

На правах рукописи

ТАШКИНОВ ИЛЬЯ ВЛАДИМИРОВИЧ

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ИНТЕРПРЕТАЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ И ЯДЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Специальность 25.00.16

«Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология,
геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пермь – 2007

Работа выполнена в ООО «Предприятие ФХС-ПНГ» и Горном институте Уральского отделения Российской академии наук

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ В.М. Новоселицкий

Официальные оппоненты: доктор технических наук Н.И. Крысин
доктор технических наук В.А. Силаев

Ведущая организация: ЗАО Пермский ИТЦ «Геофизика»

Защита состоится _____ 2007 г. в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 004.026.01 при Горном институте УрО РАН по адресу: 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78а. Факс (342) 216-75-02.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного института УрО РАН.

Автореферат разослан 15 апреля 2007 г.

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

Б.А.Бачурин

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность

В современных условиях в связи с увеличением объема и повышением качества информации, записываемой геофизической аппаратурой исследования скважин, остро встает проблема создания адекватных методических средств и технологий, позволяющих выполнять высококачественную обработку и интерпретацию данных. В значительной степени существующие методические подходы и пакеты программ не удовлетворяют всему спектру требований по полноте, адаптивности и технологичности решаемых задач. Данное обстоятельство связано с использованием устаревших методик обработки и интерпретации, многообразием аппаратуры и программного обеспечения, решающих различные частные задачи и обладающих ограниченной функциональностью, создаваемых в условиях быстрого развития технологий цифровой регистрации и обработки данных геофизических исследований скважин (ГИС). В связи с этим становится актуальным создание новых методических и программных средств, предназначенных для обработки данных ГИС.

Цель диссертации. Совершенствование методического обеспечения обработки и интерпретации данных акустического и радиоактивного каротажа и его программная реализация в новых компьютерных системах обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин.

Основные задачи:

1. Анализ состояния методического и программного обеспечения ГИС, проектирование рационального варианта компьютерной технологии обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин.

2. Совершенствование методического обеспечения и технологии обработки данных волнового акустического каротажа (ВАК), включающего выделение волн различных типов, компрессию акустических данных, учет влияния скважинного прибора и плотности цемента при акустической цементометрии.

3. Совершенствование методик обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин для селективного гамма-дефектомера-толщиномера (СГДТ), учитывающих особенности колонн и приборов.

4. Создание компьютерной технологии комплексной интерпретации данных ВАК и СГДТ, реализующей полный технологический цикл обработки каротажных данных.

На защиту выносятся следующие положения.

1. Эффективная методика сжатия акустических данных и новые методы интерпретации волнового акустического каротажа, позволяющие осуществлять выделение волн методом максимального подобия, а также учет влияния скважинного прибора и плотности цемента при акустической

цементометрии.

2. Усовершенствованные методы обработки данных селективного гамма-дефектомера-толщиномера, обеспечивающие повышение точности определения результативных параметров с учетом многоколонной конструкции, диаметра и эксцентриситета колонн, вращения прибора и позволяющие проводить обработку по нескольким опорным интервалам или калибровкам с различной плотностью, а также выполнять построение развертки плотности цемента по периметру скважины при круговом опросе датчиков.

3. Компьютерная технология «Соната», предназначенная для обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин, обеспечивающая решение широкого круга геолого-технических задач и реализующая новый подход к комплексной интерпретации ВАК и СГДТ при оценке технического состояния нефтегазовых скважин.

Научная новизна работы

1. Разработана методика сжатия данных ВАК и метод автоматического выделения пакетов целевых волн, повышающие геолого-экономическую эффективность применения ВАК.

2. Увеличена разрешающая способность метода акустической цементометрии, что обусловлено учетом влияния скважинного прибора и фактической плотности цемента в затрубном пространстве в процессе интерпретации.

3. Проведена оценка влияния эксцентриситета колонны и многоколонной конструкции скважины при определении плотности вещества в затрубном пространстве по данным гамма-гамма-цементометрии.

4. Созданы технологии, позволяющие осуществлять построение развертки плотности цемента при круговом опросе датчиков; учет вращения измерительного прибора относительно оси скважины; высокоточное определение плотности цемента в затрубном пространстве по нескольким опорным интервалам.

5. Впервые реализована компьютерная технология, предназначенная для комплексной интерпретации данных ВАК и СГДТ, с высокой достоверностью характеризующая степень герметичности заколонного пространства.

Практическая значимость

Создание методов и компьютерных технологий обработки и интерпретации данных акустических и ядерно-геофизических исследований, зарегистрированных различной геофизической аппаратурой, повышает информативность и геологическую содержательность получаемых результатов для оценки состояния нефтегазовых скважин. Разработанные методы и технологии реализованы в программных комплексах, внедрены и эффективно используются в производственных условиях на более чем 30 геофизических предприятиях России и ближнего зарубежья.

Личный вклад автора

Автор руководил проектом по созданию модульной системы интерпретации данных геофизических исследований скважин «Соната», разработал концепцию построения компьютерной технологии; создал архитектурную, объектную и компонентную модели системы; а также принял участие в разработке основных модулей программного комплекса.

Автор внес существенный вклад в создание методик обработки данных ВАК и СГДТ: провел исследование и выбор оптимальных параметров сжатия для различных геофизических задач, создал итерационный алгоритм подбора мультипликативного коэффициента для таблицы квантования при сжатии волнового сигнала; произвел оценку физических ограничений, накладываемых на параметры исследуемых волн в методе максимального подобия; обработал и проанализировал данные физического моделирования, построил зависимости для коэффициента затухания волны по колонне; ввел новый параметр индекс цементирования, зависящий от плотности цемента; разработал схему комплексной интерпретации СГДТ и АКЦ; предложил и реализовал методы, усовершенствующие обработку данных СГДТ с учетом многоколонной конструкции, диаметра и эксцентриситета колонн и позволяющие проводить обработку по нескольким опорным интервалам или калибровкам с различной плотностью; разработал новый формат обмена данных ГИС.

С непосредственным участием автора созданы программные комплексы: «Определение качества цементирования скважин» (ГИС-АКЦ), «Сжатие полного волнового пакета акустического каротажа» (Сжатие ВС), «Система обработки волнового сигнала» (ГИС-Акустика), «Обработка волнового сигнала» (WSP) [1, 2, 4].

Реализация работы. Разработки автора внедрены в ОАО «Пермнефтегеофизика», ОАО «Башнефтегеофизика», ОАО «Газпромгеофизика», тресте «Сургутнефтегеофизика» ОАО «Сургутнефтегаз», ОАО «Краснодарнефтегеофизика», ЗАО «Красноярнефтегеофизика», ОАО «Нижневартовскнефтегеофизика», ЗАО «Пермский ИГЦ «Геофизика», ООО «Сибирская геофизическая компания», ОАО «Татнефтегеофизика», ЗАО «Тюменьпромгеофизика», ООО «Удмуртнефтегеофизика», ОАО «Ухтанефтегазгеология», ООО «Юганскнефтегазгеофизика», ООО «Томскнефтегазгеофизика», ОАО «Когалымнефтегеофизика», ООО «Оренбургнефтегеофизика», «Компания ГИС» Казахстан, УПГР «Беларуснефть», УПГР «Туркменгаз», «Казпромгеофизика» и др.

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертационной работы докладывались на: III Российско-китайском симпозиуме «Новые технологии в геологии и геофизике» (Уфа, 2004), Третьем конгрессе нефтегазопромышленников России (Уфа, 2001), Третьем научном симпозиуме «Высокие технологии в промышленной геофизике», (Уфа, 2004), Научно-практической конференции по проблемам современной

геофизики (Пермь, 2004), Молодежной научно-практической конференции по проблемам современной геофизики (Пермь, 2006), IV Российско-китайском симпозиуме «Новые достижения в области геофизических исследований скважин» (Санья, Китай, 2006).

Основные положения диссертации опубликованы в 14 печатных работах, в том числе 4 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 142 страницах, в том числе 46 рисунков, 7 таблиц и список использованной литературы из 90 наименований.

Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю профессору В.М.Новоселицкому. В процессе исследований автор пользовался советами сотрудников ОАО «Пермнефтегеофизика» к.т.н. А.В. Шумилова, к.т.н. С.В.Белова, к.т.н. А.Д. Савича, А.А. Семенцова, Е.В. Заичкина; ООО Предприятие «ФХС-ПНГ» к.г.-м.н. В.А. Шумилова, О.В. Наугольных; ЗАО ПИТЦ «Геофизика» к.т.н. И.Н. Жуланова; Горного института УрО РАН кандидатов наук И.В.Геника, В.К.Сидорова, которым он выражает свою благодарность.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава «**Основные вопросы обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин (ГИС)**» состоит из трех разделов. Здесь используются результаты исследований Р.Д. Ахметсафина, С.В. Белова, А.А. Булгакова, А.Г. Деревянко, И.Н. Жуланова, А.А. Семенцова, А.Л. Храмцова, Д.А. Кожевникова, С.В. Матяшова, В.П. Потапова, А.В. Шумилова.

В первом разделе приведен обзор общих интерпретационных проблем геофизических методов исследования скважин. Интенсивный рост компьютерных технологий дал мощный стимул к развитию методов ГИС, совершенствованию их интерпретационных и петрофизических моделей. Вместе с тем, выявился разительный контраст между быстрым развитием техники и рутинностью, слабой обоснованностью некоторых интерпретационных методик, эмпиризмом многих алгоритмов интерпретации, переносащих в компьютерные программы устаревшие палочные и поправочные методики. Дополнительную трудность создает зачастую неоптимальный комплекс ГИС и технологий исследований, методик индивидуальной и комплексной интерпретации данных ГИС. Преодоление недостатков традиционных подходов возможно лишь на пути создания адаптивных, самонастраивающихся на условия измерений методик.

Во втором разделе рассмотрены вопросы программно-методического обеспечения обработки и интерпретации данных волнового акустического каротажа [3, 9, 10, 12, 14].

На производстве применяется целый ряд аппаратуры АК и регистраторов волнового сигнала. Обработка полевых материалов, полученных разными регистраторами, затрудняется из-за необходимости поддерживать в программных комплексах многочисленные существующие форматы регистрации волнового сигнала (ВС).

Современные системы позволяют регистрировать совместно с волновым сигналом и другие данные ГИС. Поэтому необходимо обеспечить совместную загрузку волнового сигнала с другими данными ГИС для одновременной увязки по глубине и возможности совместной интерпретации. Важным этапом обработки является анализ качества и редактирование полевого материала. Здесь выделяются две независимые задачи: анализ и коррекция глубин полевого материала; анализ качества и редактирование данных. Анализ качества самого материала включает: анализ сбоя синхронизации; ограничений записи волновых пакетов; смещения нуля сигнала; оценку уровня шумов; выявление единичных импульсных помех.

Предварительная обработка материала направлена на улучшение отношения сигнал/шум, выделения полезных сигналов на фоне регулярных и нерегулярных помех, а также для объединения и вырезания интервалов волнового сигнала по глубине. Основной задачей программ обработки ВАК является выделение зарегистрированных типов волн. Необходима возможность автоматического прослеживания волн, с возможностью в дальнейшем ручного редактирования. В обрабатываемой программе требуется расчет максимально возможного количества кинематических и динамических параметров волнового сигнала. Совместно с кинематическими и амплитудными параметрами надо рассчитывать и набор спектральных характеристик в выделенном волновом пакете

Параметры, полученные в результате обработки ВАК, можно использовать в системах комплексной интерпретации совместно с другими методами ГИС.

Таким образом, несмотря на преимущества ВАК, имеются ряд факторов, сдерживающих его эффективное применение в стандартном комплексе ГИС: а) скважинная и наземная аппаратура не всегда удовлетворяют требованиям к регистрации и обработке волнового сигнала; б) значительно увеличивается, по сравнению с аналоговыми кривыми, объем данных; в) известные комплексы интерпретации ГИС не предназначены для работы с данными ВАК, а используют только уже полученные результаты; г) методики обработки и получения параметров ВАК устарели и были заимствованы из способа получения их при аналоговой регистрации, что ведет к невысокой достоверности получаемых параметров и к зависимости их от типа применяемой аппаратуры; д) отсутствует единый стандарт формата хранения волнового сигнала и, как следствие, невозможно использование различных материалов в одном программном комплексе и передачи данных в другой комплекс.

В третьем разделе рассмотрены вопросы хранения данных ГИС [6, 8, 10, 12, 14]. Одна из проблем, возникающих при работе с данными ГИС, – хранение больших массивов исходных данных, получаемых в процессе интерпретации. В связи с этим необходимо использовать сжатие информации, чему благоприятствует значительный прогресс соответствующих методов.

Работа алгоритма сжатия состоит в повторном кодировании данных в другую, более компактную форму, которая, тем не менее, позволяет передать информацию без искажения или с определенной его степенью. В разделе дана классификация алгоритмов сжатия в зависимости от варианта преобразования информации. Наиболее подходящими для целей сжатия представляются методы на основе двумерного дискретного косинус-преобразования.

Вторая глава **«Подготовка данных для компьютерной обработки»** состоит из двух разделов.

В первом разделе рассмотрены вопросы разработки формата обмена данных ГИС [3, 8, 10, 12, 14]. Одной из важнейших задач в технологии обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин является обмен данными ГИС, поскольку используемые пакеты программ не позволяют эффективно решать все задачи, то зачастую предприятия имеют на своем вооружении несколько разных программных комплексов по обработке и интерпретации ГИС. Поэтому необходимо решить вопрос об обмене информацией между различными программными системами. Обмен данными ГИС, архивирование и долговременное хранение, невозможны без поддержки единых, открытых, форматов файлов. Создание оригинальной системы обработки и интерпретации данных ГИС («Соната») потребовало анализа существующих форматов и выявило необходимость разработки нового формата данных.

Файловые форматы данных ГИС можно разбить на две категории: полевые форматы, предназначенные для хранения только зарегистрированной в скважине информации и форматы обмена, позволяющие хранить как зарегистрированные, так и полученные в результате обработки данные. Рассмотрены особенности основных используемых форматов, большинство из них являются полевыми, предназначенными для хранения результатов полевых исследований, при этом многие из них имеют существенные ограничения. Для использования в качестве форматов обмена, имело бы смысл воспользоваться универсальными форматами, поддерживаемыми большинством комплексов по обработке и интерпретации ГИС, но у каждого из этих форматов также есть определенные недостатки. Наиболее перспективен стандарт WITSML, имеющий следующие преимущества: файлы XML можно просматривать стандартными браузерами; наличие готового API позволяет легко встраивать поддержку формата в ПО; исполь-

зование таблицы стилей XSL позволяет представлять информацию в удобной для пользователя форме без необходимости написания программ; легкая расширяемость за счет создания собственных схем данных; поддержка всеми ведущими международными сервисными и нефтяными корпорациями; готовые схемы данных в качестве общепризнанного стандарта по многим областям скважинной информации.

К недостаткам формата можно отнести: большое количество различных документов, описывающих схемы данных XML; большой размер XML документа при хранении многомерных данных и невозможность использования алгоритмов сжатия для представления многомерных данных. Поэтому, чтобы устранить вышеназванные недостатки, предложен на базе стандарта новый формат хранения данных ГИС (Enhanced WITSML), позволяющий передавать любую информацию по скважине, включающую как материалы каротажа, так и результаты обработки и интерпретации ГИС в компактном виде.

Во втором разделе рассмотрено сжатие данных волнового акустического каротажа [2, 4, 6-8].

По статистике объем данных акустического каротажа составляет около 70-80% всех данных ГИС. В современных условиях для оперативной передачи данных, архивирования исходного и обработанного материала необходимо обеспечить коэффициент сжатия около 20-30. При сжатии необходимо гарантировать, что погрешность, извлекаемых из волнового сигнала, параметров до и после сжатия, находится в пределах регламентированной погрешности измерений. Алгоритмы сжатия можно подразделить на две группы: сжатие без потерь и сжатие с потерями информации. Ни один из известных методов сжатия без потерь не обеспечивает требуемую степень компрессии. В работе предложено сжатие данных с потерями на основе дискретного косинус-преобразования (ДКП).

ДКП относится к группе алгоритмов под общим названием «сжатие преобразованием», их работа основана на предположении, что данные, получаемые в результате Фурье-преобразования сигнала, несут разную информационную нагрузку. В частности, низкочастотные компоненты сигнала информативнее высокочастотных. ДКП использует разложение только по косинусам.

