МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ
ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ Д 01. 04. 250

На правах рукописи
УДК 532.546

Чечейбаев Аманбек Байышевич

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА МЕТОДА ДАВЫДОВА И АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНЕРЦИОННЫХ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ТЕЧЕНИЙ

Специальность 01.02.05. – «Механика жидкости, газа и плазмы»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Бишкек – 2005

Диссертационная работа выполнена на кафедре нефтегазовой и подземной гидромеханики Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина (г. Москва).

Научный руководитель:

Президент Национальной Академии прикладных наук России, Академик Королевской АН Испании, Почетный Академик НАН Кыргызской Республики, Заслуженный деятель науки и техники России, доктор физико-математических наук, профессор **Давыдов Ю. М.**

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор **Бийбосунов Б. И.**

кандидат физико-математических наук **Токтакунов Т.**

Ведущая организация: **Кыргызско-Российский (Славянский) университет**

Защита состоится 15 февраля 2005 г. в 14.00 часов на заседании Межведомственного диссертационного совета Д 01.04.250 по присуждению ученых степеней доктора (кандидата) физико-математических наук при Кыргызском государственном университете строительства, транспорта и архитектуры и Кыргызском Национальном университете им. Жусупа Баласагына по адресу: 720020, Кыргызская Республика, г.Бишкек, ул. Малдыбаева, 34 б, корпус 1, ауд. 406.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры.

Автореферат диссертации разослан «15» января 2005 г.

Ученый-секретарь межведомственного диссертационного совета, кандидат физико-математических наук, доцент Осмонов К.Т.

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Традиционным уравнением подземной гидромеханики, характеризующим процесс фильтрации жидкости в пористой среде, является экспериментально установленный закон А.Дарси. В настоящее время закон А. Дарси широко применяется при прогнозировании процессов разработки месторождений нефти и газа. Однако проведенные в последние три десятилетия на месторождениях промысловые измерения скоростей фильтрации и давления в условиях достаточно резких изменений давления во времени показали очень большое отличие данных измерений от предвычисленных, где при вычислениях в качестве динамического уравнения использовался закон А.Дарси.

В связи с этим возникает проблема моделирования фильтрационных течений при использовании более совершенных моделей фильтрации. В данной работе в качестве динамического фильтрации использовалась современная нелинейная модель академика С.А. Христиановича, которая обобщает закон А. Дарси на случай учета сил инерции и больших градиентов давления и пористости среды.

В настоящее время для решения современных задач фильтрации нефти и газа широко используются методы вычислительного эксперимента. Ярким представителем методов вычислительного эксперимента является разработанный Ю.М. Давыдовым метод крупных частиц, который ныне носит имя автора - метод Давыдова.

Одной из важных проблем современной вычислительной науки является исследование нелинейных свойств разностных схем методов численного моделирования на ЭВМ. Одним из мощных методов исследования нелинейных разностных схем метода Давыдова является аппарат метода дифференциальных приближений. Исследование нелинейных свойств разностных схем позволяет управлять внутренними свойствами разностных схем при проведении устойчивых численных расчетов на ЭВМ.

Вместе с этим в настоящее время также играют важную роль аналитические методы решения задач нестационарной фильтрации. Представляется актуальным аналитическое моделирование инерционных фильтрационных течений при использовании современных нелинейных моделей фильтрации.

Актуальность диссертационной темы определяется также необходимостью разработки численных подходов для моделирования на ЭВМ одно- и двухфазных фильтрационных течений, описываемых линейным законом А. Дарси и современной моделью С.А. Христиановича. Применение таких методик позволяет улучшить достоверность и качество решений задач проектирования, анализа, оптимизации и регулирования разработки месторождений нефти и газа.

Целью диссертационной работы является:

1) Разработка единого численного подхода к моделированию инерционных фильтрационных течений методом Давыдова при использовании в качестве уравнения движения нелинейной фильтрационной модели С.А. Христиановича, создание программного комплекса для расчета фильтрационных течений при использовании традиционной линейной модели А. Дарси и современной нелинейной модели академика С.А. Христиановича, тестирование полученных численных алгоритмов на решении задач, допускающих аналитические решения;

2) Исследование нелинейных свойств предложенных разностных схем метода Давыдова для решения задач подземной гидромеханики при использовании указанных выше линейной и нелинейной моделей;

3) Проведение аналитических исследований для расчета инерционной фильтрации по модели академика С.А. Христиановича.

Методика исследования задач нестационарной подземной гидромеханики на ЭВМ связана с применением одного из мощных методов современного вычислительного эксперимента метода Давыдова, хорошо себя зарекомендовавшего при решении сложных задач механики сплошных и сыпучих сред.

Методика решения аналитических задач инерционной фильтрации и исследования нелинейных разностных схем связана с применением современной теории уравнений в частных производных и мощного аппарата метода дифференциальных приближений.

Личный вклад в решение проблемы. Постановка задач и обсуждение полученных результатов проводились при постоянном участии научного руководителя Академика Ю.М. Давыдова. Автор выражает огромную благодарность своему научному руководителю Академику Ю.М. Давыдову за постоянное внимание и заботу. При выполнении данной работы он оказывал мне постоянную поддержку и уделял много внимания. Каждый полученный результат подробно обсуждался: индивидуально, а также на научных семинарах Ю.М. Давыдова и других многих научных семинарах и конференциях

Постановка задач и консультации по аналитическому моделированию пространственно-трехмерных инерционных фильтрационных течений проведены к.ф.-м.н., доц. Б. Чечейбаевым.

Диссертационная работа является результатом исследований, проведенных автором с 1997 г. Личный вклад автора состоит в решении постановленных задач, получении аналитических решений, исследовании нелинейных разностных схем, составлении программ на языке Фортран-90 по реализации применяемого в работе численного метода, проведении вычислительных экспериментов и обработке результатов, а также в написании научных статей и представлении результатов на международных и всероссийских конференциях и конгрессах.

Научная новизна. Наиболее существенные результаты, полученные в диссертационной работе:

1. Впервые предложены разностные схемы метода Давыдова для решения задач подземной гидромеханики при использовании модельного уравнения академика С.А. Христиановича и проведен сравнительный анализ численных решений, полученных при использовании модельных уравнений при использовании модели С.А. Христиановича с численными решениями, полученными при использовании традиционной модели А.Дарси и известными аналитическими решениями модельных задач.

2. Впервые исследованы нелинейные свойства разностных схем метода Давыдова для решения задач инерционной фильтрации при использовании модельного уравнения С.А. Христиановича: определены гиперболическая форма четвертого дифференциального приближения (Г-форма четвертого д.п.), параболическая форма второго дифференциального приближения (П-форма второго д.п.), элементы матрицы аппроксимационной вязкости.

3. Впервые определены элементы матрицы аппроксимационной дисперсии при использовании модельного уравнения А. Дарси.

4. Получен класс аналитических решений задачи о плоскорадиальном притоке жидкости к скважине при использовании модельного уравнения С.А.Христиановича.

