

В диссертационный совет по защите докторских
и кандидатских диссертаций Д002.240.01
на базе Федерального государственного бюджетного
учреждения науки «Института проблем механики
им. А. Ю. Ишлинского Российской академии наук»

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Химули Валерия Владимировича «Реологические и фильтрационные свойства
горных пород в условиях сложного трехосного нагружения»,
представленную к защите на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.04 — Механика деформируемого твердого тела

На отзыв представлены:

- диссертационная работа на 133 страницах машинописного текста, включая 39 рисунков и 8 таблиц;
- автореферат диссертации на 23 страницах, включая список из 15 публикаций автора по теме диссертационной работы (6 статей из этого списка опубликованы в журналах из перечня, рекомендованного ВАК РФ, 5 статей опубликованы в журналах, индексируемых международными базами цитирования Web of Science и Scopus).

1. Актуальность темы. Диссертационная работа Химули Валерия Владимировича посвящена экспериментальному исследованию деформационных, реологических и фильтрационных свойств горных пород, слагающих продуктивные пласты нефтяных и газовых месторождений в реальных напряженных состояниях, возникающих в окрестности вертикальных, и горизонтальных скважин. Сложность экспериментального определения закономерностей изменения проницаемости и характера протекания процессов ползучести горных пород при различных трехосных напряженно-деформированных состояниях пласта, сложность определения ключевых параметров воздействия на пласт, приводящих к улучшению фильтрационных свойств пород и недопущению разрушения стволов скважин обуславливают актуальность работы.

2. Научная новизна. В диссертационной работе на основе разработанных методик проведено прямое физическое моделирование процессов неупругого деформирования и разрушения пород-коллекторов месторождений углеводородного сырья, исследованы квазистатические и реологические закономерности фильтрации при трехосном непропорциональном нагружении на Испытательной системы трехосного независимого нагружения (ИСТН) по траекториям в виде многозвенных ломаных. Проведена систематизация накопленных результатов изучения эволюции проницаемости в условиях непропорционального трехосного нагружения и трехосной ползучести; сформулированы ключевые закономерности изменения фильтрационных свойств продуктивных пластов Киринского и Приразломного месторождений, а также ачимовских отложений Уренгойского

газоконденсатного месторождения при проведении технологических операций на скважине; обоснованы мероприятия по улучшению фильтрационных характеристик пород, которые исключают разрушение ее ствола.

3. Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждается строгой математической постановкой задач, корректным применением методов математической статистики для обработки результатов и методов экспериментальной механики деформируемого твердого тела; применением при проведении экспериментальных исследований методологических подходов, проверенных многолетней практикой; использованием испытательного и измерительного оборудования с высокими метрологическими характеристиками.

4. Теоретическая и практическая значимость. Диссертантом сделан серьезный шаг в области физического моделирования процессов неупругого деформирования, разрушения и фильтрации. Наиболее значимыми научными результатами являются сформулированные и обоснованные оптимальные режимы эксплуатации скважин (предварительная оценка величин депрессий) с целью поддержания неизменности их стенок и недопущения негативных процессов в продуктивном пласте; экспериментально установленные условия, которые необходимо создать в породах исследуемых месторождений углеводородного сырья (в том числе — с трудноизвлекаемыми запасами) для значительного повышения их проницаемости и продуктивности скважин; Полученные результаты и практические рекомендации представлены ПАО «Газпром» — компании-разработчику месторождений. Это является наглядным примером возможного практического применения результатов, полученных диссертантом.

5. Анализ содержания диссертации. Диссертационная работа включает в себя введение, 4 главы, заключение; изложена на 133 страницах машинописного текста, содержит 39 рисунков и 8 таблиц; список литературы состоит из 99 наименований. Диссертация хорошо структурирована, изложение материала выстроено логически грамотно.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, отмечена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, достоверность и обоснованность полученных результатов, показана степень разработанности темы исследования, представлены методология исследований и используемые методы, отражены положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации результатов и отражен личный вклад автора.

В первой главе, имеющей обзорный характер, проведен аналитический обзор экспериментальных результатов исследований механических и фильтрационных свойств горных пород с использованием установок, работа которых основана на реализации схемы Кармана, и установок истинного трехосного нагружения (УИТН). Отмечена необходимость исследования напряженных состояний горных пород, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации месторождений. Представлена классификация горных пород по реакции фильтрационных свойств на изменение напряженного состояния, предложенная ранее сотрудниками лаборатории геомеханики ИПМех РАН. Классификация позволяет качественно прогнозировать характер изменения проницаемости в призабойной зоне пласта при изменении напряжений и оценивать целесообразность проведения тех или иных технологических операций при эксплуатации месторождений.