Пусть исходные данные представляют собой блок размером 8×8 . В результате ДКП получим спектр действительных значений того же размера. Как и в Фурье-анализе, каждое значение в спектре представляет собой амплитуду базисной функции. Аналитически эти функции выглядят следующим образом:

$$b[x, y] = \cos\left[\frac{(2x+1)up}{16}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)vp}{16}\right]$$

где переменные x и y индексируют пространственные координаты, u и v - частотные.

Осуществлять сжатие полученного спектра без предварительных

преобразований не целесообразно. Поскольку ДКП является точным преобразованием, то восстановленный из спектра сигнал, равен исходному сигналу. Следует так изменить (огрубить) полученный спектр сигнала, чтобы добиться эффективного сжатия спектра, но при этом не потерять полезной информации. Возможно использование разных подходов к огрублению спектра: использовать для хранения значений спектра количество бит, заведомо меньшее, чем необходимо (обнуление младших разрядов числа); отбрасывать некоторые значения из полученного спектра.

Предложено над спектром выполнить обе указанные операции, объединив их в одну, называемую квантованием спектра и выполняемую с помощью таблицы квантования. Процесс квантования заключается в том, что каждое значение в спектре делится на соответствующее значение в таблице квантования и округляется до ближайшего целого.

После квантования спектра сигнала его необходимо сжать каким-либо стандартным алгоритмом сжатия без потерь. При этом для достижения большей степени сжатия полезно выполнить над уже квантованным спектром операцию линейного упорядочивания. Суть ее заключается в разворачивании блока данных в линейную последовательность таким образом, чтобы высокочастотные компоненты спектра находились в конце последовательности. Поскольку эти компоненты квантуются сильнее всего, в конце последовательности получают нулевые значения. После применения к этим значениям поблочного кодирования, а затем, например, алгоритм Хаффмана или Барроуза-Уилера получится сжатый файл.

Важной задачей является подбор значений в таблице квантования, чтобы искажения после распаковки не превысили допустимого уровня, и чтобы степень сжатия осталась максимально высокой. Для этого используется итерационный алгоритм подбора мультипликативного коэффициента для таблицы квантования. В результате находится такой коэффициент, что его увеличение ведет к превышению допустимой погрешности, а уменьшение – к уменьшению степени сжатия.

При обработке и интерпретации данных ВАК, зачастую используется только часть сигнала по времени, в которой и определяются все необходимые параметры. Эта часть сигнала должна быть сжата с минимальными потерями. Остальная часть либо совсем не информативна (шумы до первых вступлений), либо используется, только на качественном уровне. Поэтому, для достижения оптимального соотношения *минимальные искажения полезного сигнала/максимальная степень сжатия* следует задавать разные величины искажений в разные моменты времени.

При разработке алгоритмов сжатия с потерями встает проблема оценки вносимых искажений. Было рассмотрено несколько различных подходов к оценке вносимых искажений [8] – стандартное отклонение, среднеквадратичное отклонение, пиковое отношение сигнал/шум и др. В результате выбран способ оценки искажений, который назван «средняя от-

носительная амплитудная ошибка». Этот способ оценки дает наиболее адекватный результат в любых (даже имеющих особенности) участках волнового сигнала.

В зависимости от решаемых задач геофизических исследований и требуемой степени сжатия необходим выбор оптимальных параметров для соотношения минимальные искажения полезного сигнала/максимальная степень сжатия. В связи с этим в работе установлены значения допустимых погрешностей для решения следующих задач: контроль качества цементирования; определения скорости продольной волны; определение физико-механических свойств, коэффициента пористости и нефтенасыщенности, расчет полной энергии волнового пакета; архивация исходного материала.

Совместно с техническим комитетом по стандартизации «Геофизические исследования и работы в скважинах» разработан руководящий документ «Методика сжатия данных ВАК». Реализация сжатия данных ВАК осуществлена в программе «Сжатие полного волнового пакета акустического каротажа» (Сжатие ВС)[4]. Сопоставление сигналов и кривых до и после сжатия приведено на рис. 1, где видно их достаточно хорошее соответствие.

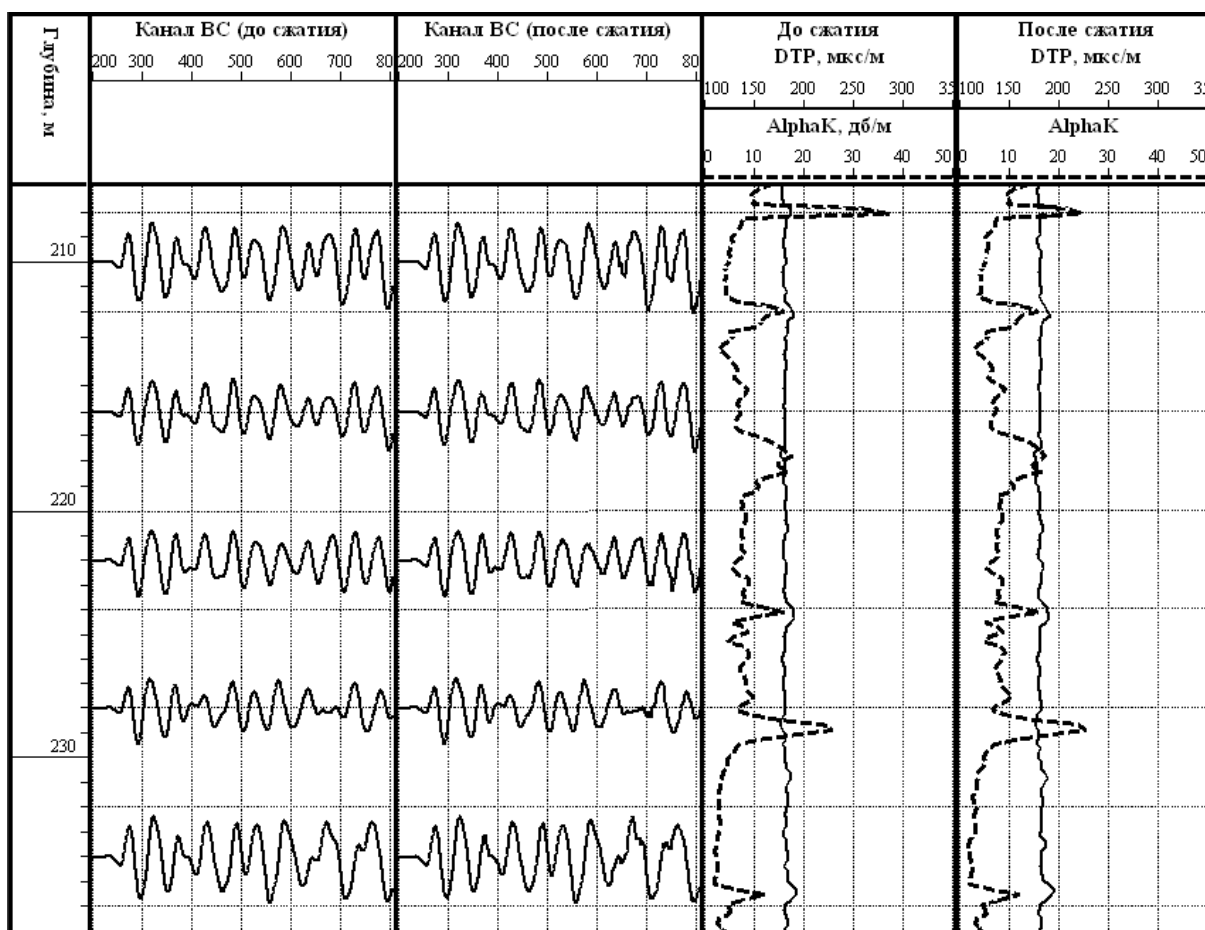


Рис. 1. Сравнение волновых сигналов и полученных параметров до и после сжатия. Степень сжатия 44. Относительная погрешность результатов составляет менее 2%

Третья глава «**Методическое и программное обеспечение компьютерной системы обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин**» состоит из трех разделов.

В первом разделе рассмотрены вопросы, связанные с обработкой и интерпретацией волнового акустического каротажа.

Основное применение ВАК в обсаженных скважинах состоит в оценке качества цементирования, а точнее в оценке состояния контакта на границе цемент-колонна и цемент-порода.

В настоящее время для акустической цементометрии (АКЦ), в основном применяется методика обработки и интерпретации данных АК, разработанная для аналоговых регистраторов. Такая методика эффективна только в условиях низкоскоростного разреза и высокого качества полевого материала.

