

На правах рукописи

ВЛАСОВ Александр Александрович



**КОМПЛЕКС ПРОГРАММ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ
ДАНЫХ СКВАЖИННОЙ ГЕОЭЛЕКТРИКИ
НА ОСНОВЕ ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ**

25.00.10 – геофизика, геофизические методы
поисков полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

НОВОСИБИРСК

2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН)

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Ельцов Игорь Николаевич

Официальные оппоненты:

Могилатов Владимир Сергеевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории геоэлектрики ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Романенко Алексей Анатольевич, кандидат технических наук, заведующий отделом компьютерной техники Факультета информационных технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ, г. Новосибирск)

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМ СО РАН, г. Красноярск)

Защита состоится 20 августа 2013 г. в 12 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 003.068.03 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, в конференц-зале.

Отзывы в 2 экземплярах, заверенные печатью организации, направлять по адресу: 630090, пр-т Ак. Коптюга, 3, г. Новосибирск, факс: +7 (383) 333-25-13, e-mail: NevedrovaNN@ipgg.sbras.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИНГГ СО РАН. Автореферат разослан 15 июля 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.г.-м.н., доцент



Н.Н. Неведрова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Объект исследования — компьютерные системы анализа данных скважинной геоэлектрики на предмет разработки программно-алгоритмических средств, основанных на единой информационной модели, для калибровки аппаратуры, регистрации сигналов, интерпретации и постобработки измерений.

Актуальность работы. В последние десятилетия стремительно развивается аппаратное обеспечение в промышленной геофизике, появляются все более совершенные и сложные аппаратные комплексы, такие как СКЛ, Каскад и др. Известные программные системы не подходят для обработки данных, регистрируемых вновь создаваемыми приборами, поэтому необходимы новые компьютерные системы.

Ни в одной из известных программных систем невозможно сколь-нибудь оперативно и качественно сделать анализ измерений новым скважинным комплексом СКЛ (совместная разработка ИНГГ СО РАН и НПП ГА «Луч»). Не реализованы алгоритмы обработки и интерпретации амплитудно-фазовых измерений ВИКИЗ, параметризация моделей часто не предусматривает наличие окаймляющих зон, а диэлектрическая проницаемость практически всегда находится за рамками традиционного анализа в эксплуатируемых на производстве программных продуктах.

Известно много частных решений для конкретных приборов и этапов работ (набор программ для калибровки каждого модуля СКЛ, МФС ВИКИЗ, LogWin, СИАЛ-ГИС, ПРАЙМ, Techlog и т.д.), но на современном этапе необходима интегрированная система, которая на связанных этапах анализа каротажных материалов базируется на едином описании информационной модели. Требуется унифицированное описание информационных сущностей, организация хранения и преобразования данных, управления потоками. Сегодня же программы преобработки, инверсии, постобработки реализованы в различных концепциях данных.

Архитектурные решения традиционных систем не унифицированы, программные модули слабо интегрированы, разработчики сталкиваются с большими трудностями с расширением и переиспользованием функциональности.

Имеющиеся программные средства не устраивают сервисные компании и научно-исследовательские организации, поэтому необходима разработка новых программных систем, заполняющих указанные пробелы.

Научная задача — разработать комплекс компьютерных программ для всего цикла анализа данных скважинной геоэлектрики, связанных единой информационной моделью, унифицированной архитектурой, об-

щей методологией, построенной на современных методах системного анализа.

Цель исследования — повысить оперативность и достоверность обработки и интерпретации данных скважинной геоэлектрики путем разработки новых унифицированных программно-алгоритмических средств на базе современного инструментария объектно-ориентированного программирования.

Логика научной работы определила выбор следующих основных этапов:

1. Анализ известных компьютерных систем.
2. Разработка информационной модели для геофизических исследований в скважинах.
3. Выбор принципов реализации программного комплекса для решения полного круга задач скважинной геоэлектрики.
4. Разработка программно-алгоритмических средств, инструкций и методических рекомендаций по их использованию на этапах калибровки, регистрации сигналов, обработки данных и их последующего анализа.
5. Апробация при решении научных и производственных задач.

Методы исследования и фактический материал. В работе широко использовалось математическое моделирование, выполнялись оценки точности и тестирование программ. Применялись апробированные и хорошо зарекомендовавшие себя математические методы информационного анализа, нелинейной минимизации, вычисления статистических характеристик.

