

На правах рукописи

ОДИВАНОВ ВЛАДИМИР ЛЕОНИДОВИЧ

**СПОСОБЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ НЕФТЕВОДОНАСЫЩЕННЫХ ПЛАСТОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОЛН ДАВЛЕНИЯ**

Специальность 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань 2011

Работа выполнена на кафедре радиоэлектроники Казанского (Приволжского) федерального университета.

Научный руководитель Доктор физико-математических наук, доцент
Овчинников Марат Николаевич

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор
Морозов Олег Геннадьевич
Казанский государственный технический
университет им. А.Н. Туполева

Кандидат технических наук
Марфин Евгений Александрович
Исследовательский центр проблем энергетики
Казанского научного центра Российской
академии наук

Ведущая организация: ООО «ТНГ – Групп» (ОАО
«Татнефтегеофизика») (г. Бугульма, РТ)

Защита состоится 4 марта 2011 г. в 14:00 на заседании диссертационного Совета Д 212.079.04 при ГОУ ВПО «Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева» по адресу: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 31.

Ваши отзывы, заверенные печатью, просим выслать по адресу 420111, г. Казань, ул. К.Маркса, д.10 на имя ученого секретаря.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева, с авторефератом – на сайте КГТУ: <http://www.kai.ru>

Автореферат разослан 4 февраля 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Седов С.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время при разработке нефтяных месторождений становится обязательным элементом проведение комплекса исследований, которые позволяют оценить текущие запасы углеводородов, разработать оптимальную технологию их добычи, создать и поддерживать постоянно действующую компьютерную модель месторождения, управлять процессом его разработки. В этот комплекс входят как лабораторные эксперименты с образцами кернов, извлеченными при бурении скважин, и пробами жидкостей, так и исследования, проводимые различными методами непосредственно на промысловых площадях. Именно промысловые измерения составляют наиболее трудоемкую и дорогостоящую часть комплекса. Проведение таких исследований предполагает необходимость остановки или снижения добычи нефти на участке на время проведения замеров, а также непосредственное участие в них квалифицированных специалистов. Важным фактором снижения трудоемкости промысловых экспериментов, повышения качества получаемых результатов и уменьшения затрат времени является автоматизация операций с использованием современных средств измерения, управления оборудованием и компьютерных технологий. Среди различных методов гидродинамических исследований значительными потенциальными возможностями и преимуществами обладает метод фильтрационных волн давления (ФВД). Его реализация предполагает одновременное включение в эксперимент нескольких скважин, автоматизацию управления их режимами и регистрацией данных, применение специфических способов интерпретации получаемых результатов. Оптимальное решение задач автоматизации промысловых исследований должно ориентироваться на специфику условий действующих месторождений, которые в значительной степени отличаются от условий заводского производства. В связи с этим развитие способов проведения замеров по методу ФВД, автоматизация измерений, разработка алгоритмов и программ обработки данных являются актуальной задачей, решение которой имеет важное значение для контроля и управления разработкой месторождений.

Объект исследования: методы и средства проведения промысловых экспериментов по определению гидродинамических характеристик нефтеводонасыщенных пластов.

Предмет исследования: средства автоматизации контроля состояния и параметров потоков жидкостей в скважинах, способы проведения исследований и расчета фильтрационных параметров пласта по методу фильтрационных волн давления.

Цель работы: повышение эффективности промысловых гидродинамических исследований пластов за счет сокращения затрат на

проведение измерений фильтрационных параметров пласта в призабойной зоне скважины при сохранении точности и частотного диапазона, уменьшения длительности эксперимента по исследованию межскважинных интервалов при контролируемых значениях погрешностей, повышения уровня автоматизации промысловых исследований.

Научная задача исследования – разработка научно-методических основ проектирования, построения и применения автоматизированного аппаратно-программного комплекса для промысловых гидродинамических исследований нефтеводонасыщенных пластов с использованием метода фильтрационных волн давления. Для достижения поставленных целей и решения научной задачи необходимо решение следующих вопросов:

1. Моделирование гидродинамических процессов в объеме скважины для устранения систематической погрешности данных давления и расхода жидкости, измеренных на ее устье.
2. Анализ погрешностей расчета фильтрационных параметров пласта в межскважинных интервалах при сокращении времени эксперимента.
3. Анализ специфики обработки данных промысловых экспериментов по методу фильтрационных волн давления и разработка программных средств для контроля данных в ходе замеров и расчета фильтрационных параметров пласта.
4. Обоснование принципов разработки средств автоматизации гидродинамических экспериментов с учетом особенностей исследований в промысловых условиях, проектирование и изготовление автоматизированного аппаратно-программного комплекса, специализированного для проведения гидродинамических экспериментов в условиях действующих нефтяных месторождений.

Методы исследования: метод электроакустических аналогий при моделировании гидродинамических и волновых процессов в скважине; методы компьютерного математического моделирования при анализе погрешностей обработки данных; современные методы автоматизации технологических процессов при разработке конфигураций экспериментального комплекса; структурное, объектно-ориентированное программирование, технологии программирования реального времени и методы математической статистики при разработке программного обеспечения регистрации и обработки данных.

