

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт	Природных ресурсов
Направление подготовки	Нефтегазовое дело
Кафедра	Геологии и разработки нефтяных месторождений

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
АДАПТИВНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ СТВОЛА СКВАЖИНЫ

УДК 622.276.6:532.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5В	Бу Куанг Дык		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор каф. ГРНМ	Сергеев В.Л.	Д.Т.Н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ЭПР	Шарф И.В.	К. Э. Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент каф. ЭБЖ	Немцова О.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Заведующий кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент каф. ГРНМ	Чернова О.С.	К.Г-М.Н.		

Томск – 2017 г

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	16
ГЛАВА 1. ОБЗОР МЕТОДОВ ИНТЕРПРЕТАЦИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ГДИС (КВД, КВУ, КПД, КСД) НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН С ПЕРЕМЕННЫМ ДЕБИТОМ И УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ СТОЛА СКВАЖИНЫ	20
1.1. Методы интерпретации нестационарных ГДИС с учетом дебита послепритока (методы, основанные на интегральном уравнении забойного давления и его упрощениях)	20
1.2. Графо-аналитические методы, модели и алгоритмы интерпретации нестационарных ГДИС с учетом влияния ствола скважины, основанные на решении уравнения деконволюции.....	26
1.3. Адаптивная идентификация и интерпретация нестационарных ГДИС с учетом переменного дебита и влияния ствола скважины.....	31
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ АДАПТИВНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ГДИС В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ МОДЕЛИ ВЛИЯНИЯ СТОЛА СКВАЖИНЫ	37
2.1. Адаптивная интерпретация результатов гидродинамических исследований по КВД, КВУ в условиях неопределенности модели влияния ствола скважины (модели и алгоритмы)	37
2.2. Оптимизация алгоритмов адаптивной идентификации и интерпретации ГДИС по КВД, КВУ с учетом влияния ствола скважин	40
2.3. Интерпретация результатов ГДИС адаптивным методом детерминированных моментов давлений (ДМД) в условиях неопределенности модели влияния ствола скважины (модели и алгоритмы)	41
ГЛАВА 3. АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ АДАПТИВНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГДИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ СТОЛА СКВАЖИНЫ И ПЕРЕМЕННОГО ДЕБИТА ПО ПРОМЫСЛОВЫМ ДАННЫМ	

(СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ)	46
3.1. Анализ точности методов учета послепритока и влияния ствола скважины при интерпретации КВД, КВУ по промысловым данным.....	46
3.2. Анализ точности интерпретации результатов ГДИС адаптивным методом детерминированных моментов давлений с учетом влияния ствола скважины..	51
3.3. Программные средства адаптивной интерпретации ГДИС по КВД с учетом послепритока и влияния ствола скважины.....	53
ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ РЕСУРСО-ЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	63
4.1. Чистый дисконтированный доход (NPV)	64
4.2. Внутренняя норма доходности (IRR).....	65
4.3. Срок окупаемости (PP)	66
ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.	68
5.1. Профессиональная социальная безопасность	68
5.2. Экологическая безопасность.....	78
5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	81
5.4. Законодательное регулирование проектных решений.....	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	86
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	89
ПРИЛОЖЕНИЕ	97

ВВЕДЕНИЕ

Одним из многих направлений научно-технических процессов в решении задач разработки нефтяных месторождений является формирование новых и улучшение традиционных известных гидродинамических исследований пласта и скважины, результаты которого, на стадии разработки нефтяных месторождений являются частью проектных технологических документов и широко используются в процессе анализа, контроля и регулирования выработки запасов УВ. К сегодняшнему времени достаточно накоплен богатый опыт в области гидродинамических исследований скважин и пластов.

Нестационарные ГДИС по КВД являются наиболее востребованным и информативным методом извлечения важной информации о параметрах нефтяных и газовых пластов, в базе которых осуществляются процессы добычи нефти, составление технологических проектов разработки месторождений, создание геолого-технологических моделей процесса нефтегазодобычи, в силу доступности получения необходимых для обработки исходных данных (забойного, затрубного и буферного давлений, динамических уровней скважины) в связи с широким внедрением в практику нефтегазодобычи стационарных информационно измерительных телеметрических систем.

Задача идентификации является необходимой частью интерпретации ГДИ нефтяных и газовых скважин, которая состоит в создании оптимальной, в смысле показателей качества, моделей параметров скважины (оценки забойного давления, динамического уровня, температуры и т. п.) и оценок неизвестных фильтрационных емкостных параметров, энергетического состояния и геометрических параметров нефтяных и газовых пластов. Можно отметить, что бывают многие методы решения вопросов идентификации для ГДИ (метод касательных, метод наилучшего совмещения, метод детерминированных моментов и т. д.) не гарантируют устойчивость оценок фильтрационных параметров пласта и допустимые точности решений. Ошибка и низкая точность

определения параметров обычно проявляется в условиях малых данных (выборок), из-за того, что проходятся технические причины, в том числе нужно совершать исследование с целью уменьшения потери добычи нефти из-за течения длительного времени простоя скважины. Изменение режима работы скважины, неоднородности и эффект влияния границ пласта приводят к появлению дефектных дебитов жидкости в скважине и забойных давлений, что является причиной ошибки.