Теоретическая часть исследования, связанная с анализом процессов выполнения геофизических работ скважинной геоэлектрики, основана на работах российских геофизиков В.Н. Страхова, Ю.Н. Антонова, Ф.М. Гольцмана, Л.А. Табаровского, М.И. Эпова и др. Обобщение выполнено методами системного анализа на основе мыслительно-деятельной теории Г. П. Щедровицкого и публикаций сибирского ученого А.А. Берса, посвященных проблеме человеко-машинного решения задач, также использованы результаты работ других авторов в области кибернетики и системного анализа (например, Н. Винера и др.).

В прикладной части работы, связанной с решением инженерных задач объектно-ориентированного проектирования прикладных программных систем, автор опирался на опыт иностранных исследователей: Г. Буча, Э. Гамма, Р. Хелма, Р. Джонсона, Д. Влссидеса.

В работе использованы материалы геофизических исследований, полученные лично или при непосредственном участии соискателя на скважинах Федоровского, Лянторского, Янулорского, Восточно-

Сургутского, Тайлаканского, Самотлорского и других месторождений нефти и газа (всего данных около 60 скважин).

Наряду с программами, разработанными соискателем, в работе использовались программы М.И. Эпова, И.Н. Ельцова, М.Н. Никитенко, В.Н. Глинских, Г.А. Борисова, И.В. Суродиной, А.Ю. Соболева, В.В. Лапковского и др. В своей работе соискатель опирался на более чем пятидесятилетний опыт сибирской школы геоэлектрики. В диссертации и защищаемых программных продуктах аккумулированы методологические, теоретико-методические и программные наработки нескольких поколений специалистов школы. Отдельные вычислительные модули вошли в комплекс программ, защищаемых соискателем, из пакетов, разработанных ранее в лаборатории электромагнитных полей.

Для верификации программного обеспечения проводился сравнительный анализ расчетов, выполнялись тестовые расчеты для известных моделей. Возможности разработанных методов, средств математического моделирования и интерпретации изучены в процессе обработки сотен каротажных диаграмм, полученных на названных выше нефтегазовых месторождениях.

Защищаемые научные результаты.

1. Теоретически обоснованный и практически апробированный программный комплекс, разработанный для всего цикла анализа данных скважинной геоэлектрики, связанный единой информационной моделью, унифицированной архитектурой, общей методологией, построенный на современных информационных технологиях и методах системного анализа.

Основные программы комплекса:

- **Colibri** — калибровка зондов двойного бокового каротажа и бокового каротажного зондирования с использованием разработанного соискателем алгоритма на основе нелинейной минимизации.

- **RealDepth 5** — препроцессинг для каротажа на буровых трубах посредством потоковой обработки.

- **EMF Pro** — обработка и интерпретация (в том числе, совместная для комплексных измерений) данных скважинной геоэлектрики с использованием схемы унификации интерфейсов вычислительных функций.

- **EmfCore** — встраиваемое программное средство инверсии для интегрированных систем обработки. Обеспечивает совместную инверсию данных скважинной геоэлектрики на базе предложенной соискателем схемы интеграции программных модулей в интегрированные системы интерпретации.

- **GeoLib** — встраиваемое программное средство анализа данных ГИС на этапе постобработки. Поддерживает выделение пластов, корреляцию разрезов скважин и анализ структурных форм.

2. Быстрый алгоритм расчета калибровочных коэффициентов гальванических зондов двойного бокового каротажа и бокового каротажного зондирования, разработанный с использованием алгоритма нелинейной оптимизации и программно реализованный для значительного ускорения калибровки и равномерного распределения погрешности по всем контрольным точкам интервала допустимых значений.

Новизна работы. Личный вклад. Предложена информационная модель геофизической деятельности применительно к этапам обработки и интерпретации данных скважинной геоэлектрики на основе работ А.А. Берса, Г.П. Щедровицкого и В.М. Глушкова, сформулированы основные принципы реализации программных средств автоматизации.