Достоверность результатов работы обеспечивается корректным применением аналитических преобразований и статистических методов обработки данных, совпадением результатов расчетов фильтрационных параметров пласта с данными, полученными иными средствами, проверкой алгоритмов и программ расчета параметров на модельных данных, обоснованным выбором известных экспериментальных методик, аппаратных

конфигураций, средств измерения и управления, применением апробированных средств автоматизации технологических процессов и разработки программного обеспечения, практическим внедрением в промысловых условиях.

Новизна. Разработан и применен новый способ учета влияния конструктивных объемов скважины на результаты расчетов фильтрационных параметров пласта (ФПП) в призабойной зоне с использованием эквивалентной электрической схемы, получены формулы для расчета исправленного значения волнового импеданса пласта при измерении расхода жидкости (дебита) и давления на устье скважины; разработана методика сокращения времени проведения экспериментов при контролируемых значениях погрешностей расчета ФПП; выявлены и систематизированы специфические особенности проведения гидродинамических исследований на участках действующих нефтяных месторождений в плане их автоматизации и обоснованы требования к различным категориям аппаратных средств и программному обеспечению, используемому для проведения измерений; разработан новый аппаратно-программный комплекс распределенной регистрации данных, удовлетворяющий этим требованиям; получены формулы для приближенных расчетов ФПП на основе регрессии точных выражений к полиномам и отношениям Паде; разработано оригинальное программное обеспечение для обработки данных промысловых исследований, проводимых методом фильтрационных волн давления.

Научная значимость. Использованный подход к моделированию гидродинамических процессов в скважине показывает возможность разработки новых способов расчета параметров протяженных объектов, полученные формулы учета влияния конструктивных параметров скважин на результаты зондирования призабойной зоны, анализ погрешностей расчета ФПП в эксперименте по зондированию межскважинных интервалов и принципы выбора параметров обработки расширяют возможности применения метода фильтрационных волн давления для исследования пластов, обеспечивают сохранение и повышение точности определения характеристик пласта при снижении материальных затрат на проведение исследований.

Практическая ценность. Наряду с повышением эффективности проведения гидродинамических исследований при использовании полученных результатов, выявленные особенности проведения экспериментов на участках месторождений, сформулированные требования к аппаратуре, программному обеспечению проведения замеров и обработки экспериментальных данных, сведения о конфигурации аппаратных средств, структуре и функциях разработанных автором программных приложений имеют ценность при формулировке технических заданий и в ходе разработки

экспериментального оборудования, аппаратных конфигураций и программных средств для автоматизации экспериментов на участках месторождений и обработки экспериментальных данных. Разработанный аппаратно-программный комплекс обладает достаточной гибкостью для его непосредственного использования как при проведении различных исследований на участках месторождений, так и в других задачах автоматизации технологических процессов. Программные средства обработки экспериментальных данных применяются для расчета ФПП по материалам, получаемым в исследованиях пластов методом ФВД с помощью разработанного комплекса, а также полученным с использованием других средств проведения экспериментов.

Публикации: По материалам диссертации изданы 2 монографии, опубликовано 6 статей в научных журналах, из них 5 – в журналах, рекомендованных ВАК для публикации материалов диссертаций, 4 доклада в сборниках докладов российских и международных научных конференций, одно из приложений программного обеспечения зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ, подана заявка на получение патента на изобретение.

Реализация и внедрение: Разработанный аппаратно-программный комплекс распределенной регистрации внедрен и успешно использовался в течение 5 лет при проведении мониторинга и гидродинамических экспериментов на нескольких участках нефтяных месторождений ОАО «Татнефть». Получены 2 акта внедрения опытно-конструкторских разработок. Одна из разработок участвовала в международной выставке «Нефть. Газ. Нефтехимия 2004» и была удостоена диплома 2 степени, по результатам промысловых экспериментов с ее использованием имеется подтвержденный экономический эффект.

Апробация. Результаты работы докладывались на всероссийских и международных конференциях: международном форуме по проблемам науки, техники и образования, Москва 2001 и 2006 г.; «Совершенствование методов проектирования разработки нефтегазовых месторождений Татарстана на современном этапе», Альметьевск 2004 г.; «Нетрадиционные коллекторы нефти, газа и природных битумов», Казань 2005 г., «Повышение нефтеотдачи пластов на поздней стадии разработки нефтяных месторождений», Казань 2007 г.; итоговых конференциях КГУ за 2005, 2008 и 2009 годы; XXI международной конференции «Математические методы в технике и технологиях», Саратов 2008 г; научно-практической конференции «Инновации РАН», Казань 2010 г.

Основные результаты, выносимые на защиту:

1. Способ учета влияния конструктивных параметров скважины на результаты волнового зондирования призабойной зоны пласта, формулы

для получения исправленного значения импеданса пласта по данным измерения параметров на устье скважины.

