

О Т З Ы В

официального оппонента доктора физико-математических наук Пяткова Сергея Григорьевича на диссертационную работу Имомназарова Шерзада Холматжоновича “Математическое моделирование взаимодействия магнитных и акустических полей в электропроводящей пористой среде”, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертационная работа посвящена аналитическому и численному исследованию математической модели магнитопороупругости для аксиальной симметрии, с учетом эффектов, обусловленных проницаемостью, проводимостью и пористостью. Отметим, что математическое моделирование многофазных течений в насыщенных электролитом пористых средах с взаимосвязанными гидродинамическими и термодинамическими явлениями, обусловленными фазовыми превращениями и критическими условиями, востребовано в широком спектре задач подземной гидромеханики. Результаты также могут использоваться для научно-обоснованного прогнозирования и оптимизации показателей эксплуатации нефтяных и газовых скважин, при описании природных процессов, при разработке новых технологий геологоразведки. Все это обосновывает актуальность данного исследования. Последовательное изучение особенностей распространения сейсмических волн в насыщенных пористых средах с учетом влияния электрических полей началось с открытия А.Г. Ивановым в 1939 году электросейсмического эффекта, а первым, кто построил математическую модель распространения сейсмических волн в насыщенных жидкостью пористых средах и исследовал механизм электризации влажной почвы, был Я.И. Френкель в 1944. Линейную теорию пороупругости, описывающую распространение сейсмических волн в двухфазной пористой насыщенной жидкостью среде, была построена в 1956 году в работах М. Био. В дальнейшем стоит отметить работы П.Ш. Робертса, Д.Е. Лопе, В.Н. Доровского и др. авторов. Сейсмоэлектрический эффект электрокинетической природы математически описал С. Прайд в 1994 г. Эффект аномального значения комплексной диэлектрической проницаемости описан в работах С.С. Духина и В.Н. Шилова (1972). В дальнейшем, исследование математических моделей многофазных течений в насыщенных электролитом пористых средах проводилось и в работах многих других авторов. В данной работе был проведен ряд новых исследований и получен ряд новых результатов. В диссертационной работе использовались методы механики сплошных сред, термодинамики, электродинамики, математической физики и вычислительной математики.

Кратко остановимся на содержании диссертационной работы. Она состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Полный объем диссертации составляет 92 страницы, включая 22 рисунка. Список литературы содержит 55 наименований.

Во введении сформулированы цели и задачи работы, положения, выносимые на защиту, апробация результатов и личный вклад автора, а также краткое содержание диссертации.

В первой главе описывается квазилинейная система уравнений Максвелла и уравнений континуальной теории фильтрации, как в бездиссипативном, так и в диссипативном гидродинамическом приближении и приводится вывод этих систем. В первом, бездиссипативном случае результаты не являются новыми.

Во второй главе исследуется возбуждение магнитоупругих SH-волн в полубесконечной идеально проводящей пористой среде, имеющей поверхностный слой. Показано, что

внешнее постоянное магнитное поле может вызвать такие волны, когда они отсутствуют в идеально пористом случае (в бездиссипативном приближении).

В третьей главе доказано существование и единственность обобщенного решения краевой задачи для системы уравнений магнитопористости в диссипативном приближении а также приведены результаты численного решения методом конечных элементов тестовой краевой задачи магнитопористости в частотной области.

В четвертой главе численно исследуется одномерная нестационарная задача электромагнитоупругости пористых насыщенных сред при импульсном воздействии электромагнитным квазистационарным полем. Показана применимость спектрального метода Лагерра к одномерной динамической задаче импульсного воздействия, описываемого уравнениями электромагнитоакустики. Численно установлены особенности акустического отклика на импульсное электромагнитное воздействие: найдена зависимость амплитуд поперечных акустических волн, пришедших на внутреннюю сторону обсадной колонны, от параметров, характеризующих среду и внешнее электромагнитное воздействие.

Научная новизна. В диссертационной работе получен ряд новых результатов, касающихся исследований математической модели магнитопороупругости. В частности, исследована задача возбуждения магнитоупругих SH-волн в полубесконечной идеально проводящей пористой среде с поверхностным слоем; исследовано затухание поперечной волны в диссипативном приближении, обусловленное эффектами, связанными с проводимостью, проницаемостью и электроакустической постоянной; доказано существование и единственность обобщенного решения краевой задачи магнитопороупругости в частотной области; численно решена в частотной области задача магнитопороупругости на основе МКЭ в случае возбуждения магнитоупругих SH-волн в идеально проводящей пористой среде; показано существование характерной частоты для осесимметрической задачи; исследована задача распространения сейсмоманнитных волн в насыщенной электролитом пористой среде; решена задача магнитоакустического отклика пористой насыщенной электролитом среды на электромагнитное воздействие со скважины конечного радиуса; предложена технологическая схема скважинного измерения электропроводности и проницаемости насыщенной электролитом формации.

