивания и трещинообразования при различных инженерных воздействиях на породы. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 25.00.08 – «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение» (по геол.-минерал. наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также

оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Бек Дина Доновна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.08 – «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение».

Официальный оппонент:

доктор геолого-минералогических наук,  
профессор кафедры разработки и  
эксплуатации газовых и газоконденсатных  
месторождений РГУ нефти и газа (НИУ) имени  
И.М.Губкина



Якушев Владимир  
Станиславович  
02.12.2019

Специальность, по которой официальным  
оппонентом защищены диссертации:  
кандидатская - 04.00.07 – «Инженерная  
геология, мерзлотоведение и грунтоведение»  
докторская – 25.00.12 – «Геология, поиски и  
разведка нефтяных и газовых месторождений»

119991, Город Москва, проспект Ленинский,  
дом 65, корпус 1.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Российский государственный  
университет нефти и газа (национальный  
исследовательский университет) имени И.М.  
Губкина»

Тел. 8(499) 507 85 68

[yakushev.v@gubkin.ru](mailto:yakushev.v@gubkin.ru)

Подпись Якушева В.С. з



Ширяев Юрий Егорович  
Начальник отдела кадров  
РГУ нефти и газа (НИУ)  
имени И.М.Губкина