На основе предложенной соискателем информационной модели, разработан оригинальный программный комплекс для всего цикла анализа данных этапов препроцессинга, интерпретации и постобработки. Все архитектурные решения, программная реализация, работы по апробации и внедрению выполнялись лично соискателем, при его непосредственном руководстве или определяющем участии. Многие программные модули выполнены студентами и магистрантами Факультета информационных технологий НГУ в рамках квалификационных работ под научным руководством соискателя.

Для калибровки зондов БКЗ, БК соискателем разработан альтернативный алгоритм подбора калибровочных коэффициентов на основе нелинейной минимизации.

На этапе регистрации экспериментальных данных каротажа на буровых трубах предложена схема потоковой обработки, в основе которой лежит управление пользователем процессом перевода зарегистрированного сигнала по времени в данные по глубине скважины на высоком эргономичном уровне и с беспрецедентно высокой информативностью, за счет максимальной автоматизации рутинных операций.

Разработана и реализована совместная инверсия данных электрометрии с использованием схемы унификации интерфейсов вычислительных функций, что впервые обеспечило обработку измерений новым набором унифицированных каротажных зондов СКЛ.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации.

Разработанный на основе единой информационной модели комплекс программ дает возможность оперативно обрабатывать и интерпретировать данные скважинной геоэлектрики на качественно новом уровне. Формализованы информационные сущности и на этой основе разработаны

типовые решения для создания программных продуктов, предназначенных для всего цикла геофизических работ со скважинными материалами, включая калибровку аппаратуры, поддержку измерений, препроцессинг, инверсию и постобработку.

Практическая значимость работы подтверждается научно-исследовательским и промышленным использованием разработанных соискателем программно-алгоритмических средств.

- **Colibri** — в настоящее время сопровождает эксплуатацию более 10 комплексов СКЛ в ОАО «Сургутнефтегаз», Нижневартовскнефтегеофизика, Газпромнефть-Ноябрьскнефте-геофизика.
- **RealDepth 5** — эксплуатируется при сопровождении работ 4 комплексов СКЛ-А в ОАО «Сургутнефтегаз», Нижневартовскнефтегеофизика, Газпромнефть-Ноябрьскнефтегеофизика.
- **EMF Pro** — единственное программное средство для обработки и интерпретации (включая совместную инверсию) данных комплекса СКЛ.
- Программный модуль **EMF Core** интегрирован в Techlog и СИАЛ-ГИС. Опытное применение в ИНГГ СО РАН и компании НОВАТЭК.
- Программный модуль **GeoLib** интегрирован в Petrel. Доступен пользователям Petrel.

Впервые в ИНГГ СО РАН развернута ГРИД-система, обеспечивающая производительные вычисления. На текущий момент в системе 35 компьютеров, а это 130 виртуальных вычислительных узлов, замеренная тестом Linpack производительность сегодня приближается к одному Tflops и соответствует производительности небольшого кластера. С помощью ГРИД-системы в Институте решен ряд прикладных задач скважинной и наземной геоэлектрики.

Апробация работы и публикации.

Основные положения и результаты диссертационной работы представлялись на:

- **международных форумах, всероссийских семинарах и конференциях** – Международная научная студенческая конференция (Новосибирск, 2005-2007), Международный научный конгресс «ГЕО-Сибирь» (Новосибирск, 2008-2013; Технологии Microsoft в теории и практике программирования (Новосибирск, 2006, 2008; Томск, 2009), Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли (Тюмень, 2009), Актуальные проблемы электромагнитных зондирующих систем (Киев, 2009), Всероссийская научная школа «Новые методы высокопроизводительных вычислений в геофизике» (Новосибирск, 2009), Геофизические исследования в нефтегазовых скважинах – 2011 (Новоси-

бирск, 2011), Технологический форум Шлюмберже 2011 (Москва, 2011), Балтийский форум Шлюмберже 2011 (Санкт-Петербург, 2011), Технологический день Шлюмберже «Актуальные вопросы скважинной геофизики и изучение функционала современного инструмента петрофизической интерпретации Techlog» (Москва, 2012) и др.

По теме диссертации опубликовано 25 работ. В том числе: 4 статьи в научных журналах, рекомендованных ВАК, 21 публикация в трудах и материалах научных конференций.

Благодарности. Автор убежден в том, что без сотрудничества с коллегами по лаборатории, Институту и других организаций этот труд не был бы завершен.