Основные задачи, решаемые по данным ВАК: определение скорости распространения упругих волн в горных породах; литологическое расчленение разреза; определение типа и коэффициента пористости; определение характера насыщенности пород-коллекторов, выявление в разрезах скважин коллекторов со сложной структурой порового пространства; определение упруго-деформационных свойств горных пород; оценка вторичной пористости в трещинных и порово-каверновых коллекторах; оценка проницаемости коллекторов; оценка преимущественной ориентации трещин по отношению к оси скважины; выделение нефтегазонасыщенных коллекторов.

Для решения всех выше перечисленных задач необходимо выделить в волновом поле целевые волны и получить их кинематические и динамические характеристики.

Интервальное время продольной волны используется для определения скорости распространения упругих волн в горных породах, литологического расчленения разреза, определения коэффициента пористости.

Определение упруго-деформационных свойств горных пород по ВАК бывает затруднено необходимостью выделения как продольной, так и поперечной волны, что не всегда возможно, например, в условиях высокой трещиноватости или кавернозности, а также для низкоскоростных пород. Оценка анизотропии скважины и преимущественной ориентации трещин по отношению к оси скважины возможна только при записи дипольной и кросс-дипольной аппаратурой АК. Оценка проницаемости коллекторов по ВАК делается по кинематическим и динамическим параметрам волны Стоунли и в основном на качественном уровне.

Определение характера насыщенности пород-коллекторов и коэффициента нефтенасыщенности может производиться по различным методикам, использующим как кинематические, так и динамические параметры продольной и поперечной волны. Наибольшую известность и распростра-

нение получила методика определения коэффициента нефтенасыщенности, разработанная в РГУНГ В.М. Добрыниным, В.Н. Черноглазовым, А.Н. Городновым. Ограничения данной методики связаны с необходимостью очень высокой точности определения кинематических параметров продольной и поперечной волны (в пределах 1 – 2 мкс/м, тогда как для многих приборов, заявленная погрешность составляет 5 мкс/м).

Оценка вторичной пористости в трещинных и порово-каверновых коллекторах может производиться по параметрам поперечной волны и по энергии полного волнового пакета. Решение большинства из вышеперечисленных задач, возможно только с привлечением полного комплекса ГИС.

В настоящий момент в России и странах ближнего зарубежья существует ряд программных комплексов, которые активно применяются в производстве для обработки и интерпретации данных ВАК как в обсаженной, так и в необсаженной скважине. Недостаточная эффективность применения многих таких систем пока не позволяет говорить о сложившейся технологии по обработке и интерпретации ВАК. Наиболее распространены и универсальными являются три программных комплекса, включающие в свой состав обработку и интерпретацию ВАК: «Камертон», НПП Гетэк, г. Москва; «Геопуск», УкрГГРИ, г. Киев; «Соната» ООО Предприятие «ФХС-ПНГ» г. Пермь.

Система «Соната» обеспечивает полную технологическую цепочку от ввода полевого материала, оценки качества ВАК, предварительной обработки, получения параметров волн, интерпретации полученных параметров, до построения заключения и вывода его на планшет печати.

*Выделение волн при акустическом каротаже
методом максимального подобия*

Совершенствование методик интерпретации акустического каротажа и появление новых поколений многоэлементных приборов АК привело к необходимости в производственном режиме выделять не только первые вступления продольной волны, но и получать характеристики поперечной волны и волны Стоунли. До сих пор выделение этих волн осуществлялось либо пороговым способом, либо корреляцией соответствующих фаз на каждом канале волнового сигнала. Такой способ был оправдан при записи трехэлементным зондом достаточной длины, при условии отсутствия интерференции исследуемых волн. Но такой способ выделения волн сильно зависит от субъективного выбора оператором идентичных фаз какой-либо волны, а также является чрезвычайно трудоемким при обработке многоэлементной аппаратуры АК.

Величины скоростей распространения продольной, поперечной и Стоунли волн предложено находить расчетом функции подобия для волновых пакетов, зарегистрированных многоэлементными измерительными зондами [13].

Функция подобия рассчитывается

как:

$$r^2(\Delta t, t) = \frac{\int_{t-t}^{t+T} \left[\sum_{i=1}^n x_i(t + \Delta t \cdot s_i) \right]^2 dt}{n \sum_{i=1}^n \int_{t-t}^{t+T} [x_i(t + \Delta t \cdot s_i)]^2 dt},$$

где t – время, T – ширина окна интегрирования, равная длине пакета волны; n – количество приемников; $x_i(t)$ – сигнал, принятый от i приемника; s_i – расстояние между первым и i приемниками. Значение $r^2(Dt, t)$ находятся в интервале $[0;1]$. Оно равно 1, если сигналы полностью идентичны в пределах интервала интегрирования; значение, равное 0, соответствует совершенно разным сигналам. Положения на графике “ $Dt - t$ ” локальных максимумов функции подобия, в которых значения функции приближаются к 1, соответствуют по оси Dt интервальным временам распространения волн, идентификация которых ведется с применением определенных априорных сведений.

Использование только функции подобия для выделения пакетов волн и определения интервального времени по максимуму функции не всегда приводят к желательным результатам. Так, например, в случае слишком длинного пакета волны возможны ситуации, когда максимум достигается со сдвигом на период сигнала. Такие случаи могут быть исключены заданием физических ограничений (интервальные времена и скорости) на исследуемые волны, а также зависимости одних типов волн от других.

Использование только функции подобия для выделения пакетов волн и определения интервального времени по максимуму функции не всегда приводят к желательным результатам. Так, например, в случае слишком длинного пакета волны возможны ситуации, когда максимум достигается со сдвигом на период сигнала. Такие случаи могут быть исключены заданием физических ограничений (интервальные времена и скорости) на исследуемые волны, а также зависимости одних типов волн от других.

Сопоставление прослеженных кривых ручным способом и методом максимального подобия представлено на рис. 2, из которого следует их достаточно хорошая сходимость.

Учет влияния скважинного прибора при акустической цементометрии

При изучении параметров сигналов, возбуждаемых в обсадных трубах, недостаточно внимания уделяется влиянию конструкции прибора на регистрируемые параметры. Известны зависимости затухания и амплитуды волны по колонне только для приборов одного типа. Остался не изученным вопрос метрологического обеспечения других типов приборов. Поэтому были проведены работы по физическому моделированию ВАК в моделях обсаженной скважины [5].

Наблюдения в моделях выполнялись предназначенными для акустической цементометрии промышленными приборами. Измерения выполнялись как в специально построенных моделях, так и в поверочных установках. Модели охватывали шесть основных состояний зацементированной скважины: микрозазор колонна-цемент, низкоскоростной разрез; вертикальный канал, низкоскоростной разрез (цементное кольцо из портландцемента или гельцемента); скважина без дефектов цементирования, низкоскоростной разрез (цементное кольцо из портландцемента или гельцемента); скважина без дефектов цементирования, высокоскоростной разрез.

Методика измерений предусматривала следующие этапы: регистрация сигналов от скважинных приборов через имитатор каротажного кабеля; обработка записанных сигналов с целью выделения волны по колонне и