5. Выведено дифференциальное уравнение в частных производных относительно потенциала скорости, описывающее пространственно-трехмерную фильтрацию совершенного газа при использовании модельного уравнения С.А. Христиановича.

6. Выведена рекуррентная система дифференциальных уравнений второго порядка для моделирования пространственно-трехмерной фильтрации газа в пласте при использовании модельного уравнения С.А. Христиановича и найден класс точных аналитических решений полученного дифференциального уравнения в случае нулевого приближения потенциала скорости возмущения.

Практическая ценность работы. Полученные условия устойчивости разностных схем метода Давыдова при использовании модельных уравнений А.Дарси и С.А. Христиановича могут быть применены пользователями данного численного метода при проведении устойчивых численных расчетов для моделирования фильтрационных течений в пористой среде. Полученные в диссертации численный алгоритм, программа расчета на ЭВМ методом Давыдова и точные аналитические решения дают возможность производить инженерные расчеты фильтрации жидкости и газа в пористой среде.

Степень достоверности полученных результатов. Достоверность полученных в работе численных решений при использовании модельных уравнений А. Дарси и С.А. Христиановича подтверждена как теоретическими исследованиями (исследованием дифференциальных приближений разностных схем метода Давыдова, анализом их устойчивости, точности и сходимости расчетами на различных сетках и др.), так и сравнением численных решений с известными аналитическими решениями. Полученные в диссертационной работе аналитические решения удовлетворяют соответствующим исходным дифференциальным уравнениям фильтрации при использовании модели С.А. Христиановича, а также начальным и граничным условиям задач.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на Юбилейном международном симпозиуме «Актуальные проблемы механики сплошных и сыпучих сред» (Москва, Национальная Академия прикладных наук (НАПН) РФ, 1997 г.), на третьей научно-технической конференции "Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России" (Москва, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 1999 г.), на II Международном симпозиуме «Актуальные проблемы механики сплошных и сыпучих сред» (Москва, НАПН РФ, 1999 г.), на третьей всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов по проблемам газовой промышленности "Новые технологии в газовой промышленности" (Москва, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 1999 г.), на III Международном конгрессе «Актуальные проблемы механики сплошных и сыпучих сред» (Москва, НАПН

РФ, 2000 г.), на научном семинаре кафедры нефтегазовой и подземной гидромеханики РГУ нефти и газа им И.М. Губкина (Москва, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2000 г.), на V Юбилейных чтениях, посвященных 90-летию со дня рождения М.Я. Давыдова (Москва, НАПН РФ, 2000 г.), на четвертой научно-технической конференции «Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России» (Москва, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2001 г.), на международной научной конференции «Проблемы математического моделирования и информационных технологий» (Бишкек, НАН КР, 2001 г.), на международной конференции «Модернизация высшей школы в переходный период: состояние и перспективы» (Бишкек, КГПУ им. И. Арабаева, 2002 г.), на международной научной конференции «Современные проблемы механики сплошных сред» (Бишкек, Комитет по теоретической и прикладной механике Кыргызстана, 2002 г.), на юбилейной научно-практической конференции, посвященной 70-летию факультета физики и электроники КНУ им. Ж. Баласагына (Бишкек, КНУ им. Ж.Баласагына, 2003 г.), на научном семинаре кафедры нефтегазовой и подземной гидромеханики РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина (Москва, РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 2003 г.).

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликованы 22 печатных работ, в том числе 7 тезисов докладов международных и всероссийских конференций и конгрессов, состоявшихся в г. Москве и 15 научных статей.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 190 страницах, включая 29 рисунков, графиков и состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы из 136 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении дается общая характеристика проблем вычислительной математики и подземной гидромеханики, описывается введенная Ю.М.Давыдовым систематизация численных методов по поколениям в соответствии с общепринятой классификацией поколений ЭВМ, обосновывается выбор предложенного Ю.М. Давыдовым одного из мощных методов современного вычислительного эксперимента - метода крупных частиц, который носит ныне имя автора. Отмечается выдающийся вклад в развитие теории фильтрации жидкости и газа крупнейшего механика современности академика С.А. Христиановича.

В первой главе, состоящей из пяти параграфов, предложен численный алгоритм метода Давыдова для моделирования безинерционных одно- и двухфазных фильтрационных изотермических течений при использовании в качестве динамического уравнения традиционной модели А. Дарси, также с помощью мощного аппарата метода дифференциальных приближений исследованы нелинейные свойства предложенных разностных схем применяемого в работе численного метода: определены элементы матриц аппроксимационной вязкости и дисперсии.

Предложенный в этой главе численный алгоритм предназначен для решения систем уравнений в частных производных подземной гидромеханики, состоящих из уравнения неразрывности, баротропных уравнений состояния для жидкости и пористой среды течения и закона Дарси, который для однофазного случая имеет следующий вид:

$$\vec{W} = -\frac{k}{\mu}\nabla p, \qquad (1)$$

где $\vec{W}$ - скорость фильтрации, k - коэффициент проницаемости пласта, μ - вязкость жидкости, p - давление.

Гиперболическая форма четвертого дифференциального приближения имеет следующий вид:

$$m\frac{\partial\rho}{\partial t} + div(\rho\bar{w}) = \frac{\Delta x}{2}\frac{\partial}{\partial x}(\frac{\partial\rho}{\partial x}u) - \frac{\Delta x^2}{4}\frac{\partial}{\partial x}(\frac{\partial\rho}{\partial x}\frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\Delta x^3}{8}\frac{\partial^2\rho}{\partial x^2}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + (-\frac{\Delta x^2}{6}\rho + \frac{\Delta x^3}{12}\frac{\partial\rho}{\partial x} - \frac{\Delta x^4}{24}\cdot$$
$$\cdot\frac{\partial^2\rho}{\partial x^2})\cdot\frac{\partial^3 u}{\partial x^3} + (-\frac{\Delta x^2}{6}u + \frac{\Delta x^3}{12}\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\Delta x^4}{24})\frac{\partial^3\rho}{\partial x^3} + (\frac{\Delta x^3}{24}u - \frac{\Delta x^4}{8}\frac{\partial u}{\partial x})\frac{\partial^4\rho}{\partial x^4} - \frac{\Delta x^4}{48}\frac{\partial\rho}{\partial x}\frac{\partial^4 u}{\partial x^4} - \frac{\Delta x^4}{120}u\frac{\partial^5\rho}{\partial x^5} -$$
$$\frac{\partial^3 u}{\partial x^3} + (-\frac{\Delta x^2}{6}u + \frac{\Delta x^3}{12}\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\Delta x^4}{24})\frac{\partial^3\rho}{\partial x^3} + (\frac{\Delta x^3}{24}u - \frac{\Delta x^4}{8}\frac{\partial u}{\partial x})\frac{\partial^4\rho}{\partial x^4} - \frac{\Delta x^4}{48}\frac{\partial\rho}{\partial x}\frac{\partial^4 u}{\partial x^4} - \frac{\Delta x^4}{120}u\frac{\partial^5\rho}{\partial x^5} - \frac{\Delta x^4}{120}\cdot$$
$$\cdot\rho\frac{\partial^5 u}{\partial x^5}u + \frac{\Delta y}{2}\frac{\partial}{\partial y}(v\frac{\partial\rho}{\partial y}) - \frac{\Delta y^2}{4}\frac{\partial}{\partial y}(\frac{\partial\rho}{\partial y}\frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\Delta y^3}{8}\frac{\partial^2\rho}{\partial y^2}\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + (-\frac{\Delta y^2}{6}\rho + \frac{\Delta y^3}{12}\frac{\partial\rho}{\partial y} - \frac{\Delta y^4}{24}\frac{\partial^2\rho}{\partial y^2})\frac{\partial^3 v}{\partial y^3} +$$
$$(-\frac{\Delta y^2}{6}v + \frac{\Delta y^3}{12}\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\Delta y^4}{24}\frac{\partial^2 v}{\partial y^2})\frac{\partial^3\rho}{\partial y^3} + (\frac{\Delta y^3}{24}v - \frac{\Delta y^4}{8}\frac{\partial v}{\partial y})\frac{\partial^4\rho}{\partial y^4}) - \frac{\Delta y^4}{48}\frac{\partial\rho}{\partial y}\frac{\partial^4 v}{\partial y^4} - \frac{\Delta y^4}{120}\rho\frac{\partial^5 v}{\partial y^5} -$$
$$-\frac{\Delta y^4}{120}v\frac{\partial^5\rho}{\partial y^5} - m\frac{\Delta t}{2}\frac{\partial^2\rho}{\partial t^2} - m\frac{\Delta t^2}{6}\frac{\partial^3\rho}{\partial t^3} - m\frac{\Delta t^3}{24}\frac{\partial^4\rho}{\partial t^4} - m\frac{\Delta t}{120}\frac{\partial^5\rho}{\partial t^5} + O(\Delta x^5, \Delta y^5, \Delta t^5). \qquad (2)$$