Без участия НПП ГА «Луч» было бы невозможно создать программное обеспечение Colibri и RealDepth 5, а также применить его для решения производственных задач. Автор искренне благодарен руководителю организации К.Н. Каюрову за постоянную поддержку работы и возможность реализовать результаты научных исследований и исполнителю директору В.И. Еремину за ценные рекомендации, советы.

Автор считает своим отдельным долгом выразить благодарность А.А. Берсу — за вклад в формирование мировоззрения автора по проблемам и задачам автоматизации процессов обработки информации, а также за ценные советы и дискуссии об информационной модели геофизической деятельности в целом.

Автор выражает особую признательность своим соавторам и студентам, коллегам из лаборатории электромагнитных полей в разработке программно-алгоритмических средств: П.С. Расковалову, реализовавшему большую часть программной системы Colibri калибровки аппаратуры гальванических методов, А.Н. Фаге и Д.В. Тейтельбауму — за неоценимую помощь в реализации идей автора по организации потоковой схемы первичной обработки данных автономного каротажа в программном комплексе RealDepth 5, а М.А. Байковой в системе EMF Pro, К.В. Сухоруковой — за активное использование нового программного обеспечения и ценные рекомендации к нему, В.В. Лапковскому и В.А. Бердову за предоставленную возможность применить накопившийся опыт и знания соискателя для создания программных систем, нацеленных на получение геологического результата, А.С. Мартыанову — за активную работу с технологией Condog и внедрение ее в ИНГГ СО РАН.

Автор считает важным поблагодарить коллег из производственных организаций: Сургутнефтегаз, Нижневартовскнефтегеофизика и Газпромнефть-Ноябрьскнефтегеофизика, которые дали множество полезных рекомендаций и активно применяют созданные программные системы для решения своих производственных задач.

Автор благодарен академику РАН М.И. Эпову за внимание к работе в течение десяти лет исследований соискателя.

Особой благодарностью автор хочет отметить своего научного руководителя в НГУ к.т.н. Андрея Юрьевича Соболева, который во время обучения существенно расширил кругозор соискателя, а позже дал множество важных советов и рекомендаций, которые стали определяющими при получении результатов этой работы.

Автор выражает уважение и признательность своему Наставнику, д.т.н. Игорю Николаевичу Ельцову за указанный верный путь в науке и создание творческой атмосферы.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Содержит 209 страниц, 85 рисунков и 3 таблицы. Библиография включает 120 наименований.

Последовательность изложения материалов в диссертации обусловлена логикой выполненных исследований, включающих следующие основные этапы:

- анализ подходов к описанию геофизической деятельности с позиций преобразования, хранения и интерпретации информации;
- разработка типовых решений создания программных продуктов;
- практическое применение разработанных средств для решения геофизических задач.

Во введении сформулирована цель работы, показана ее актуальность, конкретизированы задачи исследований и представлены защищаемые научные результаты, а также определена научная новизна и практическая значимость работы.

Содержательная часть диссертации разбита на три главы, логически раскрывающих этапы исследования.

В заключении сформулированы основные преимущества программного комплекса, созданного на основе единой информационной модели, и выгодное отличие его от существующих аналогов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Информационная модель

Дается обзор российской и зарубежной литературы по анализу человеческой деятельности как системы взаимодействия и преобразования информационных сущностей, обсуждается творческая переработка представлений, которая реализована в методологии геофизической деятельности в виде информационной модели.



Рисунок 1 — Информационная модель.

Информационная модель (рисунок 1) описывает автоматизируемый процесс всех этапов обработки и интерпретации данных скважинной геоэлектрики, начиная с калибровки аппаратуры и заканчивая анализом результатов интерпретации. Калибровка аппаратуры, регистрация сигналов, препроцессинг, интерпретация, определение областей модельной эквивалентности, постпроцессинг — этапы преобразования информационных сущностей, которые легко формализуются в рамках предложенной информационной модели. Эта формализация типов данных, правил их преобразования и взаимодействия естественным образом способствует выработке оптимальных методологических подходов и архитектурных решений.

В главе 1 предложено унифицированное описание информационных сущностей, которое далее в работе используется для организации хранения и преобразования данных, управления потоками информации. С использованием описанных результатов в диссертации в единой концепции спроектированы и разработаны программы предобработки, инверсии и постобработки.