Перспективным направлением разработки методов идентификации и диагностики параметров нефтяных пластов являются адаптивные технологии ГДИС, которые позволяют определять фильтрационные емкостные параметры и энергетическое состояние залежей в процессе проведения гидродинамических исследований, не планируя заранее время их завершения, что существенно сокращает время простоя скважин. Адаптивная технология ГДИС с учетом дополнительной априорной информации позволяет обрабатывать любые недовосстановленные КВД по различным техническим причинам, это существенно расширяет возможности традиционных методов интерпретации, которые часто требуются проведения достаточно длительных исследований для получения радиального режима притока.

Использование адаптивной технологии с учетом дополнительной априорной информации является актуальным в процессе проведения ГДИС оснащенных стационарно-измерительными системами, также для залежей с трудно извлекаемыми запасами, где псевдорadiaльный режим потока не наблюдается вообще, а билинейный, линейные и ранний радиальный потоки скрыты.

Проблемой обработки результатов гидродинамических исследований скважин по коротким кривым восстановления давления при отсутствии радиального режима течения, является эффект влияния ствола скважины, особенно скважины, находятся в низкопроницаемых коллекторах. Трудность решения данной задачи заключается в том, что на начальный участок КВД

влиять много факторов, учесть которые не представляется возможным в силу проблемы выбора подходящей модели.

Следует отметить, что разработанные аналитические модели и алгоритмы интерпретации ГДИС с учетом продолжающегося притока продукции после остановки скважины обеспечивают ранний выход на радиальный поток, но обычно не дают удовлетворительного решения вопросов интерпретации коротких недовосстановленных КВД (КВУ, КПД). Для решения отмеченных проблем в данной работе предложен метод адаптивной интерпретации ГДИС по КВД с учетом влияния ствола скважины и априорной информации о фильтрационных параметрах пласта.

Данной работой является развитие метода интегрированных систем моделей для ГДИС по КВД, где предлагались и исследовались модели и алгоритмы адаптивной интерпретации результатов нестационарных ГДИ нефтяных скважин в условиях непараметрической неопределенности модели учитывающего влияния ствола и наряду определить параметры пластов с использованием априорной информации последовательно при проведения исследований, что позволяет планировать длительность исследований в процессе их проведения, сократить время простоя скважин и увеличить добычу нефти.

Целью работы является разработка и исследование моделей и алгоритмов адаптивной интерпретации нестационарных гидродинамических исследований скважин по кривой восстановления давления нефтяных месторождений с учетом влияния ствола скважины и дополнительной априорной информации о параметрах залежи, повышение точности оценок фильтрационных параметров нефтяных пластов и сокращение времени простоя скважин.

Для достижения поставленных целей исследований необходимо решить следующие задачи:

1. Обзор традиционных и современных методов интерпретации нестационарных ГДИС с учетом влияния ствола скважины (проблемы

повышения точности определения параметров нефтяных пластов в условиях переменного дебита, влияния ствола скважины, отсутствия радиального течения).

2. Разработка моделей и алгоритмов адаптивного метода интерпретации ГДИС в условиях непараметрической неопределенности модели влияния ствола скважины.

3. Исследование точности моделей и алгоритмов адаптивной интерпретации ГДИС с учетом влияния ствола скважины по промысловым исходным данным.

Обоснованность и достоверность результатов диплома

Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждается традиционными методами обработки данных гидродинамических исследований нефтяных скважин и методом с использованием программы Сапфира.

АННОТАЦИЯ

Объектом исследования является адаптивная идентификация и интерпретация нестационарных гидродинамических исследований нефтяных скважин с учетом влияния ствола скважины.

Целью работы является разработка моделей и алгоритмов адаптивной интерпретации нестационарных ГДИС нефтяных месторождений с учетом влияния ствола скважины, повышение точности оценок параметров нефтяных пластов и сокращение времени простоя скважин.

В первом разделе выпускной квалификационной работы приведены обзор методов моделей и алгоритмов интерпретации, нестационарных ГДИС нефтяных месторождений с учетом дебита послепритока, основанные на интегральном уравнении забойного давления и его упрощениях и алгоритмы интерпретации нестационарных ГДИС с использованием метода деконволюции, основанного на решении интегрального уравнения Вольтерра 1-го рода. Так же рассмотрены современные адаптивные системы интерпретации результатов ГДИ интеллектуальных скважин оснащенных стационарными измерительными системами, в которых модели и алгоритмы, основанные на восстановлении забойного давления с идентификацией начального участка КВД в условиях параметрической неопределенности модели влияния ствола скважины.