2. Методика сокращения времени проведения гидродинамических исследований межскважинных интервалов по методу фильтрационных волн давления, на основе анализа влияния различных факторов на погрешности расчета фильтрационных параметров пласта и применении оптимальных параметров проведения эксперимента и обработки данных.
3. Результаты анализа специфики обработки данных промысловых экспериментов, проводимых методом фильтрационных волн давления, функциональные возможности приложения отображения и обработки данных для расчета фильтрационных параметров пласта в межскважинных интервалах и призабойной зоне скважины.
4. Принципы разработки автоматизированного комплекса на основе анализа специфики проведения промысловых гидродинамических исследований, структура аппаратных средств, состав и функции приложений программного обеспечения комплекса распределенной регистрации для проведения экспериментов на участках нефтяных месторождений.

Личный вклад автора. Автором получены следующие результаты:

- Модель гидродинамических колебаний в стволе скважины и формулы для расчета исправленного значения импеданса призабойной зоны скважины с учетом влияния ее конструктивных параметров.
- Количественная оценка погрешностей расчета ФПП межскважинных интервалов при сокращении времени замеров на основе моделирования экспериментальных данных, рекомендации для обработки данных промысловых исследований.
- Аргументированный перечень особенностей проведения гидродинамических экспериментов на участках месторождений, обоснование требований к средствам измерения и автоматизации для этих экспериментов, анализ недостатков ранее использованных разработок в проводимых исследованиях.
- Структура аппаратных средств и все приложения программного обеспечения комплекса распределенной регистрации данных, конструкция узлов периферийного устройства регистрации, схемы и конструкция блока управления шаговым двигателем привода устройства управления потоком жидкости.
- Программное приложение обработки экспериментальных данных с получением фильтрационных параметров пласта, результаты обработки данных промысловых измерений.

Структура и объем диссертации: Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений. Общий объем работы – 142 страницы,

включая 25 страниц приложений, 42 рисунка, 6 таблиц. Список литературы на 9 страницах включает 121 ссылку.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ приведены сведения и определения, относящиеся к технологии разработки нефтяных месторождений и объектам гидродинамических исследований: нефтеводоносным пластам и скважинам, приведены уравнения основных моделей фильтрации, используемых для интерпретации данных промысловых экспериментов, проведен обзор методов, используемых при определении фильтрационных параметров нефтеносных пластов. Рассматриваются нестационарные гидродинамические методы исследования, суть которых заключается в регистрации во времени реакции системы пласт-скважина на изменение режима работы скважины. Непосредственно измеряемыми величинами являются давление и расход жидкости в зависимости от времени. Целевыми параметрами при гидродинамических исследованиях являются пьезопроводность $\chi = k/\mu\beta^*$ и гидропроводность $\varepsilon = kh/\mu$ насыщенного пласта, характеризующие его способность передавать давление и проводить через себя флюиды (k – коэффициент проницаемости, μ – динамическая вязкость флюида, h – толщина пласта, β^* – упругоємкость среды).

Проведен обзор решений по автоматизации промысловых гидродинамических исследований различных разработчиков, а также средств, созданных сотрудниками кафедры радиоэлектроники К(П)ФУ, в том числе и с участием автора. В частности описана конфигурация аппаратных средств и программного обеспечения комплекса технических средств автоматизированной системы контроля и управления выработкой пласта (КТС АСКУ ВП), созданной в конце 90-х годов и использовавшейся для проведения исследований в течение нескольких лет. Опыт эксплуатации этой системы положен в основу формулировки требований для разработки нового комплекса, в котором частично использованы элементы аппаратной конфигурации старого.

По материалам первой главы выявлены недостатки существующих средств исследования пластов, обоснована целесообразность разработки специальных средств автоматизации исследований, поставлены задачи диссертационного исследования и разработок, сформулированные во введении.

ВО ВТОРОЙ ГЛАВЕ рассматриваются особенности применения для исследования насыщенных пластов метода фильтрационных волн давления (ФВД), который является основным объектом исследования в данной работе. Источником возмущающих колебаний в этом методе служит скважина, на забое которой задается изменение расхода по периодическому во времени закону. В этом случае в пласте по радиусу от скважины-источника будут

распространяться ФВД, затухание амплитуды и скорость распространения которых будут определяться их частотой, гидродинамическими параметрами пласта и возмущающей скважины. Показано, что метод ФВД в сравнении с традиционно используемыми импульсными методами имеет существенные преимущества, заключающиеся в большей помехоустойчивости и возможности практического определения ранее недоступных параметров: характера неоднородностей свойств пласта, положения фронта поршневого вытеснения нефти водой, идентификации моделей фильтрации. В то же время метод ФВД сложнее в практическом применении, поскольку требует более высокого уровня автоматизации проведения экспериментов.

Рассматриваются различные возможности интерпретации результатов экспериментов, проводимых методом ФВД. В методе ФВД независимо определяются пьезопроводность и гидропроводность пласта в межскважинном интервале. Оба параметра включают в себя фильтрационную проводимость k/μ . Определяя независимыми методами упругоємкость пласта β^* и его толщину h , можно вычислить гидропроводность через пьезопроводность, тогда сравнение полученной и вычисленной величины позволит оценить неоднородность параметров пласта по интервалам, вероятно связанную с распределением остаточной нефти. Исследование частотной зависимости определяемых в эксперименте параметров позволяет оценивать радиус фронта распространения закачиваемой в пласт воды при использовании модели поршневого вытеснения, а также идентифицировать адекватную модель фильтрации.