Глава 2. Принципы построения программного обеспечения

Построение информационной модели и формальное определение требований — это первый шаг к построению программной системы и является ответом на вопрос «Как использовать систему?». Вторым логичным шагом является ответ на вопрос «Как система устроена внутри?». Конструктивным ответом на этот вопрос может быть предъявление архитектурного решения, которое продемонстрирует, как на основе существующего материала и инструментария реализовать требуемую систему.

Проектируя такие сложные системы, как программные средства обработки геофизических данных, необходимо опираться на проверенные надежные решения.

В главе 2 рассмотрены шаблоны (паттерны) решения типовых задач проектирования системы обработки данных скважинной электротриемрии, общие подходы к выбору архитектурных решений для современной программно-аппаратной системы обработки данных геофизического исследования скважин.

Для подробного описания каждого паттерна, предложенного соискателем, отведены отдельные разделы:

2.2. Многоуровневое представление системы — способ уменьшения композиционной и логической сложности создаваемых программных систем за счет упорядочивания модулей по уровням, где каждый программный модуль может использовать только модули из своего и предыдущего уровня.

2.3. Подсистема хранения данных — способ организации хранения разнородной геофизической информации.

2.4. Многопользовательская работа с данными — организация параллельного доступа к одному набору геофизических данных, основанная на блокировке объекта на запись и множественное чтение.

2.5. Унификация вычислительных алгоритмов — позволяет, с одной стороны, подменять однотипные вычислительные процедуры, обладающие разными свойствами, но одним интерфейсом, с другой — использовать один набор геофизических данных в едином формате для обработки различными алгоритмами.

2.6. Организация групповой обработки данных — применение одного сценария обработки для однотипных данных.

2.7. Комплексная интерпретация — способ построения единой модели среды, удовлетворяющей сразу нескольким наборам измеренных сигналов нескольких методов геофизического исследования в скважинах.

2.8. Управление информационными сущностями — способ управления пользователем разнородных геофизических информационных сущностей.

2.9. Визуализация геофизических данных — хорошо зарекомендовавший себя способ создания графических средств визуализации и редактирования объектов геофизических данных.

2.10. Организация взаимодействия с другими системами — способ встраивания существующих программно-алгоритмических решений в интегрированные программные комплексы.

2.11. Расширение системы — добавление поддержки однотипных операций на основе динамически загружаемых программных библиотек.

2.12. Синхронное взаимодействие с геофизической аппаратурой — способ организации исполнения синхронных команд аппаратуры в управляющей программе по дуплексному каналу связи.

2.13. Чтение большого объема данных — применяется для эффективной организации быстрого считывания из энергонезависимой памяти зарегистрированного сигнала аппаратурой автономного каротажа.

2.14. Решение ресурсоемких задач моделирования электромагнитного поля в сложных средах — применение высокопроизводительных вычислений как для организации одноразовых расчетов с целью составления палетки, так и многократных для решения производственных задач.

Приведенные типовые решения позволяют существенно сократить сроки создания программной системы для работы с данными скважинной геоэлектрики и повысить качество программного обеспечения и его эргономичность.

Глава 3. Программные средства автоматизации геофизического исследования скважин

В разделе 3.1 описывается разработанное универсальное программное средство Colibri [4], предназначенное для метрологического обслуживания аппаратуры каротажа нефтегазовых скважин, модульная архитектура которого позволяет легко подключать модули метрологического обеспечения новых скважинных приборов, а библиотека алгоритмов и графических компонентов повышает скорость их разработки, что делает возможным развитие ПО сторонними разработчиками. Процесс работы с программой в значительной степени автоматизирован, что повышает скорость и эффективность работы пользователя.



Рисунок 2 — Схема решения обратной задачи для расчета параметров передаточной функции в программе Colibri.