Параболическая форма дифференциального приближения примет вид

$$m\rho_p\frac{\partial p}{\partial t} = a_{11}\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + 2a_{12}\frac{\partial^2 p}{\partial x\partial y} + a_{22}\frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + b_{11}\frac{\partial^3 p}{\partial x^3} + b_{12}\frac{\partial^3 p}{\partial x\partial y^2} + b_{21}\frac{\partial^3 p}{\partial x^2\partial y} + b_{22}\frac{\partial^3 p}{\partial y^3}. \qquad (3)$$

Выпишем элементы матрицы аппроксимационной вязкости:

$$a_{11} = \beta\rho + \Delta x u\rho_p + \frac{\Delta x^2}{4}\frac{\partial u}{\partial x}\rho_p - \frac{\Delta t}{2m}(4u^2 + 2v^2 + |uv|\rho_p) + \frac{\Delta t^2}{6m}\{5u^2\rho_p\frac{\partial u}{\partial x} + 4\beta u\frac{\partial\rho}{\partial x}\frac{\partial u}{\partial x} + 2u^2\rho_p\frac{\partial v}{\partial y} +$$
$$+\beta u\frac{\partial v}{\partial y}(2\frac{\partial\rho}{\partial x} + \frac{\partial\rho}{\partial y}) + \beta u(\frac{\partial v}{\partial x}\frac{\partial\rho}{\partial y} + uv\rho_p\frac{\partial u}{\partial y} + 2\beta v\frac{\partial v}{\partial y}\frac{\partial\rho}{\partial y} + 2uv\rho_p\frac{\partial v}{\partial y} + 2\beta v\frac{\partial u}{\partial y}\frac{\partial\rho}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial x}\beta\frac{\partial\rho}{\partial y} +$$
$$+(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y})(4u^2 + 2v^2 + |uv|)\rho_p\},$$

$$2\cdot a_{12} = -\frac{1}{m}|uv|\rho_p + \frac{\Delta t}{6m}\{uv\rho_p(2\frac{\partial u}{\partial x} + 3\frac{\partial v}{\partial y}) + 2u\frac{\partial u}{\partial x}(v\rho_p + \beta\frac{\partial\rho}{\partial y}) + u\frac{\partial v}{\partial x}(\beta\frac{\partial\rho}{\partial x} + 3u\rho_p) + 2v\frac{\partial v}{\partial y}\cdot$$
$$\cdot(\beta\frac{\partial\rho}{\partial x} + u\rho_p) + v\frac{\partial u}{\partial y}(3\rho_p v + \beta\frac{\partial\rho}{\partial y}) + uv\rho_p(3\frac{\partial u}{\partial x} + 2\frac{\partial v}{\partial y})\}, \qquad (4)$$

$$a_{22} = \beta\rho + \Delta y v\rho_p + \frac{\Delta y^2}{4}\rho_p\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\Delta t}{2m}(4v^2 + 2u^2 + |uv|\rho_p) + \frac{\Delta t^2}{6m}\{2\beta u\frac{\partial u}{\partial x}\frac{\partial\rho}{\partial x} + u\frac{\partial v}{\partial y}\beta\frac{\partial\rho}{\partial x} +$$
$$+2u\frac{\partial v}{\partial x}(\beta\frac{\partial\rho}{\partial y} + v\rho_p) + 5v^2\rho_p\frac{\partial v}{\partial y} + 4\beta v\frac{\partial v}{\partial y}\frac{\partial\rho}{\partial y} + 2\rho_p\frac{\partial u}{\partial x}v^2 + \beta v\frac{\partial u}{\partial x}\frac{\partial\rho}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial x}\beta(2\frac{\partial\rho}{\partial y} + \frac{\partial\rho}{\partial x}) +$$
$$+uv\rho_p\frac{\partial v}{\partial x} + (\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y})(4v^2 + 2u^2 + |uv|)\rho_p\},\text{ где } \beta = -k/\mu.$$

Вторая глава диссертации состоит из пяти параграфов. Здесь предложен численный алгоритм метода Давыдова для решения задач одно- и двухфазной инерционной изотермической фильтрации при использовании в качестве динамического уравнения нелинейной модели С.А. Христиановича. В качестве динамического уравнения рассматривалось модельное уравнение С.А.Христиановича:

$$\rho \frac{d\vec{U}}{dt} + \varepsilon^2 (\nabla p + \beta \cdot p \nabla \ln m) + \frac{\mu \cdot m}{\lambda} \vec{U} = 0, \qquad (5)$$

где $\vec{U} = (u, v)$ - вектор действительной (гидродинамической) скорости жидкости, β - безразмерная физическая характеристика пласта $(0 < \beta < 1)$, величины $[\lambda] = L^2$ и $[\varepsilon^2] = 1$ связаны с коэффициентом проницаемости k в модели А. Дарси так: $k = \lambda \cdot \varepsilon^2$.

С помощью метода дифференциальных приближений исследованы нелинейные свойства разностных схем метода Давыдова для моделирования инерционных фильтрационных течений: определены гиперболическая форма четвертого дифференциального приближения, параболическая форма второго дифференциального приближения, из которой определены элементы матрицы аппроксимационной вязкости.