Показано, что при проведении экспериментов по зондированию призабойной зоны пласта при коротких периодах воздействия (до 1000 секунд) существенный вклад в измеряемые параметры вносит влияние конструктивных объемов исследуемой скважины. Предложено для учета этого влияния представить конструкцию скважины в виде эквивалентной электрической схемы, включающей длинные линии с распределенными параметрами (рис. 1).

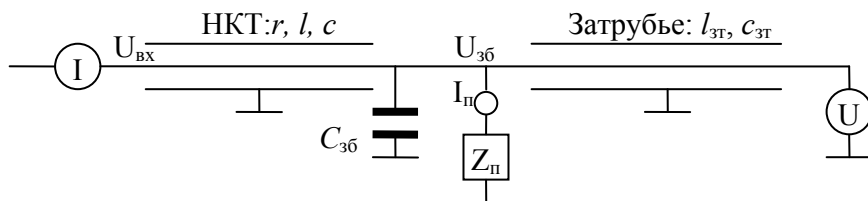


Рис.1. Эквивалентная схема скважины.

В результате применения этой модели получены формулы для расчета параметров элементов схемы и скорректированного значения импеданса пласта при измерении давления и расхода на устье скважины.

При измерении расхода и давления на устье насосно-компрессорной трубы длиной L_T импеданс рассчитывается по формуле:

$$\frac{1}{Z_{\Pi}(\omega)} = \frac{Z(\omega)\operatorname{sh}(\gamma L_T) - Z_w(\omega)\operatorname{ch}(\gamma L_T)}{Z_w(\omega)\operatorname{sh}(\gamma L_T) - Z(\omega)\operatorname{ch}(\gamma L_T)} \cdot \frac{1}{Z_w(\omega)} - j\omega C_{\text{зб}} - j \frac{\operatorname{tg}(\omega L_T \sqrt{l_{\text{зт}} c_{\text{зт}}})}{R_{\text{зт}}}$$

При измерении давления на устье межтрубного пространства:

$$\frac{1}{Z_{\Pi}(\omega)} = \frac{1}{Z_{\text{изм}}(\omega) \cos(\omega L_T \sqrt{l_{\text{зт}} c_{\text{зт}}}) \operatorname{ch}(\gamma L_T)} - \frac{\operatorname{th}(\gamma L_T)}{Z_w(\omega)} - j\omega C_{\text{зб}} - j \frac{\operatorname{tg}(\omega L_T \sqrt{l_{\text{зт}} c_{\text{зт}}})}{R_{\text{зт}}},$$

Обозначения:

$$Z(\omega) = \frac{U_{\text{вх}}}{I}; \quad Z_{\text{изм}}(\omega) = \frac{U}{I}; \quad \gamma(\omega) = \sqrt{(r + j\omega l)j\omega c}; \quad Z_w(\omega) = \sqrt{\frac{r + j\omega l}{j\omega c}}; \quad R_{\text{зт}} = \sqrt{\frac{l_{\text{зт}}}{c_{\text{зт}}}}$$

Сделана оценка величин, входящих в формулы и приведены графики погрешностей расчета импеданса пласта по устьевым данным для параметров реальной скважины. Для типичных значений параметров скважины погрешности измеряемого импеданса при периоде воздействия 100 секунд достигают 10-12% по величине и 0.15 радиан по фазе. Коррекция импеданса по полученным формулам позволяет сохранить точность и перекрываемый частотный диапазон при проведении замеров без использования глубинных приборов, обеспечив снижение материальных и временных затрат. По разработанному способу подана заявка на получение патента на изобретение: «Способ определения фильтрационных параметров призабойной зоны пласта и обнаружения дефектов в конструкции скважины» (Овчинников М.Н., Гаврилов А.Г., Одиванов В.Л., заявка № 2010115554 от 19.04.2010).

Таким образом, во второй главе описаны возможности метода ФВД, разработана модель гидродинамических колебаний в стволе скважины, выведены формулы для устранения систематической погрешности при расчете импеданса призабойной зоны пласта по данным измерений на устье скважины, поставлена задача разработки программного обеспечения обработки данных по методу ФВД.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ рассматриваются вопросы, связанные с обработкой данных промысловых гидродинамических экспериментов по методу ФВД. Приведены известные расчетные формулы, которые позволяют вычислять гидропроводность и пьезопроводность пласта в исследуемой области из отношения амплитуды гармонической составляющей расхода жидкости задающей скважины к давлению принимающей и сдвига фаз между ними. Расчет ФПП по точным формулам классической модели предполагает численное решение уравнений с функциями Кельвина. Показано, что для практических целей целесообразно использовать в расчетах аппроксимации этих функций и их комбинаций полиномами и отношениями Паде, полученными регрессией точных соотношений. Приведены полученные

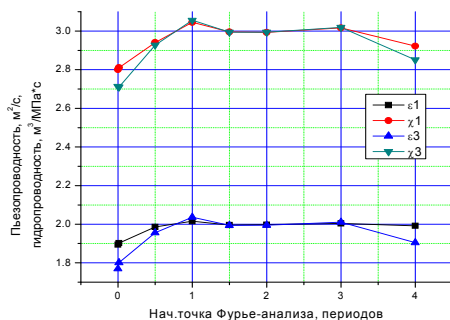
приближенные формулы для вычисления промежуточных и целевых параметров в различных интервалах их изменения.