Разработанный, программно реализованный и апробированный быстрый алгоритм определения калибровочных коэффициентов на основе нелинейной минимизации симплекс-методом (рисунок 2) для передаточной функции (1) с целью минимизации невязки (2) позволяет ускорить поверку и калибровку приборов электрического двойного бокового каротажа (БК) и бокового каротажного зондирования (БКЗ), а также достичь высокой степени точности во всех контрольных точках исследуемого диапазона значений по формуле:

$$E = f(U_{изм}, I_{изм}) = K_{кон} R_{мн} \frac{U_{изм} - U_{смд}}{I_{изм} - I_{смд}} + R_{адд} \quad (1)$$

где f — передаточная функция, $R_{мн}$ — мультипликативная составляющая результирующего сопротивления, $K_{кон}$ — конструктивный коэффициент зонда, $U_{смд}$ — смещение показаний измерителя напряжения, $I_{смд}$ — смещение показаний измерителя тока, $R_{адд}$ — аддитивная составляющая результирующего сопротивления, $U_{изм}$ — показания измерителя напряжения, $I_{изм}$ — показания измерителя тока. Невязка вычисляется по формуле:

$$\text{Невязка} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{RX_i - f(U_i, I_i, K_{кон}, R_{мн}, U_{смд}, I_{смд})}{RX_i - \text{опр}(RX_i)} \right)^2} \quad (2)$$

где n - количество контрольных точек, RX_i — эталонное значение УЭС среды в i -й контрольной точке, U_i, I_i — значение тока и напряжения, полученные в результате измерительного эксперимента в i -й контрольной

точке, $P_{\text{min}}, P_{\text{max}}, U_{\text{min}}, I_{\text{min}}$ — вычисляемые калибровочные коэффициенты, err — функция расчета значения допустимой ошибки показаний прибора в i -й контрольной точке, f — передаточная функция.

Предложенное в диссертации решение определения параметров передаточных функций приборов БК и БКЗ, т.е. расчет калибровочных коэффициентов имеет ряд преимуществ по сравнению с известными аналогами.

Во-первых, разработанный быстрый алгоритм и его применение в программном средстве Colibri при использовании магазинов ускоряет процесс калибровки в 2-3 раза, а при использовании калибратора — на порядок (с 1-2 рабочих дней до 1 часа), что экономически выгодно сервисным компаниям. Во-вторых, точность поиска решения выше или сохраняется на уровне калибровки последовательными приближениями вручную на всем диапазоне измерений. В-третьих, разработанный алгоритм позволяет равномерно распределить погрешность по всем контрольным точкам интервала допустимых значений, в то время как поиск решения по нескольким измерениям не гарантирует минимизации погрешности в промежуточных значениях диапазона.

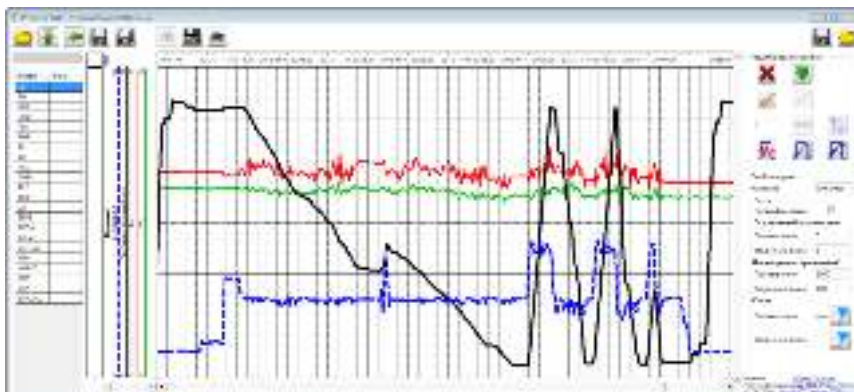


Рисунок. 3 — Просмотр и редактирование данных автономного каротажа в программном средстве RealDepth 5.

В разделе 3.2 описываются созданные вычислительные модули и программное обеспечение для предварительной обработки данных автономного каротажа RealDepth 5 [6] (рисунок 3). Выпущена первая версия пользовательского интерфейса, в которой реализовано подключение к комплексам СКЛ-А-160, СКЛ-А-102 и Алмаз 2Т.