Для расчета, как по инерционной, так и инерционной модели во внутренних точках области интегрирования используются схемы второго порядка точности. При численном моделировании граничных условий на внешних и внутренних границах области интегрирования для единообразия вычислений используется предложенный автором метода Ю.М. Давыдовым методика фиктивных ячеек. При решении тестовых задач в данной работе были использованы схемы второго порядка точности по обеим моделям фильтрации.

Выпишем элементы матриц аппроксимационной вязкости для инерционной модели фильтрации:

- a_{11} - коэффициент при производной $\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}$,

$$a_{11} = \Delta x \cdot mu + \frac{\Delta x^2}{4} \frac{\partial u}{\partial x} m - \frac{1}{2} \Delta t \Delta x \cdot u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\Delta t}{2} \varepsilon^2 m p_\rho - \frac{\Delta x \Delta t}{4\rho} m \{\varepsilon^2 (4 \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{p}{m} \beta \frac{\partial m}{\partial x}) + \frac{2\mu m u}{\lambda}\}$$

- a_{12} - коэффициент при производной $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$,

$$a_{12} = \frac{\Delta x^2}{4} \frac{\partial \rho}{\partial x} m - \frac{\Delta x^2}{8} \rho \frac{\partial m}{\partial x} + \frac{1}{2} \Delta t \rho m u - \frac{\Delta x \Delta t}{2} m u \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{3}{4} \Delta t \Delta x^2 \frac{\mu}{\lambda} m \frac{\partial m}{\partial x}, \qquad (6)$$

a_{13} - коэффициент при производной $\frac{\partial^2 m}{\partial x^2}$,

$$a_{13} = \frac{\Delta x^2}{8} \rho \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \Delta t \varepsilon^2 \beta p + \Delta t \Delta x^2 \frac{\mu}{\lambda} (\frac{1}{4} \frac{\partial}{\partial x}(mu) + \frac{m}{2} \frac{\partial u}{\partial x}).$$

Третья глава, состоящая из пяти параграфов, посвящена аналитическому исследованию инерционных фильтрационных течений в пласте при использовании уравнения С.А. Христиановича.

Рассмотрено неустановившееся фильтрационное течение жидкости в окрестности скважины в горизонтально расположенном пласте постоянной мощности. Рассмотрена система уравнений радиального фильтрационного течения в слое единичной мощности по модели С.А.Христиановича без учета сил сопротивления

$$\begin{cases} (1+B)\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial R} + \frac{u}{R} = 0, \\ (1+B)S^2 \frac{\partial z}{\partial R} + \frac{\partial u}{\partial t} = 0, \end{cases} \qquad (7)$$

где R – расстояние от оси скважины до рассматриваемой точки, $B = \frac{m_0}{m} \frac{n \cdot p_{00}}{k_m}$,

S – скорость распространения возмущений.

Найдены следующие общие решения системы (7):

а) $\vartheta(R,t) = A(S^2 t^2 R + \frac{1}{4} R^3)$, $z(R,t) = -\frac{1}{m_0(1+B)} A \cdot (\frac{2}{3} S^2 t^3 + R^2 t) + C$, $A = const, C = const.$

б) $\vartheta(R,t) = \tilde{B} \cdot S \cdot R \cdot t$, $z(R,t) = -\frac{\tilde{B} S \cdot t^2}{m_0(1+B)} - \frac{\tilde{B} \cdot R^2}{2(1+B)Sm_0} + C$, $\tilde{B} = const, C = const.$

в) $\vartheta(R,t) = \frac{\tilde{B} St}{R}$, $z(R,t) = -\frac{\tilde{B}}{(1+B)Sm_0} \cdot \ln R + C$, $\tilde{B} = const, C = const.$ (8)

г) $\vartheta(R,t) = C_1 \cdot \frac{St}{R} + C_2 \cdot \sqrt{1 - \frac{S^2 t^2}{R^2}}$, $z(R,t) = -\frac{C_2}{(1+B)m_0 S} \arcsin \frac{St}{R} - \frac{C_1}{(1+B)m_0 S} \ln R + C$, $C_1, C_2, C = const.$

Далее рассмотрена радиальная фильтрация жидкости вокруг единичной скважины в слое единичной мощности пласта по модели С.А. Христиановича в случае учета сил сопротивления. Математическая модель выглядит так:

$$\begin{cases} (1+B)\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial R} + \frac{u}{R} = 0, \\ (1+B)S^2 \frac{\partial z}{\partial R} + \frac{\partial u}{\partial t} + \xi \cdot u = 0. \end{cases} \qquad (9)$$

Решение данной системы сводится к решению уравнения типа телеграфного относительно действительной скорости u. Найдены следующие аналитические решения:

а) $\vartheta(R,t) = (C_1 \cdot e^{k_1 t} + C_2 \cdot e^{k_2 t}) \cdot \tilde{Z}_\nu(R\sqrt{\lambda})$, $k_{1,2} = \frac{-\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 4\lambda \cdot S^2}}{2}$,

$$z(R,t) = -\frac{1}{(1+B)m_0} (\frac{C_1}{k_1} e^{k_1 t} + \frac{C_2}{k_2} e^{k_2 t})(\sqrt{\lambda} \cdot \tilde{Z}_\nu(\sqrt{\lambda} \cdot R) + \frac{\tilde{Z}_\nu(\sqrt{\lambda} \cdot R)}{R}) + C.$$

б) $\vartheta(R,t) = e^{-\alpha t} \cdot \tilde{Z}_\nu(R\sqrt{\lambda})$, $\nu = \pm 1$, $\lambda = \frac{\alpha^2}{S^2}(\frac{\xi}{\alpha} - 1)$, $\alpha = const.$

$$z(R,t) = -\frac{1}{\alpha \cdot (1+B)m_0} (\sqrt{\lambda} \cdot \tilde{Z}_\nu(\sqrt{\lambda} \cdot R) + \frac{\tilde{Z}_\nu(\sqrt{\lambda} \cdot R)}{R}) \cdot e^{-\alpha t} + C. \qquad (10)$$

в) $\vartheta(R,t) = C_1 t^2 R + t \cdot (C_3 \cdot R + \frac{C_1 \xi}{4S^2} \cdot R^3) + C_5 R + \frac{C_6}{R} + \frac{1}{8S^2}(C_3 \xi + 2C_1)R^3 + \frac{C_1 \xi^2 R^5}{96 S^4}$

$$z(R,t) = \frac{-1}{(1+B)m_0} (\frac{2C_1 t^3}{3} + C_3 t^2 + \frac{C_1 \xi}{2S^2} R^2 t^2 + t \cdot (2C_5 + \frac{(C_3 \xi + 2C_1)R^2}{2S^2} + \frac{C_1 \xi^2 R^4}{16 S^4})) -$$

$$- \frac{1}{(1+B)m_0 S^2} ((C_3 + C_5 \xi)\frac{R^2}{2} + \frac{1}{32 S^2}(C_3 \xi^2 + 4C_1 \xi)R^4 + C_6 \xi \ln R + \frac{C_1 \xi^3 R^6}{576 S^4}).$$

Здесь α, $C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C$ - постоянные. Далее, учитывая, что $z = \ln(\rho / \rho_{00})$, определены соответствующие распределения плотности.