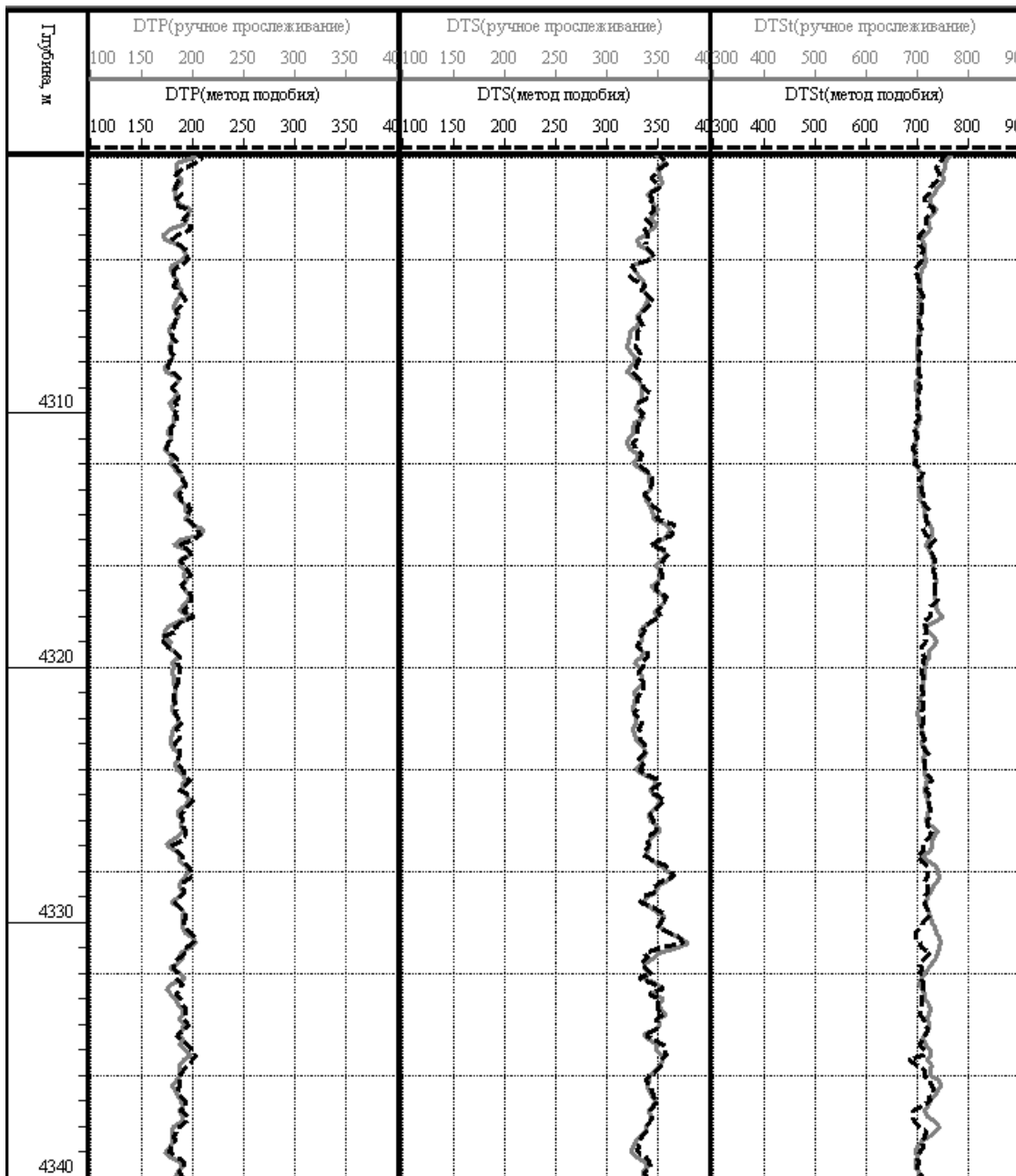


Рис. 2. Сравнение интервальных времен P, S, St-волн, полученных методом максимального подобия и ручным способом прослеживания по фазе.

определения её кинематических и динамических параметров. Для определения зависимости интервального времени пробега и коэффициента затухания от частоты для каждой записи волнового сигнала выполнялись: низкочастотная фильтрация; вырезание волны по колонне косинусно-прямоугольным окном; преобразование Фурье; построение энергетических и фазовых спектров; вычисление спектральных характеристик.

Анализ экспериментальных зависимостей параметров волны по колонне показал следующее.

Ширина спектра волны по колонне примерно одинакова для всех типов приборов и равна 10-12 кГц, а частота максимума изменяется от 14 до

20 кГц и определяется конструкцией прибора. Интервальное время волны по колонне, определяемое по времени прихода максимумов сигнала, зависит от параметров модели, особенно этот эффект проявляется на модели зазора. С уменьшением величины зазора происходит уменьшение интервального времени, что является следствием изменения дисперсии фазовой скорости и частотной зависимости затухания при уменьшении зазора, вызванного увеличением давления в колонне. Коэффициент затухания является наиболее устойчивой динамической характеристикой волны. Полученная зависимость позволяет определять тип дефекта цементирования по измерениям затухания волны по колонне на разных частотах зондирующего импульса. Основным критерием является разность измеренного коэффициента затухания. Если разность не превышает заданной величины, то предполагается дефект объемного типа, иначе – контактного типа.

Результаты расчетов коэффициента затухания в частотной области показывают, что зависимость от частоты в значительной мере зависит от конструкции прибора.

Таким образом, при оценке величины зазора по затуханию волны по колонне образуется систематическая погрешность, связанная как с частотой импульса, так и с конструктивными параметрами приборов. Для учета этой погрешности необходимо применение специальной калибровки приборов в моделях обсаженной скважины. Для каждого типа прибора строятся зависимости коэффициента затухания от величины зазора при двух значениях волнового сопротивления цемента Z . Полученные зависимости линейно интерполируются по Z для построения палеток определения дефекта по заданным значениям затухания и волновому сопротивлению цемента. Если конструкция прибора позволяет работать на нескольких частотах импульса, то зависимости строятся для всех режимов работы прибора.

Во втором разделе рассмотрена обработка данных селективного гамма-дефектомера-толщиномера. Применение метода рассеянного гамма-излучения основано на зависимости интенсивности рассеянного излучения от плотности вещества основных сред, слагающих обсаженную скважину. Количество гамма-квантов, попавших в приёмник, зависит от плотности вещества - чем больше плотность вещества, тем меньше гамма-квантов попадёт в приёмник.

В разделе выполнено сопоставление характеристик основных приборов СГДТ.

Обработка и анализ материала с различными скважинными условиями, полученного разными приборами СГДТ, показали, что в большинстве случаев, результаты, полученные по стандартной методике, удовлетворительны, но имеются существенные ограничения, не позволяющие в ряде случаев выдавать достоверное заключение и получать необходимые конечные результаты. Кроме того, в связи с применением нового типа аппа-

ратуры с одновременным опросом датчиков и наличием канала ориентации прибора появились новые требования к результатам интерпретации – построение развертки плотности по периметру скважины и учет вращения прибора.

Для совершенствования методики обработки данных СГДТ были решены следующие задачи, учитывающие возможность обработки, как старых, так и новых приборов, и позволяющие расширить возможности известной методики: обработка данных для колонн диаметром отличных от 146 и 168 мм; построение развертки плотности цемента при записи старыми приборами с круговым опросом датчиков; построение развертки и селективных плотностей с учетом эксцентриситета; поправка развертки плотности за вращение прибора скважины; вычисление плотностей в случае многоколонной конструкции; настройка по нескольким опорным интервалам или калибровкам с различной плотностью.

Поскольку показания интенсивности зависят от толщины цементного кольца, то с увеличением диаметра колонны толщина цементного кольца при неизменном диаметре скважины уменьшается. Вследствие того, что зависимости построены для 146 мм колонны и различных диаметров скважины, то решено было вводить линейную поправку в диаметр скважины, в зависимости от толщины цементного кольца. Справедливость такой поправки была подтверждена обработкой скважин с другими диаметрами колонн.

Построение развертки плотности цемента при записи приборами с круговым опросом датчиков необходимо для унификации обработки СГДТ приборов со старой телеметрией. В случае эксцентриситета колонны селективные кривые кругового опроса имеют вид синусоиды. Период данной синусоиды характеризует скорость записи кривой. Принимая, что датчики опрашиваются через одинаковые промежутки времени, и при известной скорости записи, можно определить показания селективной кривой для любого датчика. Таким образом, вычисляя период исходной селективной кривой можно построить набор селективных кривых для каждого датчика.

В случае большого эксцентриситета колонны, получаемые селективные плотности и развертка не отражают реальной плотности затрубного пространства, а характеризуют эксцентриситет колонны. Поэтому для того чтобы получить реальное представление о плотности цемента за трубой необходимо внести коррекцию за эксцентриситет колонны. Исходя из рассчитанного эксцентриситета колонны, для каждого датчика определяется относительное расстояние до стенки скважины и строится зависимость плотности цемента от этого расстояния. Угол наклона линии соответствует поправочному коэффициенту для рассчитанных селективных плотностей.

Современные приборы СГДТ оснащены датчиком ориентации относительно оси колонны. После ввода поправки в развертку на регистрируемую кривую азимута получается представление развертки плотности с ис-

ключенным влиянием вращения прибора. Это достигается смещением данных в развертке на заданный угол из показаний кривой азимута.