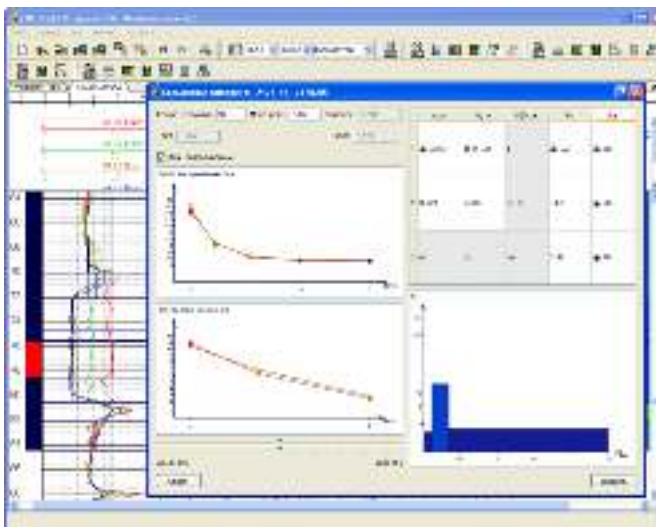


Рисунок 4 — Подбор модели среды в программном средстве EMF Pro, удовлетворяющей измерениям ВИКИЗ и БКЗ.

В разделе 3.3 представлен программный продукт EMF Pro [1,2] впервые реализующий полный цикл обработки и интерпретации данных измерений нового геофизического комплекса СКЛ. Помимо традиционной интерпретации данных отдельных методов, в EMF Pro реализована совместная инверсия расширенного набора электрометрических измерений с построением общего минимизационного функционала (рисунок 4). Достоверность совместных интерпретационных геофизических моделей достигается путем учета при инверсии качества данных посредством присвоения каждому измерению весовых функций, определяемых метрологическими характеристиками приборов. Оперативность расчетов в программе EMF Pro достигается использованием заранее реализованных параллельных вычислений палеток и поправочных функций на базе ГРИД-технологий [3], как описано в разделе 3.4.

Приведенные в главе материалы демонстрируют важность применения заранее подготовленных решений, основанных на единой информационной модели, для создания программных продуктов обработки и интерпретации данных скважинной геоэлектрики. Типовые решения, как показал опыт соискателя, значительно повышают не только скорость создания таких пакетов, но и их качество, а также позволяют внедрять их в другие программные пакеты [5,7], как это описано в разделе 3.3.5 и 3.5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным результатом работы является создание оригинального комплекса компьютерных программ для всего цикла анализа данных скважинной геоэлектрики, связанных единой информационной моделью, унифицированной архитектурой, общей методологией, построенных на современных методах системного анализа. Комплекс обеспечивает этапы препроцессинга, интерпретации и постобработки.

В программном продукте **Colibri** выполняется калибровка зондов БКЗ, БК комплексов СКЛ с использованием разработанного соискателем алгоритма на основе нелинейной минимизации, позволяющего с использованием магазинов сопротивления ускорить процесс в 2-3 раза, а при использовании специального устройства калибратора — на порядок, с 1-2 рабочих дней до 1 часа, одновременно уменьшив максимальную погрешность за счет равномерного ее распределения на всем интервале измеряемого параметра.

Программный продукт **RealDepth 5** обеспечивает регистрацию экспериментальных данных каротажа на буровых трубах посредством потоковой обработки. В отличие от существующих аналогов позволяет за несколько минут перевести зарегистрированные сигналы по времени в данные по глубине скважины, а в случае нештатных ситуаций быстро определить место ошибки и ее устранить.

В системе **EMF Pro** выполняется совместная инверсия данных электрометрии с использованием схемы унификации интерфейсов вычислительных функций. Впервые реализует полный цикл обработки и интерпретации данных измерений нового геофизического комплекса СКЛ. Помимо традиционной интерпретации данных отдельных методов, в EMF Pro реализована совместная инверсия широкого набора электрометрических измерений с построением общего минимизационного функционала. Оперативность расчетов в программе EMF Pro достигается использованием заранее реализованных параллельных вычислений палеток и поправочных функций на базе ГРИД-технологий.

Встраиваемое программное средство **EmfCore** обеспечивает совместную инверсию данных скважинной геоэлектрики на базе предложенной соискателем схемы интеграции программных модулей в интегрированные системы интерпретации.

Встраиваемое программное средство постобработки **GeoLib** обеспечивает выделение пластов, корреляцию разрезов скважин и анализ структурных форм и может быть встроено в любую стороннюю программную систему, в настоящее время интегрировано в пакет Petrel.

