

ОТЗЫВ
официального оппонента
канд. физ.-мат. наук Ильясова Айдары Мартисовича
на диссертационную работу Каримовой Гульназ Римовны
«Теоретические исследования особенностей динамики упругих волн
в средах с газогидратными отложениями», представленную на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук по научной
специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность исследования.

Газогидраты представляют собой перспективный источник энергии благодаря их обширному распространению и значительным запасам углеводородов, особенно в водах Мирового океана. Гидраты метана существуют при высоком давлении и низкой температуре, при нарушении этих условий происходит их разложение, сопровождающееся высвобождением метана, что может приводить к негативным последствиям. Изучение акустических свойств гидратосодержащих пород является актуальной задачей. Теоретические модели, основанные на акустических свойствах таких пород, позволят более точно интерпретировать результаты акустических исследований и разрабатывать эффективные стратегии освоения и безопасной эксплуатации газогидратных месторождений, а также прогнозировать объемы, масштабы и предотвращать потенциальные экологические риски.

Новизна полученных результатов работы.

- Предложена оценка толщины гидратонасыщенного песка на основе анализа частотных характеристик волны Стоунли. При определённой частоте происходит вырождение волны Стоунли из-за соизмеримости длины волны с толщиной гидратонасыщенной области.
- Проведена оценка глубин проникновения продольных и поперечных волн в гидратонасыщенный песок при распространении волны Стоунли. Найдена глубина проникновения поперечных волн, которая превосходит в 2 раза глубину проникновения продольных волн в гидратонасыщенном песке.
- Показана возможность волнового канала для поперечных волн, распространяющихся в слое водонасыщенного песка, расположенного между водой и гидратонасыщенным песком. При коротковолновом приближении происходит локализация поверхностной волны в слое водонасыщенного песка, а при длинноволновом – распространение волны происходит без значительного затухания.
- Найдено условие для угла падения волны, при котором проявляются волноводные свойства в гидратонасыщенном песке для прошедшей поперечной волны.

ВХОД. №	5552-13
«23»	09 2025г.

– Предложено использовать поверхностные волны и при наклонном падении при одновременной регистрации продольных и поперечных волн в песчаном грунте для разведки газогидратов придонной зоны в рамках сейсморазведочных работ.

Научная и практическая значимость основных результатов.

Результаты диссертационного исследования имеют научную и практическую значимость. Работа расширяет теоретические знания о динамике волновых процессов в гидратонасыщенных средах. Выявленные особенности распространения поверхностных волн вертикальной и горизонтальной поляризации позволят разработать новые методы оценки толщины гидратонасыщенного песка на плоских границах. Практическая значимость состоит в возможности применения результатов работы для геофизических исследований, направленных на обнаружение газогидратов в песчаных грунтах на дне Мирового океана.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов обоснована применением фундаментальных уравнений механики сплошных сред и акустики, корректной постановкой физико-математических задач, которые согласуются с результатами экспериментальных данных и другими работами.

Содержание диссертационной работы.

Диссертация, объёмом 120 страниц, включает в себя введение, три главы, заключение, список основных обозначений и перечень использованной литературы, содержащий 140 наименований. Работа иллюстрирована 21 рисунком.

Во введении обосновывается актуальность проведённого исследования, определяются его цели и задачи, формулируются основные научные положения и полученные результаты. Подчёркивается достоверность результатов, а также демонстрируется научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе представлен обзор существующих исследований в области изучения свойств, методов обнаружения и проблем освоения газовых гидратов. Особое внимание уделено анализу работ, посвященных строению и морфологии газогидратных месторождений на дне океанов. Описаны лабораторные исследования акустических свойств гидратосодержащего песка и водонасыщенного песка при положительных температурах. Также представлен анализ моделей распространения акустических волн в пористых средах.

Вторая глава посвящена поверхностным волнам вертикальной и горизонтальной поляризации на границе раздела между водой и пористой средой, насыщенной водой или гидратом метана. Получены и проанализированы аналитические решения дисперсионных уравнений для

определения скорости поверхностных волн. Предложено использование частот, соответствующих вырождению волны Стоунли, для оценки толщины гидратосодержащих песчаных слоёв. Показано, что в слое водонасыщенного песка, находящемся над гидратосодержащей породой, волны горизонтальной поляризации могут локализоваться. Установлено, что при отсутствии газогидратов в нижнем полупространстве условие локализации нарушается при длине волны, превышающей толщину водонасыщенного слоя в несколько раз.

Третья глава посвящена исследованию об отражении и прохождении акустической волны при наклонном падении на границу раздела между водой и песком, насыщенным водой или газогидратом метана. Представлен анализ динамики импульсного сигнала при отражении и преломлении наклонной волны. Определены углы падения, при которых наблюдается вырождение прошедшей продольной волны в песок, насыщенном гидратом, а также проявление волноводных свойств для прошедшей поперечной волны.