Проведен анализ специфики обработки данных промысловых исследований методом ФВД, сформулированы требования к соответствующему программному обеспечению и описаны функциональные возможности программного приложения обработки данных, входящего в состав автоматизированного комплекса. Наиболее существенные аспекты специфики обработки данных и соответствующие им требования приведены в выводах.

При проведении экспериментов по зондированию межскважинных интервалов пласта методом ФВД периоды воздействия составляют от десятков часов до нескольких суток. Это приводит к экономическим потерям от снижения добычи нефти за время исследований, поскольку метод предполагает достижение установившихся колебаний во всем интервале, т.е. пропуск 3-4 периодов перед контрольным замером. Для оценки возможности сокращения времени эксперимента проведен анализ погрешностей расчета фильтрационных параметров с использованием приложения обработки данных из состава комплекса в зависимости от нескольких факторов. Для моделирования данных использовалась формула для вычисления давления на принимающей скважине при действии в межскважинных интервалах пласта классической модели упругой фильтрации (по закону Дарси) с плоскорадиальным распространением возмущения в однородном пласте:

$$P(t) = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \int_0^t q(\tau) \frac{e^{-\frac{r^2}{4\chi(t-\tau)}}}{t-\tau} d\tau, \text{ где } \varepsilon - \text{гидропроводность, } \chi - \text{пьеzoпроводность, } r$$

– расстояние от задающей до принимающей скважины, $q(t)$ – функция расхода задающей скважины. По этой формуле были смоделированы



исходные данные для программы обработки для 4 межскважинных интервалов: 300, 500, 800 и 1200 м при величине пьезопроводности $\chi=3.0 \text{ м}^2/\text{с}$ и гидропроводности $\varepsilon=2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{МПа} \cdot \text{с}$ (порядок величин соответствует реальным промысловым данным). В качестве воздействия предполагаются симметричные прямоугольные импульсы нагнетания.

Рис. 2. Результаты расчета ФПП по смоделированным данным.

Обработка данных проводилась с помощью разработанного автором программного приложения, входящего в состав комплекса.

На рис. 2 показаны графики полученных значений пьезопроводности (χ_1 , χ_3) и гидропроводности (ϵ_1 , ϵ_3) интервала 300 м в зависимости от выбора начальной точки периода данных для Фурье-анализа для первой и третьей гармоник сигнала давления. Обработка выполнялась по 5 периодам данных, непериодический тренд выделен методом скользящего среднего по периоду воздействия с экстраполяцией полиномиальной регрессией.

Таким образом, в середине диапазона периодов рассчитанные параметры совпадают с заданными в модели. Отклонения на краях диапазона обусловлены влиянием начала воздействия и неточностью учета тренда. Аналогичные графики получены при использовании различных предлагаемых программой способов учета тренда, при изменении количества зарегистрированных периодов, удаленности принимающей скважины, применении алгоритма начала эксперимента с сокращенным первым полупериодом.

По материалам третьей главы сделаны выводы о возможности использования при расчете ФПП приближенных вычислений, соответствии приложения обработки данных сформулированным требованиям. По результатам проведенного анализа погрешностей расчета ФПП выработаны рекомендации по выбору обоснованных параметров проведения исследований межскважинных интервалов и обработки полученных данных. При выполнении этих рекомендаций погрешности, возникающие при расчете ФПП по предложенным алгоритмам, не превышают 3% при сокращении полного времени замеров до двух раз и более в сравнении с исследованиями на установившихся режимах колебаний. Рекомендовано выполнять обработку данных непосредственно в ходе измерений, принимая на основе ее результатов решения о продолжении или завершении исследований.

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ обоснованы принципы разработки автоматизированного комплекса для промысловых гидродинамических исследований. Наиболее существенной особенностью экспериментов является высокая вероятность ситуаций, когда в ходе подготовки и проведения замеров на основе анализа текущих данных или из-за случайных факторов требуется изменение конфигурации оборудования, состава объектов и параметров воздействий. В связи с этим главными требованиями к аппаратно-программному комплексу являются максимальная гибкость выбора конфигурации аппаратуры и настройки комплекса в соответствии с задачами и условиями конкретного эксперимента, наличие в программном обеспечении средств диагностики состояния элементов комплекса, помогающих оператору в осуществлении конфигурирования и оперативного

контроля. Рассматриваются условия и особенности промышленных исследований по методу ФВД, сформулированы требования и рекомендации по применению в экспериментах составных частей комплекса: средств измерения, управления оборудованием, дистанционного контроля и регистрации данных.

Описываются структура и составные части разработанного аппаратно-программного комплекса распределенной регистрации для проведения гидродинамических исследований на участках нефтяных месторождений. Разработка комплекса осуществлена в соответствии с изложенными требованиями.