Впервые в ИНГГ СО РАН развернута ГРИД-система, обеспечивающая производительные вычисления. Замеренная

производительность тестом Linpack приближается к одному Tflops, что соответствует производительности небольшого кластера и повышает эффективность использования вычислительных мощностей института.

Приведенные в главе 2 материалы демонстрируют важность применения предложенных соискателем типовых решений, основанных на единой информационной модели, для создания программных продуктов, для обработки и интерпретации данных скважинной геоэлектрики. Типовые решения, как показал опыт работы соискателя, значительно повышают не только скорость создания таких пакетов, но и их качество.

Разработки соискателя позволяют автоматизировать и ускорить рутинную работу полевых геофизиков и интерпретаторов, более оперативно достоверно определять свойства коллекторов, повышают надежность и информативность интерпретации при решении задач скважинной геоэлектрики.

Применение разработанных теоретико-методических и программных средств для обработки и интерпретации каротажных данных (всего около 60 скважин) показало высокую эффективность предложенных соискателем решений. Например, экономия составила более 130 часов времени работы буровой бригады за апрель 2013 года после выполнения 9 каротажей комплексом СКЛ-А-160, что позволило дополнительно построить 2 скважины СУБР-1 (Акт о внедрении программных продуктов в производственные процессы ОАО Сургутнефтегаза от 22 мая 2013 г.).

Разработанные соискателем программные продукты используются в учебных курсах на Геолого-геофизическом факультете и Факультете информационных технологий НГУ.

Как показали первые удачные внедрения, предложенные в диссертационной работе решения могут быть эффективно использованы в практической деятельности многих нефтяных и сервисных компаний. Но для этого требуется большая техническая и организационная работа, которой соискатель планирует заниматься в дальнейшем.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В журналах, рекомендованных ВАК

1. Авдеев А.В. Новая высокопроизводительная программная система для комплексной интерпретации данных электрического и электромагнитного каротажа / А.В. Авдеев, ..., **А.А. Власов** [и др.] // Бурение и нефть. — 2006. — № 9. — С. 22-23.
2. Эпов М.И. Новый аппаратурный комплекс геофизического каротажа СКЛ и программно-методические средства интерпретации EMF Pro / М.И. Эпов, ..., **А.А. Власов** // Бурение и нефть. — 2010. — № 2. — С. 16-19.
3. Мартянов А.С. Использование свободных сетевых ресурсов предприятия для решения емких вычислительных геофизических задач / А.С. Мартянов, ..., **А.А. Власов**, И.Н. Ельцов // Каротажник — 2011. — №209 — С. 56-64.
4. Расковалов П.С. Определение параметров передаточных функций приборов электрокаротажа методом нелинейной минимизации. / П.С. Расковалов, **А.А. Власов** // Каротажник. — 2012. — №219. — С. 65-71.

Сборники трудов конференций

5. Урамаев М.Ш. Интегрируемый программный модуль интерпретации данных ВИКИЗ. / М.Ш. Урамаев, **А.А. Власов** [и др.] // ГЕО-Сибирь-2012. Т.2. Ч.2 Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: сб. матер. VI Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2012» (10-20 апреля 2012 г., Новосибирск). — Новосибирск: СГГА, 2012. — С. 223-229.
6. Тейтельбаум Д.В. Программная система для каротажа в процессе бурения / Д.В. Тейтельбаум, **А.А. Власов** // ГЕО-Сибирь-2013. Т.2. Ч.2 Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: сб. матер. VI Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2013» (15-26 апреля 2013 г., Новосибирск). – Новосибирск: СГГА, 2013. — С. 64-69.
7. Бердов В.А. Метод автоматической корреляции разрезов скважин по геофизическим данным в программном комплексе Petrel. / В.А. Бердов, В.В. Лапковский, **А.А. Власов** [и др.] // ГЕО-Сибирь-2013. Т.2. Ч.3 Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: сб. матер. VI Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2013» (15-26 апреля 2013 г., Новосибирск). — Новосибирск: СГГА, 2013. — С. 174-179.

Технический редактор Е.В. Бекренёва

Подписано к печати 02.07.2013

Формат 60x84/16. Бумага офсет № 1. Гарнитура Таймс

Печ. л. 0,9. Тираж 120. Заказ № 92

ИНГТ СО РАН, 630090, Новосибирск, пр-п. Ак. Коптюга, 3