Для полученных общих решений были определены постоянные интегрирования при решении задачи о плоскорадиальном притоке слабосжимаемой жидкости по модели С.А. Христиановича из бесконечности к единичной скважине, на которой поддерживается постоянное давление. В начальный момент пласт здесь принимается невозмущенным.

В пятом параграфе третьей главы приведены результаты аналитического моделирования пространственно-трехмерных инерционных фильтрационных течений при использовании модельного уравнения С.А. Христиановича. Здесь рассмотрена система уравнений фильтрации по используемой в данной работе нелинейной модели, состоящая из уравнения неразрывности, уравнения С.А.Христиановича и уравнение состояния для газа.

Здесь вводится потенциал скорости φ в виде $U - \nabla\varphi$ и функция, аналогичная функции Лейбензона в подземной гидрогазодинамике в виде $P(\rho) = \int \frac{dp}{\rho}$. Далее получено уравнение типа Эйлера относительно потенциала скорости в виде

$$\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2} + 2u\frac{\partial^2\varphi}{\partial x\partial t} + 2v\frac{\partial^2\varphi}{\partial y\partial t} + 2w\frac{\partial^2\varphi}{\partial z\partial t} + \left(u^2 - \frac{\varepsilon^2(1+\beta)}{\gamma+1}a^2\right)\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \left(v^2 - \frac{\varepsilon^2(1+\beta)}{\gamma+1}a^2\right)\frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} +$$
$$+ \left(w^2 - \frac{\varepsilon^2(1+\beta)}{\gamma+1}a^2\right)\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} + 2uv\frac{\partial^2\varphi}{\partial x\partial y} + 2uw\frac{\partial^2\varphi}{\partial x\partial z} + 2vw\frac{\partial^2\varphi}{\partial y\partial z} = 0 \qquad (11)$$

Далее, используя метод возмущений, выведена рекуррентная система дифференциальных уравнений относительно потенциала скорости для исследования пространственно-трехмерной фильтрации газа в пласте:

$$\frac{\tilde\varphi_{0tt}}{a_*^2} - (1-M_1^2)\tilde\varphi_{0xx} - \tilde\varphi_{0yy} - \tilde\varphi_{0zz} + \frac{2w_1}{a_*^2}\tilde\varphi_{0xt} = 0,$$

$$\frac{\tilde\varphi_{ntt}}{a_*^2} - (1-M_1^2)\tilde\varphi_{nxx} - \tilde\varphi_{nyy} - \tilde\varphi_{nzz} + \frac{2M_1^2}{w}\tilde\varphi_{nxt} =$$

$$= - \frac{2}{w_1}\sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{ix}\tilde\varphi_{(n- \ )} \quad \frac{1}{w_1}\sum_{i=0}^{n-1}T_i\tilde\varphi_{(n-2- \ )} \quad \frac{\ \ ^2(\gamma-1)}{2(\gamma+1)} \quad \frac{2}{w_1^2}\sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{it}\tilde\varphi_{(n-1-i)xx} +$$
$$\frac{2}{w_1^2}\sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{it}\tilde\varphi_{(n-1- \ )} \quad \frac{2}{w_1^2}\sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{it}\tilde\varphi_{(n-1- \ )} \quad \frac{2}{w_1^2}\sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{it}\tilde\varphi_{(n-1-i)zz} +$$
$$\frac{2}{w_1}\sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{ix}\tilde\varphi_{(n-1- \ )} \quad \frac{2}{w_1}\sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{ix}\tilde\varphi_{(n-1-i)zz} + \sum_{i=0}^{n-2}R_i\tilde\varphi_{(n-2-i)xx} + \sum_{i=0}^{n-2}s_i\tilde\varphi_{(n-2-i)xx} +$$
$$+ \sum_{i=0}^{n-2}p_i\tilde\varphi_{(n-2-i)xx} + \sum_{i=0}^{n-2}R_i\tilde\varphi_{(n-2-i)yy} + \sum_{i=0}^{n-2}s_i\tilde\varphi_{(n-2-i)yy} + \sum_{i=0}^{n-2}p_i\tilde\varphi_{(n-2-i)yy} + \qquad (12)$$
$$+ \sum_{i=0}^{n-2}R_i\tilde\varphi_{(n-2-i)zz} + \sum_{i=0}^{n-2}s_i\tilde\varphi_{(n-2-i)zz} + \sum_{i=0}^{n-2}p_i\tilde\varphi_{(n-2-i)zz}\} - \quad \frac{\ }{w_1})^2\sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{ix}\tilde\varphi_{(n-1-i)xt} -$$

$$-2\left(\frac{M_1}{w_1}\right)^2\sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{iy}\tilde\varphi_{(n-1-i)yt} - 2\left(\frac{M_1}{w_1}\right)^2\sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{iz}\tilde\varphi_{(n-1-i)zt} - 2\cdot\frac{M_1^2}{w_1}\{\sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{iy}\tilde\varphi_{(n-1-i)xy} +$$
$$+ \sum_{i=0}^{n-1}Q_i\tilde\varphi_{(n-2-i)xy}\} - \frac{2M_1^2}{w_1}\{\sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{iz}\tilde\varphi_{(n-1-i)xz} + \sum_{i=0}^{n-2}M_i\tilde\varphi_{(n-2-i)xz}\} -$$
$$- \frac{2M_1^2}{w_1^2}\{\sum_{i=0}^{n-2}R_i\tilde\varphi_{(n-2-i)yz}, \text{ где } n = 1,2,..., \quad T_{n-2} = \frac{1}{w_1}\sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{ix}\tilde\varphi_{(n-2-i)x},$$

$$R_{n-2} = \frac{1}{w_1^2}\sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{ix}\tilde\varphi_{(n-2-i)x},$$

$$s_{n-2} = \frac{1}{w_1^2}\sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{iy}\tilde\varphi_{(n-2-i)y}, \quad p_{n-2} = \frac{1}{w_1^2}\sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{iz}\tilde\varphi_{(n-2-i)z}, \quad Q_{n-2} = \frac{1}{w_1}\sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{ix}\tilde\varphi_{(n-2-i)y},$$

$$M_{n-2} = \frac{1}{w_1}\sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{ix}\tilde\varphi_{(n-2-i)z}, \quad R_{n-2} = \sum_{i=0}^{n-1}\tilde\varphi_{iy}\tilde\varphi_{(n-2-i)z}.$$

В конце пятого параграфа третьей главы найден класс точных общих решений полученного дифференциального уравнения, записанного относительно нулевого приближения потенциала скорости возмущения.