Во второй главе представлены результаты проведенного анализа распределения напряжений в окрестности открытого ствола скважин при различных конструкциях забоя и для различных начальных условий в породном пласте. Рассмотрены следующие случаи: напряжения на стенках скважины при равномерном исходном начальном сжатии пород в пласте; напряжения на стенках необсаженной горизонтальной скважины для условий, когда боковое горное давление не равно вертикальному (имеет место распор); напряжения в окрестности конца перфорационного отверстия в обсаженной скважине. Полученные результаты используются автором в дальнейшем для разработки программ неравнокомпонентного трехосного сжатия горных пород.

В третьей главе дано краткое описание месторождений (Киринского и Приразломного, ачимовских отложений Уренгойского газоконденсатного месторождения), продуктивные пласты которых являются объектами исследования в диссертационной работе. Разработаны программы непропорционального трехосного нагружения в виде трехзвенных ломаных, реализация которых на Испытательной системе трехосного независимого нагружения позволяет определить механические и фильтрационные свойства пород. Все программы учитывают на первом этапе напряжения, действующие на грунтовый скелет до начала бурения скважины; на втором — напряженное состояние, когда скважина пробурена, а давление на ее забой равно пластовому; на третьем — снижение давления на забое скважины. Последний этап длится до тех пор, пока образец не будет разрушен, или напряжения не достигнут значений, соответствующих максимально возможной депрессии.

В четвертой главе представлены экспериментальные результаты физического моделирования процессов деформирования и фильтрации в окрестности необсаженных горизонтальных и вертикальных скважин при наличии или отсутствии в пласте бокового распора (горные породы Приразломного и Киринского месторождений), а также при понижении давления в необсаженной скважине и наличии перфорационного отверстия в обсаженной скважине (продуктивные пласты ачимовских отложений Уренгойского газоконденсатного месторождения). Сформулированы и обоснованы практические рекомендации по увеличению нефтеотдачи, которые исключают разрушение ствола.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы.

Основными результатами следует считать:

– разработанные и отработанные на ИСТНН программы непропорционального трехосного нагружения в виде трехзвенных ломаных, позволяющие проводить физическое моделирование реальных напряженно-деформированных состояний, возникающих в продуктивных пластах нефтегазовых месторождений с целью изучения закономерностей влияния процессов деформирования, в том числе ползучести, на фильтрационные свойства пород;

– новые экспериментально установленные закономерности деформирования и изменения фильтрационных свойств горных пород различных литотипов во времени, сформулированные при обработке результатов моделирования процессов, происходящих в окрестности вертикальных и горизонтальных скважин для различных пластовых и эксплуатационных условий;

– новые экспериментально установленные закономерности влияния ползучести на проницаемость пород ("заплывание" фильтрационных каналов, дилатансия, образование микро- и макротрещин);

– экспериментально обоснованные режимы эксплуатации скважин, исключая их поверхностное разрушение, а также развитие негативных процессов в продуктивных пластах; экспериментально определенные условия, которые необходимо создать в породах исследуемых месторождений углеводородного сырья (в том числе — с трудноизвлекаемыми запасами) для значительного повышения их проницаемости и продуктивности скважин.

6. Замечания. По диссертационной работе имеется ряд замечаний:

1. При анализе распределения напряжений в окрестности открытых стволов скважин при различных конструкциях забоя используется суперпозиция аналитических решений задач Ламе и Кирша. Однако не формулируются исходные гипотезы, когда это может быть обосновано осуществлено, и не приводятся оценки возможных погрешностей.

2. Реальные траектории нагружения, которые отрабатывались во время проведения экспериментов на ИСТТН при исследовании влияния эффектов ползучести на фильтрационные свойства горных пород, не вполне соответствовали разработанным во второй главе. Вместо предполагаемых трехзвенных ломаных имели место многозвенные.

3. Из текста диссертационной работы не ясно, в каком направлении (по напластованию или в перпендикулярном к нему направлении) измерялась проницаемость во время проведения экспериментов. Также не ясно, исследовалась ли анизотропия проницаемости или она всегда, даже когда в образце возникала ориентированная система дефектов, предполагалась одинаковой во всех направлениях.

4. Сформулированные новые закономерности (выявлены в результате проведения прямого физического моделирования понижения давления в скважине) изменения фильтрационных свойств продуктивных пластов ачимовских отложений Уренгойского газоконденсатного месторождения (глава 4) не являются феноменологической моделью. Закономерности являются концептуально ключевыми для построения моделей, но сами феноменологические модели диссертантом не построены.

5. Отсутствие выводов по третьей главе и четко структурированных выводов в заключении затрудняют чтение рукописи.

Высказанные замечания имеют частный характер, не затрагивают сути основных выводов и положений, выносимых на защиту, не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы (которая написана и оформлена в соответствии с установленными требованиями) и квалификации ее автора. Результаты работы хорошо апробированы (докладывались и обсуждались на Всероссийских и международных научных конференциях) и опубликованы в 7 статьях (6 статей в журналах из перечня, рекомендованного ВАК РФ, и 5 статей в журналах, индексируемых международными базами цитирования Web of Science и Scopus).

7. Автореферат дает ясное представление о постановке исследования и основных результатах, **полностью соответствует содержанию диссертации.**

