

УТВЕРЖДАЮ

ВРИО директора Института прикладной
математики РАН **М. В. Келдыша**
академик РАН
Б. Н. Четверушкин
10 сентября 2015 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Колесова Александра Егоровича
Численное моделирование проблем пороупругости,
представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое
моделирование, численные методы и комплексы программ

Цели исследования и актуальность темы

Целью диссертационной работы является разработка вычислительных алгоритмов на основе безусловно устойчивых схем расщепления для численного моделирования проблем пороупругости.

Математическая модель задач пороупругости представляет собой систему двух сильно завязанных уравнений с частными производными для давления жидкости и вектора перемещений среды. Для численного моделирования таких задач широко используются схемы расщепления по физическим процессам, которые позволяют перейти от системы уравнений к отдельным несвязанным более простым задачам для давления и перемещений.

В настоящее время существующие схемы расщепления для задач пороупругости строятся со строгой привязкой к физике процесса и полученные схемы зачастую являются неустойчивыми или условно устойчивыми. К тому же устойчивость данных схем чаще всего исследуется на основе численных экспериментов. Отсюда следует, что создание и строгое исследование безусловно устойчивых схем расщепления для задач пороупругости является актуальной проблемой вычислительной математики и математического

моделирования.

Полученные результаты и их научная новизна

В диссертационной работе на основе принципа регуляризации операторно-разностных схем А.А. Самарского построены схемы расщепления по физическим процессам для задач пороупругости. Безусловно устойчивость построенных схем достигается за счет выбора параметра регуляризация, который выступает в качестве веса в трехслойной разностной схеме. Исследование устойчивости новых схем базируется на теории устойчивости (корректности) операторно-разностных схем. Сформулировано условие устойчивости, зависящее только от свойств жидкости и пористой среды. Особое внимание уделяет частному случаю задачи пороупругости, когда рассматриваются пористые пластины. В данном случае деформации пластин характеризуются скалярной величиной и описываются эллиптическим уравнением четвертого порядка. Также разработан вычислительный алгоритм на основе схем расщепления для численного решения двумерных и трехмерных задач пороупругости при разработке месторождений нефти и газа.

Проведенные в диссертационной работе исследования имеют большое практическое значение. Построенные устойчивые схемы расщепления для задач пороупругости также применимы для задач термоупругости, когда вместо давления в качестве неизвестной выступает температура.

Содержание работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитированной литературы. Во **введении** приводится обзор литературы по теме диссертации, обосновываются актуальность исследований и формулируется цель работы.

В **первой** главе рассмотрены проблемы численного решения задач пороупругости. Вычислительный алгоритм основан на конечно-элементной аппроксимации по пространству. Для дискретизации по времени рассмотрены двухслойные схемы с весами и для них сформулированы условия устойчивости. Построена схема расщепления по физическим процессам. Сформулированы и доказаны теоремы об условиях устойчивости разработанной схемы.

Проведены численные эксперименты на модельных задачах, подтверждающие работоспособность и эффективность построенной схемы.

Во **второй** главе обсуждаются задачи пороупругости для пластин. Рассмотрены особенности конечно-элементной аппроксимации краевой задачи, построены неявные двухслойные схемы и трехслойные схемы расщепления для системы уравнений пороупругости для пластин. Теоретические результаты дополнены результатами численных экспериментов.

В **третьей** главе приведены результаты численного моделирования прикладных задач пороупругости, возникающих при разработке углеводородных месторождений. Рассмотрен процесс деформирования трехмерного однородного пористого нефтенасыщенного пласта с нагнетательными и добывающими скважинами. Построен вычислительный алгоритм на основе схем расщепления по физическим процессам, существенно уменьшающий вычислительные затраты. Расчеты выполнены на суперкомпьютере с использованием эффективных библиотек для параллельных научных и инженерных вычислений.

В **заключении** сформулированы основные результаты работы. **Список литературы** содержит 148 ссылок на зарубежные и отечественные научные работы по тематике работы, что адекватно отражает текущее состояние исследований.

Замечания

По существу работы имеются следующие замечания.

1. Многие важные проблемы вычислительной технологии (аппроксимация по пространству, вычислительная реализации предложенных алгоритмов, разработанное программное обеспечение) изложены слишком кратко, без конкретизации важных деталей. Это, конечно, уместно в научных статьях, но не всегда в диссертационной работе.
2. Разработанные вычислительные алгоритмы ориентированы на параллельные вычислительные системы. Принимая во внимание особую важность возможностей и эффективности распараллеливания при приближенном решении прикладных проблем, автор мог бы изложить эти вопросы более полно с расширением иллюстративного материала.

Приведенные замечания носят редакционный характер и не являются существенными.

Заключение

В целом мнение о работе положительное. Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу. Достоверность полученных результатов показана тестовыми расчетами на модельных задачах, сформулированы теоремы, имеющие строгое математическое обоснование. Результаты исследований изложены в 6 публикациях, 2 из которых входят в перечень ВАК, прошли апробацию на ряде конференций, в том числе международного уровня. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Полученные результаты могут быть рекомендованы к использованию в ИПМ РАН им. М.В.Келдыша, Институте проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Институте проблем нефти и газа РАН, Институте вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова и других организациях, ведущих научные исследования по моделированию проблем термо- и пороупругости.

Представленная диссертационная работа Колесова А.Е. удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсуждены на заседании семинара отдела № 16 "Математического моделирования и проблем вычислительной среды для высокопроизводительных вычислений" ИПМ РАН им. М.В.Келдыша 7 сентября 2015 года, протокол заседания № 6.

Старший научный сотрудник
отдела №16 ИПМ им. М.В. Келдыша РАН
кандидат физико-математических наук



Н.Г. Чурбанова