В четвертой главе, состоящей из двух параграфов, приведены результаты численных расчетов при использовании модельных уравнений А.Дарси и С.А. Христиановича. Для тестирования предложенных в первых двух главах диссертации разностных моделей фильтрации была решена задача, допускающая аналитические решения в двух различных постановках. Рассматривалась задача о притоке слабосжимаемой жидкости в полубесконечном пласте заданными постоянными значениями толщины и ширины избесконечности к добывающей галерее, которая в первой постановке работала при постоянном давлении, а во второй - при постоянном объемном дебите. Жидкость принималась слабосжимаемой, учитывалась объемная упругость пласта. Проведенные расчеты на ЭВМ и сравнительный анализ полученных численных решений с точными аналитическими решениями данной задачи в обеих постановках показали высокую точность полученных численных решений. Относительная ошибка численных решений по методу Давыдова при использовании двух вышеупомянутых модельных уравнений фильтрации не превышала 3,5%. При расчетах методом Давыдова по обеим моделям фильтрации в этой главе характерные параметры были выбраны следующими: $\rho_0 = 10^3$ кг/куб. м., $p_0 = 10$ МПа, $\mu_0 = 10^{-3}$ Па*с, $L_0 = 10$ м, $\varepsilon_0^2 = 10^{-8}$, $\lambda_0 = 10^{-3}$ кв.м, $k_0 = 10^{-11}$ кв.м, $T_0 = 10^3$ сек., $\rho_0 = 10^3$ кг/куб. м., Q_0 1 куб.м/сек.

На рис.1 показаны графики безразмерного давления в трех различных моментах времени (X^* - безразмерное расстояние от данной точки до галереи в начале координат) T_1 1.0, T_2 5.0, T_3 50.0 при безразмерных начальных $p_k = 1$, $p_g = 0.85$, 0.20, $\varepsilon^2 = 1.0$, 0.10, 0.1, 0.30, 1.00, 1.0, 1.0, $\beta_{жид.} = 0.1$, $\beta_{сред.} = 0.001$.

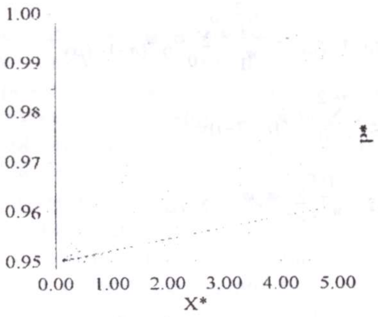

Рис.1.

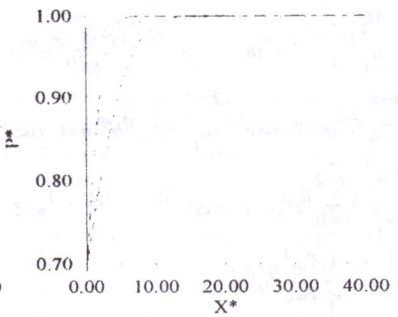

Рис.2.

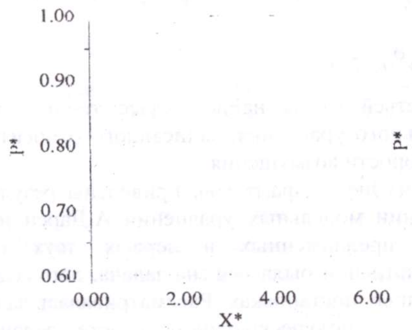

Рис.3

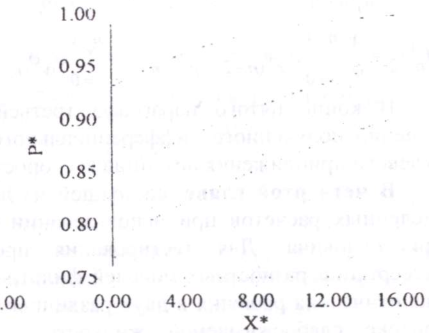

Рис.4

На рис.2 показаны графики безразмерного давления в двух различных моментах времени $T_1 = 10.0, T_2 = 50.0$ при начальных данных $p_k = 1$, $p_g = 0.70$, $\beta = 0.60$, $\varepsilon^2 = 0.80$, $\lambda = 0.0125$, $k = 0.01$, $m_0 = 0.25$, $\mu = 3.70$, $H = 1.0$, $B = 1.0$, $\beta_{жид.} = 0.05$, $\beta_{сред.} = 0.001$.

На рис.3 приведены профили безразмерного давления в двух моментах времени $T_1 = 5.0, T_2 = 10.0$ при начальных $p_k = 1$, $Q_0 = 0.05$, $\beta = 0.15$, $\varepsilon^2 = 0.20$, $\lambda = 0.05$, $k = 0.01$, $m_0 = 0.27$, $\mu = 5.57$, $H = 10.0$, $B = 10.0$, $\beta_{жид.} = 0.05$, $\beta_{сред.} = 0.001$.

На рис.4 изображены профили безразмерного давления в трех моментах времени $T_1 = 10.0, T_2 = 50.0, T_3 = 100.0$ при $p_k = 1$, $Q_0 = 0.05$, $\beta = 0.35$, $\varepsilon^2 = 0.60$, $\lambda = 0.5$, $k = 0.3$, $m_0 = 0.27$, $\mu = 5.57$, $H = 10.0$, $B = 10.0$, $\beta_{жид.} = 0.05$, $\beta_{сред.} = 0.001$.

Далее была рассмотрена аналогично рассмотренной выше задача о расчете притока однофазной двухкомпонентной среды (нефть-вода) к добывающей галерее, которая работает с заданным объемным дебитом по первой компоненте (нефть). Пласт принимался однородным как по проницаемости, так и по пористости. В качестве точного решения принимались численные решения, полученные по модели А. Дарси. Здесь вода принималась несжимаемой, а для нефти была принята модель слабосжимаемой жидкости.

Проведенные расчеты на ЭВМ показали высокую степень совпадения численных решений по модели С.А. Христиановича с аналогичными решениями

по модели А. Дарси: абсолютные отклонения решений по нелинейной модели от решений по линейной модели (при $T = 20.0$) не превышали 3,5%.

Для исследования численного алгоритма метода Давыдова при использовании модели С.А. Христиановича в пространственно-двумерном случае была рассмотрена тестовая задача о расчете фильтрации нефти (слабосжимаемой жидкости) в горизонтальном пласте.

Гипотетическая залежь нефти имеет прямоугольную форму в плане и разрабатывается двумя горизонтальными скважинами одинаковой длины. До начала разработки залежи пластовое давление постоянно и равно 10 МПа. Толщина пласта $h = 10$ м. Границы пласта непроницаемы. В момент времени $t = 0$ включают в работу две добывающие горизонтальные скважины с одинаковым постоянным во времени объемным дебитом. Пластовая нефть имеет следующие характеристики: плотность при атмосферном давлении 855 кг/м^3, вязкость $\mu = 5.57$ мПа*с, коэффициент объемной упругости $\beta_ж = 3 \cdot 10^{-9}$ Па$^{-1}$.

Пористость пласта в начальный момент времени во всех численных расчетах принималась равной 0,25. Коэффициент объемной упругости пласта $\beta_c = 10^{-10}$ Па$^{-1}$, учитывалась объемная упругость пласта.