Предложенный вариант аппаратной конфигурации комплекса включает: центральный компьютер системы регистрации; радиомодемы фирмы Интеграл+; полевые сети на базе интерфейса RS-485, модули ADAM-4017 и ADAM-4080, периферийное устройство регистрации на базе контроллера CPU-188 фирмы Fastwel; блок управления шаговым двигателем привода устройства управления потоком с дистанционным управлением периодом вращения. На рис. 3 показана схема привязки приложений программного обеспечения к аппаратным средствам комплекса и взаимодействие между ними.

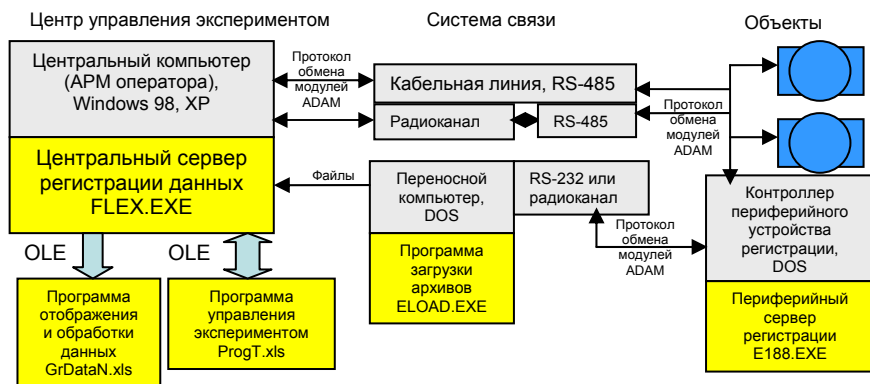


Рис.3. Схема привязки и взаимодействия программных приложений комплекса.

В состав программного обеспечения комплекса входят 5 приложений: центральный сервер регистрации данных обслуживает средства контроля и управления на модулях типа ADAM и периферийные устройства регистрации, ведет регистрацию данных по набору каналов; периферийный сервер регистрации данных ведет регистрацию данных по собственному набору каналов и обеспечивает связь с центральным компьютером для обмена данными; программа загрузки архивов предназначена для переноса данных из архивов периферийных серверов регистрации, работающих в

автономном режиме; программа отображения и обработки данных промысловых исследований служит для представления в виде графиков массивов данных, зарегистрированных в архивах центрального сервера регистрации, а также регистрируемых в процессе просмотра, обработки данных экспериментов с расчетом ФПП по методу ФВД; программа управления экспериментом по времени служит для автоматического изменения данных управляющих каналов центрального сервера и параметров регистрации в заданные моменты времени в соответствии с программой эксперимента.

Разработанный аппаратно-программный комплекс распределенной регистрации данных проходил эксплуатацию при проведении мониторинга и научно-промысловых экспериментов на нескольких участках нефтяных месторождений ОАО «Татнефть».

Приведены условия, данные и результаты одного из экспериментов по гидродинамическому зондированию межскважинных интервалов, проведенного на участке Березовской площади НГДУ «Альметьевнефть». В качестве задающей была использована нагнетательная скважина, период воздействия составлял 4 суток. При обработке данных были выделены и учтены тренды данных давления, выполнен гармонический анализ и вычислены отношения амплитуд и сдвиги фаз первых гармоник давления относительно расхода. Затем по этим данным были вычислены значения искомых фильтрационных параметров пласта для трех межскважинных интервалов от 580 до 940 м. Амплитуды дошедших волн давления составили от 0.011 до 0.076 МПа при амплитуде расхода задающей скважины 1.57 л/с, сдвиги фаз волн от расхода задающей скважины – от 1.76 до 2.79 рад. Рассчитанные значения пьезопроводности интервалов находятся в диапазоне $1.06 - 1.37 \text{ м}^2/\text{с}$, гидропроводности – $0.70 - 1.34 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{МПа}\cdot\text{с}$.

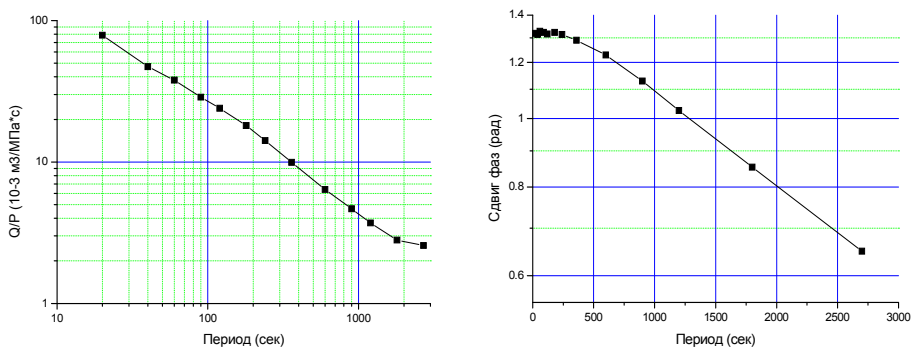


Рис. 4. Зависимости отношения амплитуды 1 гармоника расхода к давлению ($10^{-3} \text{ м}^3/\text{сек}/\text{МПа}$) и сдвига фаз между ними (радиан) от периода в секундах.