В случае двухколонной конструкции скважины показания цементограмм резко снижаются за счет поглощения гамма-квантов дополнительной колонной и цементом в межколонном пространстве. При стандартной обработке в таких интервалах определяемая плотность среды достигает величин, сопоставимых с интервалами, представленными зацементированной колонной. Допуская, что вторая колонна и цемент за ней вносят систематическое искажение и учитывая, что при увеличении плотности затрубного пространства показания цементограмм уменьшаются экспоненциально, вводится поправка в исходные цементограммы.

$$J_n = K * J,$$

где J_n – исправленные показания, J – старые показания, K – коэффициент, который подбирается исходя из предположения, что при переходе из одноколонной в двухколонную среду плотность цемента между колоннами практически не изменится.

Эталонировка плотности вводится для решения функционала:

$\sigma_c = f(J, \delta_k, \sigma_n, d_c)$, где σ_c – плотность цемента, δ_k – толщина колонны, σ_n – плотность пород, d_c – диаметр скважины.

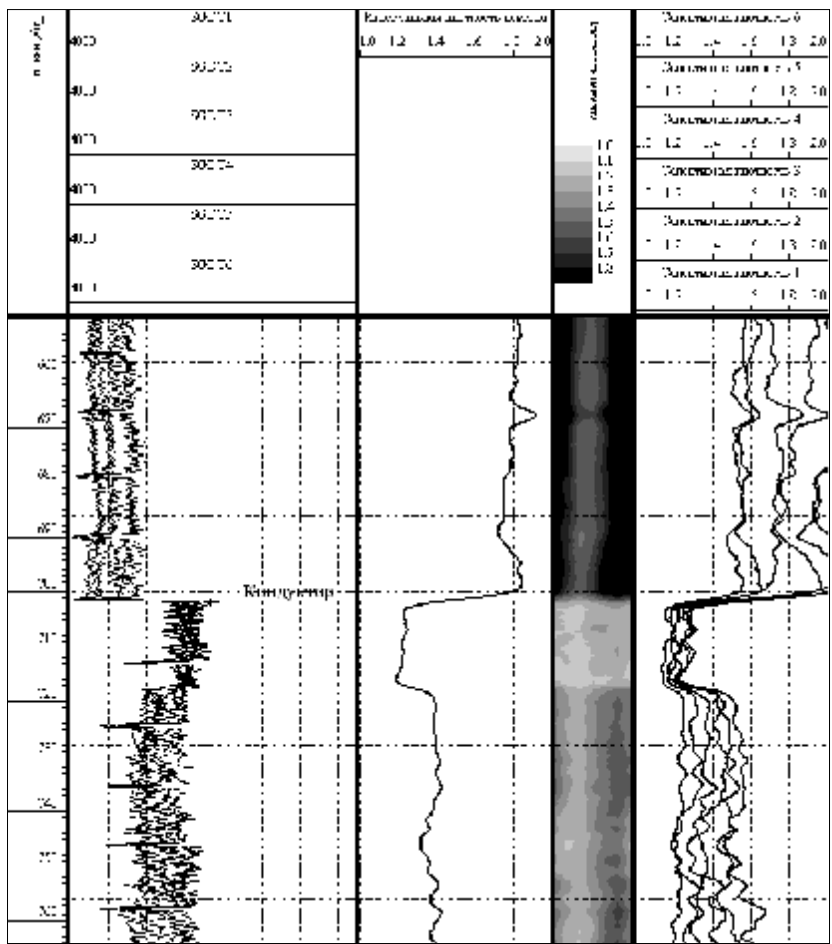
Однако в реальных скважинных условиях вид зависимостей, используемых в функционале может существенно измениться. Это может быть связано, например, с влиянием промывочной жидкости в скважине, с неполными исходными данными (информацией по плотности породы, диаметру скважины), другой диаграммой направленности прибора и т.д. В этих случаях ввод дополнительных эталонировочных данных позволяет скорректировать зависимости в функционале для расчета плотности.

На рис.3. представлена обработка данных СГДТ известным и новым способом, из которого видно, что прежние методики давали завышенные значения плотности цемента в случае двухколонной конструкции.

В разделе подробно рассмотрена технологическая схема обработки данных СГДТ в системе «Соната».

До создания системы «Соната» обработка и интерпретация АКЦ и СГДТ для большинства типа аппаратуры проводились независимо друг от друга, при этом информация, выдаваемая по результатам обработки АКЦ и СГДТ, могла существенно отличаться, например, в высоте подъема цемента, а также в характере заполнения затрубного пространства и в оценке качества сцепления. Другой проблемой являлся неучет плотности закаченного цемента при интерпретации АКЦ, особенно это проявляло себя при использовании облегченных (пористых) цементов пониженной плотности. В этом случае при интерпретации АКЦ геофизиками зачастую выдавался плохой контакт между цементом и колонной по всему интервалу облегченного цемента.

а



б

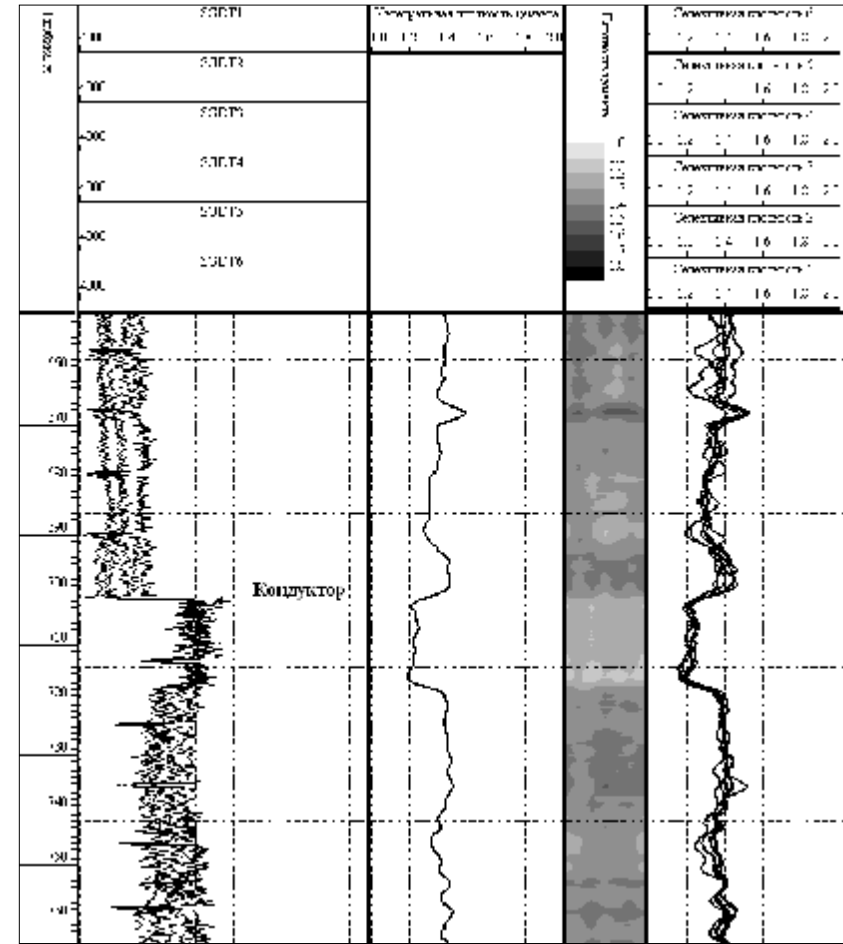


Рис. 3. Результаты интерпретации данных СГДТ по известной (а) и новой методикам (б)

Для оценки качества сцепления на границе цемент-колонна и учета плотности цемента предлагается строить кривую индекса цементированья как функцию от коэффициента затухания волны по колонне (a_k) и плотности цемента (s_u).

$$\text{Сам функционал имеет вид: } I_u = F(a_k, s_u) = \frac{(a_k - a_{k.св})}{(a_{k.ц}(s_u) - a_{k.св})}$$

где $a_{k.св}$ – затухание в свободной колонне, $a_{k.ц}$ – коэффициент затухания при жестком контакте цемент-колонна для заданной плотности цемента s_u . Зависимость $a_{k.ц}(s_u)$ строится интерполяцией между известными значениями коэффициента затухания для различных плотностей цемента из приведенных модельных работ.