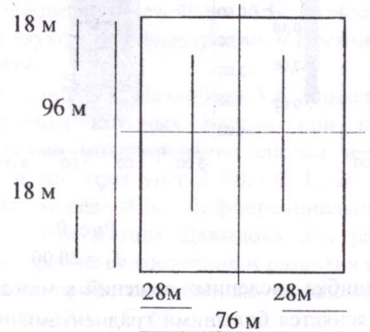

Рис. 5

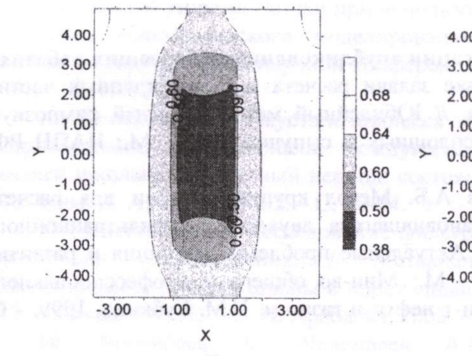

Рис. 6
$T_1 = 10.00$

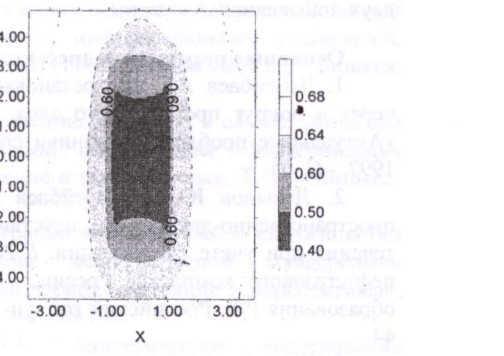

Рис. 7
$T_1 = 10.00$

На рис.6 - рис.9 представлены изолинии поля давления численных решений по моделям С.А.Христиановича (сплошные линии) и А.Дарси (штрих-пунктирные линии) в последовательные моменты времени. Исходные безразмерные данные для численных расчетов, представленных на рис.6 - рис.9, были следующими: $Q_0 = 0.01, k = 0.10, \varepsilon^2 = 1.00, \lambda = 0.10, \beta = 0.20$.

Численные решения, полученные по модели А.Дарси, принимались за точные. При $T = 5.00$ вдоль внешних границ области интегрирования относительная ошибка решений по нелинейной модели колебались в диапазоне от 0.1 до 0.4 %. При $T = 10.00$ аналогичные показатели в области между горизонтальных скважин составляли $1.2 - 1.6\%$, в то время как эти показатели вблизи внешних границ области интегрирования составляли $0.5 - 0.7\%$. Это объясняется появлением небольших градиентов давления в межскважинной области в результате их эксплуатации.

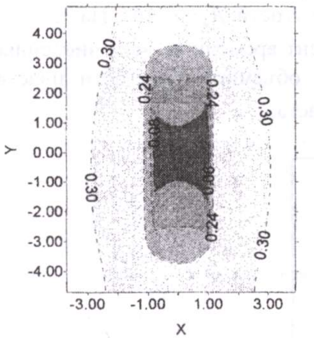

Рис. 8
$T_2 = 20.00$

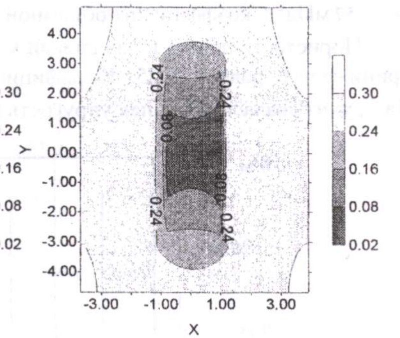

Рис. 9
$T_2 = 20.00$

При $T_4 = 20.00$ относительная ошибка численных решений в межскважинной области достигает 15.00 %, что объясняется большими градиентами пластового давления и большими скоростями фильтрации в этой зоне, как следствие работы двух добывающих скважин.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Чечейбаев А.Б. О постановке задачи расчета методом крупных частиц через и вокруг проницаемого слоя. // Юбилейный международный симпозиум «Актуальные проблемы механики сплошных и сыпучих сред. - М.: НАПН РФ, 1997. - С. 65.

2. Давыдов Ю.М., Чечейбаев А.Б. Метод крупных частиц для расчета пространственно-двумерного неустановившегося двухфазного фильтрационного течения при учете сил инерции. // Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России. – М.: Мин-во общего и профессионального образования РФ, Российский гос. ун-т нефти и газа им. И.М. Губкина, 1999. - С. 44.

3. Чечейбаев А.Б. Алгоритм метода крупных частиц Давыдова для расчета фильтрационных течений с учетом инерционных эффектов. // II Международный симпозиум «Актуальные проблемы механики сплошных и сыпучих сред». - М.: НАПН РФ, 1999. - С. 42.

4. Чечейбаев А.Б. Расчет методом Давыдова притока упругой жидкости к галерее скважин при различных моделях фильтрации. // Труды III Международного конгресса «Актуальные проблемы механики сплошных и сыпучих сред». - М.: НАПН РФ, 2000. - С. 104.

5. Чечейбаев А.Б. Матрицы аппроксимационной вязкости и дисперсии разностных схем метода Давыдова для изотермической фильтрации при использовании модели А. Дарси. // Труды III Международного конгресса «Актуальные проблемы механики сплошных и сыпучих сред». - М.: НАПН РФ, 2000. - С. 63.

6. Чечейбаев А.Б. Тестовые расчеты методом крупных частиц Ю.М.Давыдова одно- и двухфазных фильтрационных течений. // Тезисы докладов третьей всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов по проблемам газовой промышленности России «Новые технологии в газовой промышленности». - М.: РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 1999. - С. 57.

7. Чечейбаев Б., Чечейбаев А.Б. Разностные схемы метода крупных частиц двумерной однофазной фильтрации. // Вестник технологического ун-та «Дастан». - Бишкек, 1999.

8. Чечейбаев Б., Чечейбаев А.Б. Разностные схемы метода крупных частиц двумерной двухфазной фильтрации. // Вестник технологического ун-та «Дастан». - Бишкек, 1999.

9. Давыдов Ю.М., Чечейбаев А.Б. Моделирование фильтрационных течений в пласте методом крупных частиц при различных моделях фильтрации // Математическое моделирование систем и процессов. Сб. научных трудов. - Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2000. - С. 11-20.

10. Чечейбаев А.Б. Дифференциальные приближения второго порядка разностных схем метода Давыдова для расчета фильтрационных течений. // Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса. – М.: Мин-во общего и профессионального образования РФ, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2001. - С. 65.

11. Чечейбаев А.Б. Исследование разностных схем метода Давыдова для задач подземной гидромеханики при использовании модели С.А.Христиановича. // Проблемы математического моделирования и информационных технологий. Доклады международной научной конференции (11-12 октября 2001 г.). - Бишкек, 2001. - С. 196-201.