На том же участке проводились эксперименты по гидродинамическому зондированию пласта в призабойной зоне нагнетательных скважин с использованием устройства управления потоком с дистанционным управлением периодом воздействия. На графиках рис. 4 показаны промежуточные результаты эксперимента, проведенного на нагнетательной скважине 21715 на 13 периодах воздействия от 20 до 2700 секунд.

При помощи приложения обработки экспериментальных данных были выполнены расчеты фильтрационных параметров пласта по данным, полученным с использованием комплексов, ранее применявшихся для гидродинамических экспериментов. С помощью комплекса АСКУ ВП, описанного в 1 главе, с 1998 по 2004 год проводились эксперименты на опытном участке Центрально-Азнакаевской площади Ромашкинского месторождения. Приводятся данные эксперимента по зондированию межскважинных интервалов методом ФВД и результаты их обработки.

Комплекс аппаратуры и программного обеспечения для исследования призабойной зоны скважин, также описанный в 1 главе, использовался для проведения промысловых исследований с 1996 по 1998 год. На рис. 5 приведены результаты расчетов ФПП по данным одного из экспериментов, в частности показаны результаты учета влияния конструктивных объемов скважины на рассчитанные значения ФПП. Видно, что применение коррекции расширяет частотный диапазон, в котором возможен расчет ФПП.

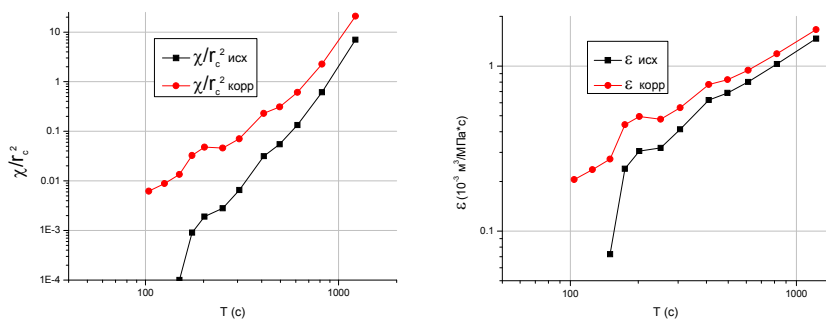


Рис. 5. Графики приведенной пьезопроводности и гидропроводности призабойной зоны скв. 23421, рассчитанных по исходным данным и по данным, скорректированным по формулам учета влияния конструктивных параметров скважины, в зависимости от периода воздействия в секундах.

Показаны также результаты оценки нелинейности реакции скважины при изменении минимального расхода по различиям результатов расчетов на разных гармониках сигналов расхода и давления. Для приведенных результатов подтверждена линейность реакции системы пласт-скважина.

Периферийные устройства регистрации в составе комплекса проходили эксплуатацию на опытном участке залежи 11-1-149 Акташской площади Ново-Елховского нефтяного месторождения НГДУ «Заинскнефть» в ходе работ по оптимизации режимов разработки запасов. Проведенные в течении 19 месяцев исследования и работы по оптимизации режимов нефтеизвлечения с использованием комплекса позволили повысить эффективность процесса добычи и обеспечили экономический эффект более 2 млн. руб.

Проанализированы возможности использования разработанного комплекса при решении задач проектирования и испытания систем автоматизированного управления технологическими процессами.

Материалы четвертой главы подтверждают соответствие разработанного комплекса сформулированным требованиям и иллюстрируют возможности практического применения разработанных средств и подходов при проведении промысловых гидродинамических исследований в условиях действующих нефтяных месторождений. Выводы к 4 главе определяют основные требования к экспериментальному комплексу, приведенные выше, а также возможные сферы применения созданного комплекса в исследованиях природных объектов и автоматизации технологических процессов.

В ЗАКЛЮЧЕНИИ подведены итоги решения поставленных задач и сформулированы выводы о достижении целей диссертационных исследований.

В приложении А сделан обзор средств автоматизации – измерительных приборов, средств управления потоком, модулей дистанционного контроля и управления, которые рекомендуются для использования при проведении промысловых гидродинамических экспериментов. **В приложении Б** приводятся подробные сведения о функциональных возможностях, параметрах, особенностях структуры и алгоритмов основных приложений программного обеспечения комплекса распределенной регистрации.

ВЫВОДЫ:

1. На основе моделирования гидродинамических процессов в стволе скважины разработан способ повышения точности измерений параметров пласта в призабойной зоне за счет устранения систематической погрешности, обусловленной влиянием этих процессов при регистрации данных на устье скважины. Применение способа обеспечивает возможность выполнения измерений с сохранением точности и частотного диапазона без использования глубинных приборов, что позволяет сократить материальные и временные затраты на проведение исследований.