Заключение по состоянию контакта на границе цемент-колонна строится уже не по граничным значениям коэффициента затухания, а по граничным значениям кривой индекса цементированья $I_{ц}$:

- $I_u < 0,3$ – отсутствие контакта
- $0,3 < I_u < 0,7$ – плохой контакт
- $0,7 < I_u < 1$ – частичный контакт
- $I_u \geq 1$ – жесткий контакт

Таким образом, учет плотности цемента, полученный по результатам обработки СГДТ, при интерпретации АКЦ, позволяет с более высокой точностью и достоверностью получать представление о качестве контакта между колонной и цементным кольцом.

Для выявления интервалов возможных перетоков жидкости, впервые предлагается выполнять определение герметичности заколонного пространства с учетом комплексной интерпретации результатов АКЦ и СГДТ.

Результат определения герметичности включает четыре градации:

- "*Герметичность отсутствует*" - пласты не изолированы, вероятность перетоков очень высокая;
- "*Герметичность пониженная*" - пласты в основном изолированы, но при эксплуатации возможны перетоки,
- "*Герметичность высокая*" - пласты изолированы, вероятность перетоков очень низкая;
- "*Герметичность не определена*" - невозможно оценить изоляцию пластов и вероятность перетоков.

В третьем разделе описано построение системы комплексной компьютерной обработки данных ГИС- системы «СОНАТА» [7, 10, 12, 14]. Характерные особенности сложных программных систем определяют требования к методам и инструментальным средствам, поддерживающим жизненный цикл их разработки. Во-первых, иерархичность, облегчающая понимание и позволяющая ограничиваться рассмотрением только опреде-

ленного уровня, не вдаваясь в детали реализации. Во-вторых, групповая разработка, при которой деятельность каждого участника проекта ограничивается соответствующим иерархическим уровнем. Одновременно должны быть предусмотрены возможности интеграции результатов работы отдельных участников проекта и защиты их от несанкционированного доступа. В-третьих, удобство внесения изменения в проект, что связано как с устранением ошибок, выявленных в процессе разработки и отладки системы либо при ее эксплуатации, так и с необходимостью внесения изменений и дополнений, вызванных изменениями внешних условий и требований к системе. В-четвертых, использование концепции сборочного проектирования, основанного на идее повторно используемых компонент

Классический подход к разработке сложных систем базируется на методологии структурного проектирования, в основе которой лежит алгоритмическая декомпозиция системы по методу «сверху вниз». Жизненный цикл прикладной системы в этом случае складывается из этапов анализа, проектирования, программирования, тестирования и сопровождения, которые выполняются последовательно. Каскадный принцип не согласуется с итеративным характером разработки программной системы, поскольку на последних этапах может выясниться необходимость внесения изменений в решения, принятые на предыдущих этапах.

Стремление избавиться от недостатков структурного подхода привело к развитию новых идей, основанных на объектной декомпозиции. Такой подход к разработке программных систем получил название объектно-ориентированного проектирования (ООП). Особенность процесса разработки на основе ООП состоит в том, что центр тяжести смещается от программирования к более ранним этапам – анализу и проектированию. Применение средств, осуществляющих автоматическую генерацию кодов, возможность повторного использования проектных решений и сборки системы из готовых компонентов значительно упрощают процесс разработки, поэтому эффективность принятых методик анализа и проектирования имеет решающее значение для судьбы проектов. Таким образом, основные достоинства ООП состоят в следующем: распараллеливание работ; простота внесения изменений; гибкая архитектура и переносимость; повторное использование компонент; естественность описания. При разработке системы «Соната» было использовано инструментальное CASE средство Rational Rose, для описания моделей применялся унифицированный язык моделирования (UML) – промышленный стандарт для описания объектно-ориентированных (ОО) моделей, используемый в Rational Rose.

На основе анализа требований к программному продукту была построена объектная модель предметной области – обработки и интерпретации данных ГИС. *Проект* - базовый объект в системе - набор исходных

данных, параметров и результатов обработки и интерпретации полученных в отдельной скважине. Проект состоит из набора наблюдений. *Наблюдение* - замер в скважине, обычно, сделанный за один спуско-подъём. Под наблюдением понимается, также, набор данных увязанных по глубине и имеющих общую шкалу глубин. Наблюдение содержит набор кривых, каналов волнового сигнала, разбивок (непрерывный набор интервалов упорядоченный по глубине), разверток (набор данных по окружности скважины), спектров волнового сигнала, пластов, попластовых кривых, элементов конструкции скважины.

Архитектура программной системы «Соната» основана на классической трехуровневой архитектуре клиент-сервер, в которой выделяются три основных уровня: графический пользовательский интерфейс; бизнес-логика или уровень обработки и операций с данными; уровень представления данных предметной области. В основе проектирования каждого уровня лежат известные шаблоны ОО проектирования, так называемы паттерны проектирования.

Компонентная модель системы состоит из набора модулей, которые разделяются на 3 категории: 1) базовые модули, включающие ядро системы, основные операции с данными ГИС, ввод исходных данных и экспорт результатов 2) модули пользовательского интерфейса, состоящие из графического рабочего планшета, планшета печати, отображения всех данных ГИС, навигатора данных, генератор отчетов 3) динамическо-подключаемые модули: калькулятор кривых, интерактивный редактор кривых, оценка качества исходных данных, модуль обработки и интерпретации АКЦ, модуль обработки данных гамма-гамма цементометрии, модуль совместной интерпретации данных АКЦ и СГДТ, модуль, включающий набор задач обработки и интерпретации ВАК в открытом стволе, определение плотности породы.

Система «Соната» содержит набор модулей для решения различных геофизических задач как в открытом стволе, так и в колонне. Особенностью системы является: возможность загрузки данных из большинства геофизических форматов; обработка данных полученных любой скважинной и наземной аппаратурой АК и СГДТ; наличие «мастеров», которые помогают в последовательном выборе необходимых данных, установке правильных параметров обработки; автоматическая оценка качества полевого материала в том числе ВАК; адаптивность методов обработки к любым геолого-техническим условиям скважины; формирование протоколов обработки для контроля ведущими специалистами правильности получения результатов; высокая технологичность достигается введением шаблонов и настроек для различных геофизических задач.

К основным задачам в «Сонате» относятся обработка данных СГДТ, АКЦ, определение герметичности заколонного пространства, выделение волн в полном волновом пакете, расчет физико-механических свойств гор-

ных пород, определение зон приточности в низкопористых карбонатных отложениях, определение плотности горных пород по комплексу гамма и нейтронного каротажа.

Немаловажным фактором для производственных предприятий является то, что все алгоритмы и методики интерпретации, использованные в системе «Соната», соответствуют утвержденным руководящим документам и методическим указаниям и опробованы в производственном режиме на различных геофизических предприятиях, по авторским разработкам даны подробные описания. Кроме того, ПО «Соната» прошло сертификацию в Евро-Азиатском геофизическом обществе (ЕАГО) на соответствие стандарта по оценке качества цементирования, разработанного НК «Роснефть» и соответствие требованиям стандарта ЕАГО по сертификации программных пакетов и систем обработки и интерпретации геофизических данных.

В четвертой главе **«Решение задач ГИС с использованием системы «Соната»** [7, 10-12, 14] приведен ряд примеров обработки и интерпретации данных с использованием предлагаемых методических подходов и технологий.

Рассмотрена технология обработки данных АК в открытом стволе, записанная аппаратурой ВАК-8. Отличительной особенностью данного вида аппаратуры АК является наличие трех монополюсных источников с частотами 16, 12 и 5кГц и двух ортогональных дипольных источников частотой 5 кГц, а также набора из 8 монополюсных и 8 дипольных приемников. Всего при записи регистрируется 40 каналов волнового сигнала.

На примере обработки данных прибора ВАК-8 показана технология обработки ВАК, включающая оценку качества, предварительную обработку данных и выделение волн в волновом пакете. Используя оценку качества волнового сигнала, было принято решение о выборе процедур предварительной обработки сигнала для повышения уровня сигнал/помеха. Затем с помощью метода подобия были получены параметры продольной, поперечной волны и волны Стоунли для разных излучателей. По построенным дипольным поперечным волнам рассчитан коэффициент анизотропии. Разработанная технология по обработке данных ВАК и метод максимального подобия для выделения волн позволил оперативно провести обработку 40 каналов волнового сигнала с низким качеством исходного материала.