12. Чечейбаев А.Б. Неустановившееся течение жидкости в случае учета сил сопротивления. // Материалы международной конференции «Модернизация высшей школы в переходный период: состояние и перспективы». Т. 1. – Бишкек: КГПУ им. И. Арабаева, 2002. – С. 90-94.

13. Чечейбаев А.Б. Исследование фильтрации жидкости около скважины без учета сил сопротивления. // Материалы международной конференции «Модернизация высшей школы в переходный период: состояние и перспективы». Т. 1. – Бишкек: КГПУ им. И. Арабаева, 2002. – С. 95-104.

14. Чечейбаев Б., Чечейбаев А.Б. Аналитическое исследование пространственно-трехмерных инерционных фильтрационных течений газа в

пористой среде при использовании модели С.А. Христиановича. // Современные проблемы механики сплошных сред. Вып.2. Гидроаэромеханика и экзогенно-геологические процессы. - Бишкек, Комитет по теоретической и прикладной механике Кыргызстана, 2002. - С. 189-197.

15. Чечейбаев А.Б. Исследование нелинейных свойств разностных схем метода Давыдова для моделирования фильтрационных течений в пористой среде. // Современные проблемы механики сплошных сред. Вып.2. Гидроаэромеханика и экзогенно-геологические процессы. - Бишкек, Комитет по теоретической и прикладной механике Кыргызстана, 2002. - С. 197-205.

16. Чечейбаев Б., Чечейбаев А.Б., Исманбаев А. Вывод дифференциального уравнения неустановившегося инерционного фильтрационного движения газа в пласте при использовании модельного уравнения С.А. Христиановича. // Современные проблемы механики сплошных сред. Вып.2. Гидроаэромеханика и экзогенно-геологические процессы. - Бишкек, Комитет по теоретической и прикладной механике Кыргызстана, 2002. - С. 183-189.

17. Чечейбаев Б., Чечейбаев А.Б., Исманбаев А. О некоторых примерах установившихся пространственных течений сжимаемой жидкости. // Состояние и перспективы технико-экономического развития Кыргызстана. Материалы международной научно-практической конференции. - Бишкек: КГУСТА, 2003. - С. 32-37.

18. Чечейбаев А.Б., Чечейбаев Б. Аналитическое моделирование плоскорадиального фильтрационного притока жидкости к скважине при использовании современной модели С.А. Христиановича. // Вестник КНУ. Серия 3. Естественные науки. - Вып. III. Физика и физическое образование: Материалы юбилейной научно-практической конференции, посвященной 70-летию факультета физики и электроники КНУ им. Ж. Баласагына. - Бишкек: КНУ им. Ж.Баласагына, 2003. - С. 101-107.

19. Чечейбаев А.Б. Метод Давыдова для моделирования пространственно-двумерных фильтрационных течений при учете инерционных эффектов. // Вестник КНУ. Серия 3. Естественные науки. - Вып. III. Физика и физическое образование: Материалы юбилейной научно-практической конференции, посвященной 70-летию факультета физики и электроники КНУ им. Ж. Баласагына. - Бишкек: КНУ им. Ж.Баласагына, 2003. - С. 95-101.

20. Чечейбаев А.Б., Чечейбаев Б. Метод крупных частиц Давыдова для решения задач подземной гидродинамики. // Международный семинар "Вычислительные методы и решение оптимизационных задач". Материалы семинара. - Новосибирск: Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Национальная Академия наук Кыргызской Республики, 2004. - С. 178-185.

21. Чечейбаев Б., Чечейбаев А.Б., Сейталиев У. Исследование пространственных околозвуковых течений газа в сопле с плоской звуковой поверхность перехода. // Международный семинар "Вычислительные методы и решение оптимизационных задач". Материалы семинара. - Новосибирск: Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Национальная Академия наук Кыргызской Республики, 2004. - С. 186-192.

22. Чечейбаев А.Б., Исманбаев А., Чечейбаев Б. Исследование нестационарной инерционной фильтрации газа в пласте при использовании модельного уравнения С.А.Христиановича. // Известия Национальной Академии наук Республики Казахстан. Алматы: Гылым, 2005. №2.

АННОТАЦИЯ

Чечейбаев Аманбек Байышевич

"Исследование алгоритма метода Давыдова и аналитические методы для моделирования инерционных фильтрационных течений"

Диссертационная работа посвящена решению актуальных задач науки и техники - численному и аналитическому решению задач нестационарной фильтрации жидкости и газа при учете инерционных эффектов.

Численное исследование нестационарных задач подземной гидромеханики проводится с помощью одного из мощных методов современнного вычислительного эксперимента - метода Давыдова.

Рассмотрена комплексная физико-математическая модель академика С.А.Христиановича, которая обобщает традиционную модель фильтрации Дарси на случай учета сил инерции и больших градиентов давления.

Нелинейные свойства разностных схем метода Давыдова исследованы с помощью мощного аппарата метода дифференциальных приближений.

С помощью современного математического аппарата аналитически исследованы инерционные фильтрационные течения по модели фильтрации академика С.А. Христиановича.

АННОТАЦИЯ

Чечейбаев Аманбек Байышевич

"Инерциялуу фильтрациялык агымдарды моделдештирүү үчүн аналитикалык ыкмалар жана Давыдовдун методунун алгоритмин изилдөө

Диссертациялык иш илим менен техниканын актуалдуу маселелерине - инерциялык эффектилерди эсепке алуу менен суюктуктун жана газдын стационардуу эмес фильтрациясынын маселелерин аналитикалык жана сандык чыгарууга арналган.

Жер астынын гидромеханикасынынын стационардуу эмес маселелерин сандык изилдөө заманбап эсептөө экспериментинин эң кубаттуу ыкмаларынын бири болгон Давыдовдун ыкмасы менен жүргүзүлөт.

Фильтрация илиминде салттуу түрдө колдонулган Дарси моделин инерциялык күчтөрдү жана басымдын чоң градиенттерин эске алуу менен жалнылоочу академик С.А. Христиановичтин физика-математикалык модели каралган.

Давыдовдун методунун сызыктуу эмес чектүү айырмалары дифференциалдык жакындатуу аттуу кубаттуу ыкмасынын аппараты менен изилденген.

Бул иште математикалык аппараттын эн акыркы жетишкендиктерин колдонуу менен академик С.А. Христиановичтин фильтрация модели аркылуу инерциялык агымдар аналитикалык түрдө изилденген.

ANNOTATION

Amanbek B. Checheibaev

"The Research of Davydov's Method and analytical methods for modeling of inertial fluids percolation."

Checheibaev's dissertation devoted to the solution of the urgent scientific and technical problems - numerical and analytical solutions of nonstationary underground hydrodynamics under considering of inertial efficacy.

The complex physical model of academician Sergei A. Christianovitch is considered.

The numerical solutions of nonstationary hydrodynamics are obtained by Davydov's Method.

The properties of nonlinear schemes of Davydov's Method are investigated.

The problems of inertial fluids percolation investigated on the use of model of academician Sergei A. Christianovitch and modern mathematical methods.

Отпечатано в типографии КНУ им. Ж.Баласагына
Тираж 120 экз.
Заказ №56