2. По результатам анализа влияния различных факторов на погрешности расчета фильтрационных параметров пласта в эксперименте по зондированию межскважинных интервалов разработана методика сокращения времени исследований, основанная на выборе оптимальных параметров проведения эксперимента и способов обработки данных. При расчетах наилучшие результаты достигаются при выделении неперiodического тренда методом скользящего среднего по периоду воздействия или использовании полиномиального тренда по наборам точек с учетом периода, в зависимости от количества зарегистрированных периодов и разброса точек данных. Рекомендовано использовать для обработки интервал данных с отступлениями не менее 0.5 периода от начала и 0.25 от конца диапазона замера. С соблюдением этих рекомендаций при регистрации трех периодов данных погрешности расчета пьезопроводности и гидропроводности не превышают 3%, что допустимо для использования результатов в постоянно действующих компьютерных моделях месторождения.
3. По результатам анализа специфики обработки данных промысловых экспериментов, проводимых методом фильтрационных волн давления, наиболее существенными требованиями к средствам обработки являются наличие возможностей коррекции и восстановления при работе с первичными данными, зарегистрированными с дефектами, контроль и обработка данных в процессе эксперимента. Разработанное приложение обработки данных в составе комплекса удовлетворяет сформулированным требованиям, обеспечивает визуальный контроль регистрируемых данных в процессе замеров и расчет целевых параметров пласта по уравнениям классической модели фильтрации с выбираемой степенью автоматизации операций обработки в зависимости от качества зарегистрированных данных.
4. Сформулированы принципы разработки средств автоматизации промысловых экспериментов, которые включают оценку различных аспектов специфики проведения исследований и набор требований к экспериментальному комплексу. Определяющими требованиями являются возможность широкого выбора средств измерения, максимальная гибкость конфигурирования комплекса и наличие средств диагностики состояния его компонент. Конфигурация аппаратных средств и программное обеспечение разработанного комплекса распределенной регистрации соответствует сформулированным требованиям и практически применимы при проведении различных экспериментов в условиях действующих нефтяных месторождений.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Одиванов В.Л. Распределенный программно-аппаратный комплекс для систем мониторинга и управления технологическими процессами / В.Л. Одиванов, А.В. Семенов // Приборы. – 2007. - №8 - С.35-45.
2. Одиванов В.Л. Программно-аппаратный комплекс для автоматизации гидродинамических исследований призабойной зоны скважин / В.Л. Одиванов, А.Г. Гаврилов, А.В. Штанин // Приборы.–2008. - №6 - С.43-46.
3. Одиванов В.Л. Специфика задач автоматизации гидродинамических исследований на нефтяных месторождениях / В.Л. Одиванов, М.Н. Овчинников, А.Г. Гаврилов // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2009. - №1 – С.9-23.
4. Одиванов В.Л. Специфика и средства обработки данных исследований нефтяных пластов методом фильтрационных волн давления / В.Л. Одиванов, М.Н. Овчинников, А.Г. Гаврилов // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2009. - №10 – С.16-23.
5. Одиванов В.Л. Автоматизация исследований флюидонасыщенных пластов методом волн давления / Одиванов В.Л., Гаврилов А.Г., Овчинников М.Н. // Ученые записки КГУ, 2010. – Физико-математические науки, т. 152, кн. 1 – С. 73-79.

Монографии:

6. Метод фильтрационных волн давления как средство исследования нефтяных месторождений / М.Н. Овчинников, Г.Г. Куштанова, А.Г. Гаврилов, В.Л. Одиванов. – Казань: Изд-во КГУ, 2008. – 148с.
7. Одиванов В.Л. Исследования пластов методом фильтрационных волн давления с использованием автоматизированных систем управления экспериментом / В.Л. Одиванов, М.Н. Овчинников, А.Г. Гаврилов. – Казань: Изд-во КГУ, 2009. – 140с.

Зарегистрированная программа:

8. Свид. ФСИСПТЗ о гос. регистрации программы для ЭВМ. Центральный сервер регистрации данных (программа для ЭВМ) / В.Л. Одиванов. – внесена в Реестр программ для ЭВМ за № 2009610005 от 11.01.2009.

Материалы конференций:

9. Одиванов В.Л. Распределенный программно-аппаратный комплекс для мониторинга и управления технологическими процессами / В.Л. Одиванов, А.В. Семенов. // Сб.трудов 21 межд. конф. «Математические методы в технике и технологиях 2008» т.6. – С.266-269.
10. Одиванов В.Л. Автоматизация гидродинамических исследований призабойной зоны скважин / В.Л. Одиванов, А.Г. Гаврилов, А.В. Штанин // Сб.трудов 21 межд. конф. «Математические методы в технике и технологиях 2008» т.6. - С.283-284.

11. Одиванов В.Л. Учет влияния ствола скважины при гидродинамических исследованиях призабойной зоны пласта / В.Л. Одиванов, М.Н. Овчинников, А.Г. Гаврилов // Материалы ежегодной научно-практической конференции «Инновации РАН 2010» С. 58-60.
12. Одиванов В.Л. Влияние способа учета непериодического тренда давления на погрешности расчета фильтрационных параметров пласта в эксперименте по методу фильтрационных волн давления / В.Л. Одиванов, М.Н. Овчинников, А.Г. Гаврилов // Материалы ежегодной научно-практической конференции «Инновации РАН 2010» С. 55-58.

Статьи в других журналах:

13. Одиванов В.Л. Распределенный программно-аппаратный комплекс для мониторинга и управления технологическими процессами / В. Одиванов, А. Семенов // Современные технологии автоматизации. – 2005. - №2, С.52-56.