В заключении приводятся основные результаты, полученные в ходе диссертационного исследования.

Замечания по диссертационной работе.

1. Почему в диссертационной работе отражённые и проходящие волны имеют ту же частоту, что и падающая волна? Возмущения многофазной границы могут изменять частоту этих волн.

2. На стр. 54 в формуле (2.1.8) нет выражения для компоненты вектора перемещения W_y ; это же касается компоненты тензора напряжений P_{yz} в формуле (2.1.9).

3. На стр. 54 в формулах (2.1.10), (2.1.11) нет условий непрерывности для компонент вектора перемещений W_x , W_y , а также компоненты тензора напряжений P_{yz} . Второе условие (2.1.10) – тривиальное условие симметрии тензора напряжений.

4. На стр. 65 в формулах (2.2.4), (2.2.5) нет условий непрерывности для компоненты вектора перемещений W_y , а также компоненты тензора напряжений P_{yz} .

5. На стр. 67 не выписано окончательное дисперсионное уравнение (2.2.12).

6. На стр. 72 в формулах (2.3.5)-(2.3.7) нет условий непрерывности для компонент W_x , W_z , а также компонент тензора напряжений P_{xz} , P_{zz} .

7. Почему в главе 3 при рассмотрении наклонного падения волн на границу раздела не рассматриваются волны горизонтальной поляризации? Они гораздо проще для изучения и не образуют сложных конфигураций при прохождении в эффективную твёрдую среду – в этом случае проходящая волна

не расщепляется на продольную и поперечную волну.

8. На стр. 85 в формулах (3.5)-(3.9) нет выражений для компоненты вектора перемещений W_y , а также компоненты тензора напряжений P_{yz} . Также для этих компонент и компоненты вектора перемещения W_x не выписаны условия непрерывности.

9. Стр. 92, первые 2 абзаца не соответствуют реальным данным для плотностей и скоростей звука, которые используются в разделе «Результаты расчётов». Кроме того, в последнем предложении п. 3.2 делается противоположный вывод.

10. Стр. 95, рис. 3.4. Коэффициенты отражения и прохождения продольной волны при нормальном падении волны ($\theta=0^\circ$, поперечной волны нет) связаны соотношением $M_l=1+N_l$. Поскольку пористая среда является акустически более жёсткой, то $N_l>0$ и $M_l>1$. Но при $\theta=0$ на рис. 3.4 $M_l<1$. Это неверно, поэтому не вызывают доверия все графики на этом рисунке.

11. Стр. 96, рис. 3.5. При критическом угле падения ($\theta>45^\circ$) имеется полное отражение от акустически более жёсткой среды и $N_l=1$. Почему при углах выше критического на рис. 3.5 угол сначала больше 2, а затем уменьшается. Также вызывает сомнения график для коэффициента прохождения поперечной волны. Что за пики и падения на рисунках а), б), в) в районе угла падения 30° ? Почему в работе рассматривается только одно значение водонасыщенности $S=0.2$ и не строятся аналогичные параметры при других насыщенностях?

12. В работе нет сравнения результатов с результатами серии работ из списка литературы диссертационной работы [27-29, 32, 33] (А.А. Губайдуллин, О.Ю. Болдырева, Д.Н. Дудко), где рассматривается более детальная многофазная модель. В представленной же диссертационной работе пористая среда (гидрато- и/или водонасыщенная) рассматривается как эффективное твёрдое тело с эффективной скоростью звука и плотностью.

Отмечены некоторые аспекты, требующие внимания, но они не влияют на общую положительную оценку работы в целом.

Заключение.

Диссертационная работа Каримовой Гульназ Римовны на тему «Теоретические исследования особенностей динамики упругих волн в средах с газогидратными отложениями» является завершённой научно-квалификационной работой, имеющей научную новизну и практическую значимость. Основные научные результаты диссертационного исследования представлены в 16 работах, изданных в рецензируемых журналах и научных

Считаю, что диссертационная работа соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции Постановления правительства РФ от 25.11.2024 г. № 62), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а автор Каримова Гульназ Римовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент: главный специалист отдела разработки проектов геомеханики и ГРП ООО «РН-БашНИПИнефть», кандидат физико-математических наук по научной специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

ИНН 0278123806

«РН-БашНИГНефть»
ЯОИ

ООО

«РН-БашНИГНефть»

ОГРН 1060278107780

/ Иль

/ Ильясов Айдар Мартисович

Общество с ограниченной ответственностью «РН-БашНИПИнефть»
450103, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Бехтерева 3/1
тел. +7 (347) 292-24-90, +7 (347) 293-60-10
e-mail: mail@bnipi.rosneft.ru

Подпись *Ильинцева И.М.* удостоверяю.

Кашникова Н.В. начальник отдела обеспечения персонала