Во втором разделе предложена интегрированная система моделей КВД с переменными, зависящими от времени параметрами с учетом дополнительной априорной информации для решения задачи адаптивной интерпретации результатов ГДИ в условиях непараметрической априорной неопределенности модели ВСС. Рассмотрена проблема адаптации интегрированной системы моделей связанная с определением неизвестных параметров модели КВД, управляющих параметров и предложен метод ее решения основанный по декомпозиции решения оптимизационных задач. Рассмотрена актуальная проблема интерпретации коротких недовосстановленных КВД адаптивным методом ДМД. Для решения задачи оценки пластового давления, прогноза

забойного давления на невосстановленном участке КВД, оценок ДМД, оценок фильтрационных параметров пласта и диагностического коэффициента предложено использовать интегрированную систему моделей КВД с переменными параметрами в условиях неопределенности модели ВСС и адаптивные алгоритмы идентификации.

В третьем разделе провели сравнительный анализ точности методов интерпретации КВУ четырех вертикальных скважин нефтяных месторождений Тюменской области. В качестве методов интерпретации использованы: адаптивный метод с учетом дебита послепритока, адаптивный метод с учетом влияния ствола скважин, адаптивный метод без учета влияния ствола скважины, традиционный метод касательных, метод наилучшего совмещения и Сапфир. В результате интерпретации сделан вывод об эффективности рассмотренного адаптивного метода. Проведен сравнительный анализ точности интерпретации коротких недовосстановленных КВД двух вертикальных скважин адаптивным методом ДМД с учетом и без учета влияния ствола скважины. Приведена структура и функции разработанного комплекса программ адаптивной идентификации и интерпретации нестационарных ГДИС с учетом влияния ствола скважин на языке VBA.

В четвертом разделе проведен анализ экономической эффективности при использовании программы адаптивной интерпретации результатов гидродинамических исследований 6 нефтяных скважин Тюменской области с учетом влияния ствола скважины.

Кроме того, в разделе социальной ответственности уделено внимание правовым нормам трудового законодательства, анализ вредных и опасных факторов, которые значительно влияют на производительность и безопасность труда при проведении исследований на рабочем месте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Задача определения фильтрационных емкостных параметров и энергетического состояния нефтяных пластов была рассмотрена на основе метода интегрированных систем моделей на кафедре геологии и разработки нефтяных месторождений (ГРНМ) Национального исследовательского Томского политехнического университета, разработанного профессором В.Л. Сергеевым, который позволяет учитывать различные дополнительные априорные информации, экспертные оценки и накопленный опыт, являющегося развивающимся направлением интерпретации результатов нестационарных ГДИС в настоящее время. Нерешенными проблемами при интерпретации ГДИС традиционными методами являются обеспечение устойчивости, повышение точности результатов и сокращение времени простоя скважин. Для решения этих проблем предложен адаптивный метод интерпретации и идентификации результатов ГДИС с учетом априорной информации разработанный на кафедре ГРНМ.

Однако, в настоящее время появляется задача интерпретации ГДИС по коротким недовосстановленным КВД при отсутствии радиального режима течения, полученным по ряду технических причин. Сложность решения данной задачи традиционными графо-аналитическими методами обусловлена:

1. необходимостью определять параметры нефтяных пластов в процессе проведения гидродинамических исследований в режиме реального времени без участия квалифицированного интерпретатора;
2. отсутствием на КВД участка радиального режима течения;
3. отсутствием модели начального участка КВД в связи с влиянием множества факторов (приток жидкости течет в стволе скважины, отложение парафина и т. п.).

Данная работа была посвящена разработке моделей и алгоритмов адаптивной интерпретации результатов ГДИС нефтяных месторождений с учетом влияния ствола скважины для повышения точности полученных результатов и сокращения времени исследований. Предложен метод

адаптивной интерпретации КВД с учетом влияния ствола скважины, позволяющий определять гидропроводность, пьезопроводность, пластового давления и скин-фактор скважины, детерминированные моменты давлений и диагностический коэффициент скважины по коротким КВД (в пределах 5-20 часов гидродинамических исследований) в условиях отсутствия радиального режима течения.

Разработанные модели, алгоритмы и программные средства могут быть использованы в системах оперативной обработки результатов гидродинамических исследований интеллектуальных скважин в режиме реального времени.

Экономический расчет показал огромную экономическую эффективность при использовании программы адаптивного метода интерпретации результатов ГДИ нефтяных скважин с учетом ВСС в производстве.

Из результатов диссертации было опубликовано 3 статьи и докладывались на XXI международном симпозиуме имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых "Проблемы геологии и освоения недр", г. Томск - 2017г.