Актуальность работы. Математическое моделирование многофазных течений в насыщенных электролитом пористых средах с взаимосвязанными гидродинамическими и термодинамическими явлениями, обусловленными фазовыми превращениями и критическими условиями, востребовано в широком спектре задач подземной гидромеханики и результаты могут быть использованы при прогнозировании и оптимизации показателей эксплуатации нефтяных и газовых скважин, при описании природных процессов, при разработке новых технологий геологоразведки.

В качестве основных результатов диссертации стоит отметить следующее: показано возбуждение магнитоупругих SH-волн в полубесконечной идеально проводящей пористой среде, имеющей поверхностный слой; показано, что внешнее постоянное магнитное поле может вызвать такие волны даже там, где они отсутствуют в идеально-пористой среде; доказано существование и единственность обобщенного решения краевой задачи магнитопороупругости в частотной области и численно решена в частотной области осесимметрическая задача магнитопороупругости на основе МКЭ в случае возбуждения магнитоупругих SH-волн в идеально проводящей пористой среде; исследована задача распространения сейсмоманнитных волн в насыщенной электролитом пористой среде с учетом обсадной колонны и решена задача магнитоакустического отклика насыщенной электролитом пористой среды на электромагнитное воздействие для скважины конечного радиу-

са; показано существование характерной частоты для осесимметрической задачи, при которой измеренные амплитуды скоростей смещений матрицы на устье скважины совпадают и принимают меньшее значение по сравнению с плоским случаем и предложена технологическая схема измерения электропроводности и проницаемости насыщенной электролитом формации.

Замечания к диссертации носят в основном редакционный характер.

1. В главе 1 следует более четко выделить результаты, полученные автором и касающиеся вывода описанных в этой главе систем, и результаты полученные ранее. В частности, не очень понятно, осуществлен ли вывод системы в диссипативном случае автором самостоятельно, или это уже было сделано.

2. Некоторые обозначения, участвующие в рассуждениях не определены, например, $[\cdot, \cdot]$, $(\cdot, \cdot)$ в формулах (1.1.5), (1.1.8) и далее.

3. Следует пояснить вывод системы 3.2.1. В частности, откуда взялось второе слагаемое в первом уравнении системы. Там должен стоять оператор из второго слагаемого четвертого уравнения системы примененный к u_φ . Возможно, что использованы какие-то дополнительные рассуждения, однако необходимых пояснений нет. Тоже замечание можно отнести к системе (4.1.1).

4. На стр. 60 снизу приведена фраза: Для приведенных операторов Гельмгольца однородные краевые задачи имеют только нулевые решения. Вообще говоря это утверждение не проверено.

5. Ссылка на систему (3.3.3), (3.2.3) в предпоследней строчке на стр. 60 неверна.

6. То, что для однородной системы (3.3.3), (3.2.3) (последняя строчка на стр. 60) ноль не является собственным значением не доказано.

7. Вообще говоря доказательные рассуждения в параграфе 3.3 стоит оформить в виде доказательства теоремы и привести точную ее формулировку, в частности, указать класс в котором ищется решение.

Однако, отмеченные замечания не носят принципиального характера и не влияют на общее положительное впечатление о диссертации. Можно сказать, что диссертационная работа является квалификационной работой, содержащей решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний.

Диссертационная работа Ш.Х. Имомназарова является законченным научным исследованием и соответствует специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Поставленные задачи решены полностью, доказательства утверждений проведены на строгом математическом уровне. Все положения, выносимые на защиту, являются новыми и достоверными. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Основные результаты по теме диссертации изложены в 5 печатных изданиях, 3 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 2 - в тезисах докладов. Результаты диссертационной работы Ш.Х. Имомназарова докладывались и обсуждались на многих научных конференциях и семинарах. Они могут быть использованы специалистами по дифференциальным уравнениям, математической физике и математическому моделированию. Считаю, что диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор, Имомназаров Шерзад Холматжонович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Я, Пятков Сергей Григорьевич, даю свое согласие ИВМиМГ СО РАН на включение всех предоставленных мною персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их дальнейшую обработку и распространение в соответствии с требованиями Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальный оппонент,

доктор физико-математических наук по специальности

01.01.02 Дифференциальные уравнения, динамические системы

и оптимальное управление, уч.звание-профессор,

профессор Инженерной школы цифровых технологий

Федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего

образования "Югорский государственный

университет"



Пятков Сергей Григорьевич

Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования

"Югорский государственный университет"

628012, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова 16,

Тел. +7 (3467) 377-000, e-mail: ugrasu@ugrasu.ru,

Подпись С.Г. Пяткова заверяю

Ученый секретарь ученого совета ЮГУ

05.03.2025



Долгих Н.Н