В результате интерпретации скважины 5039 в открытом стволе с использованием системы «Соната» были выявлены следующие закономерности. В интервалах 2169-2172 м, 2193 – 2194.5 м, 2257.3 – 2259.3 м, 2259.7 – 2260.8 м наблюдается понижение коэффициента Пуассона $< 0,3$, коэффициента бокового распора $< 0,4$; повышение частоты максимума волны Стоунли и снижение частоты максимума поперечной волны; уменьшение энергии поперечной волны и волны Стоунли, увеличение коэффициента затухания волны Стоунли уменьшение энергии спектра этих волн, умень-

шение энергии полного волнового пакета, увеличение коэффициента рассеяния. Все это с высокой степенью вероятности свидетельствует о наличии в этих интервалах проницаемых зон повышенной трещиноватости.

Разработанная технология по обработке данных ВАК, метод подобия выделения волн позволили получить достоверные параметры поперечной и волны Стоунли, большое количество динамических и спектральных характеристик волн, физико-механические свойства горных пород, благодаря которым стало возможным с высокой степенью достоверности выделить в разведочной скважине проницаемые зоны повышенной трещиноватости.

В скважине №303, на примере обработки прибора СГДТ-НВ со старой телеметрией, т.е. с круговым опросом датчиков плотномера, показано построение развертки плотности цемента по окружности скважины. При прежней обработке возможно было только получение интегральной плотности цемента и одной селективной плотности, соответствующей максимальным показаниям цементограмм.

Интерпретация АКЦ в этой скважине была осложнена наличием высокоскоростных карбонатных отложений, в которых происходит постоянная интерференция волны по колонне и по породе. Совместная интерпретация ВАК в открытом стволе и в обсаженной скважине, разбивка на типы разреза, автоматическая корреляция кривых интервального времени в открытом стволе и в колонне, позволила уточнить интервалы хорошего и плохого контакта цемента с колонной.

Совместная интерпретация СГДТ и АКЦ показана на примере обработки скважины №164. Был проведен комплекс исследований прибором СГДТ-П и двухчастотной акустической аппаратурой АКВ-1. С использованием новых методов обработки СГДТ была получена достоверная плотность цемента в интервале двухколонной конструкции, позволившая точно определить высоту подъема цемента. По двухчастотной методике с использованием нормированных амплитуд, полученных при регистрации от излучателей на разных частотах, определялся тип дефекта цементирования и его величина. Интерпретация АКЦ проведенная с учетом плотности облегченного цемента показала реальную картину о состоянии контакта на границе цемент-колонна. По результатам комплексной интерпретации СГДТ и АКЦ построено совместное заключение о герметичности заколонного пространства, которое показывает, например, что в отдельных интервалах хорошего контакта цемента с колонной герметичность понижена, ввиду высокого эксцентриситета колонны и прилегания колонны к стенкам скважины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе рассмотрены вопросы, связанные с созданием методического обеспечения и компьютерной технологии обработки и

интерпретации акустических и ядерно-геофизических методов.

1. Показано, что в условиях ускоренного развития современной технической основы ГИС, позволяющей получать большой объем разнообразной информации, основные проблемы обработки и интерпретации данных ГИС смещаются к методическим и технологическим вопросам, решение которых возможно при переходе от палочных и поправочных методик к адаптивным методам интерпретации, самонастраивающимся на условия измерений. В связи с этим актуальным является разработка новых компьютерных систем свободных от ограничений, свойственных предшествующим системам и в полной мере реализующих новые возможности обработки и интерпретации данных ГИС. В настоящее время к числу важных требований для новой системы относятся технологичность и интеграция в общую информационную среду предприятия. Система должна обеспечивать поддержку полной технологической цепочки от ввода полевого формата до вывода получаемых параметров и заключения на печатающее устройство или в файл. Программный комплекс должен быть эффективным средством для массовой обработки и интерпретации данных, обеспечивая быстрое получение конечного результата и, вместе с тем, предоставлять возможности для детальных исследований.

2. Разработана и программно реализована новая методика сжатия данных ВАК. Применение сжатия связано в первую очередь с необходимостью оперативной передачи большого объема данных ВАК со скважины в интерпретационные центры, уменьшением объема хранимых данных. Реализованные подходы к сжатию сигнала используют двумерное дискретное косинус-преобразование, при этом погрешность, извлекаемых из волнового сигнала, параметров до и после сжатия, находится в пределах регламентированной погрешности измерений. Произведен выбор оптимальных параметров сжатия в зависимости от решаемых задач, посредством настройки степени искажения данных отдельно для разных участков сигнала.

3. Предложен и программно реализован метод автоматического выделения целевых волн методом подобия при акустическом каротаже, что позволяет эффективно определять и фиксировать их характеристики в зарегистрированном полном волновом пакете. При этом сокращается трудоемкость работы и исключается субъективность при выборе фазы волны. Данный метод позволяет использовать все преимущества многоэлементной аппаратуры, увеличивая достоверность и точность определения скоростей волн.

4. Выполнено физическое моделирование ВАК в моделях обсаженной скважины с целью учета влияния скважинного прибора при акустической цементометрии. Измерения выполнялись как в специально построенных моделях, так и в поверочных установках. Показано наличие дисперсии фазовой скорости и частотной зависимости затухания. Оценка величины

зазора по затуханию волны по колонне дает систематическую погрешность, связанную как с частотой импульса, так и с конструктивными параметрами приборов. Учет этой погрешности возможен при применении специальной калибровке приборов в моделях обсаженной скважины.

5. Разработан новый формат обмена данных ГИС на основе формата WITSML. Универсальность формата связана с возможностью обмена хранения любой скважиной информации; легкостью просмотра и модификации; наличием поддержки ведущими международными сервисными и нефтяными корпорациями; объектным подходом при реализации исходного стандарта; наличием готовых схем данных.

6. Рассмотрено применение селективного гамма-дефектомератолщиномера, который наряду с ВАК нацелен на контроль ряда технических характеристик скважины. Проведена оценка влияния эксцентриситета колонны и многоколонной конструкции скважины при определении плотности вещества в затрубном пространстве по данным гамма-гамма-цементометрии. Созданы технологии, позволяющие осуществлять построение развертки плотности цемента при круговом опросе датчиков; учет вращения измерительного прибора относительно оси скважины; высокоточное определение плотности цемента в затрубном пространстве по нескольким опорным интервалам.

7. Предложена схема комплексной интерпретации результатов акустической и гамма-гамма цементометрии для определения герметичности заколонного пространства. Показана необходимость учета плотности цемента при интерпретации АКЦ. Введен новый параметр – индекс цементирования, характеризующий состояние контакта на границе цемент-колонна с учетом плотности цемента.

8. Разработана модульная система обработки и интерпретации данных ГИС «Соната», реализующая полный технологический цикл обработки результатов акустических и ядерно-геофизических исследований. Обоснованы принципы построения компьютерной системы, доказана необходимость использования объектно-ориентированного подхода, применение которого открывает возможность унификации программ, обрабатывающих различные методы ГИС и создания единого обрабатывающего комплекса для скважинных геофизических методов. Подробно рассмотрены структурные особенности и функциональные возможности системы.

9. Применение разработанных и программно реализованных методик и технологий рассмотрено на большом числе примеров. Показана высокая результативность разработок при оценке технического состояния скважин с использованием ВАК и СГДТ и при интерпретации данных ВАК в открытом стволе.

В целом выполненное исследование реализует комплексную обработку данных волнового акустического и радиоактивного каротажа и намечает пути комплексной обработки других каротажных методов в рам-

ках системы комплексной компьютерной обработки данных ГИС - модульной системы обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин «Соната».

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «Обработка волнового сигнала (WSP)». Москва, РосАПО, 03.02.1997, № 970037. (Соавторы: Белов С.В., Жуланов И.Н.)

2. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «Определение качества цементирования скважин» (ГИС-АКЦ). Москва, РОСПАТЕНТ, 16.08.2000, № 2000610746. (Соавторы: Шумилов А.В., Жуланов И.Н., Белов С.В.)

3. Система «ГИС-АКЦ» - эффективное средство контроля качества цементирования обсадных колонн // Новые технологии в геофизике. Третий конгресс нефтегазопромышленников России. Научный симпозиум. Тезисы докладов. Уфа, 2001. С.86-87. (Соавторы: Белов С.В., Жуланов И.Н., Шумилов А.В.)

4. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «Сжатие полного волнового пакета акустического каротажа» (Сжатие ВС). Москва, РОСПАТЕНТ, 11.12.2002, № 2002612073. (Соавторы: Заичкин Е.В., Шумилов А.В., Белов С.В.)

5. Учет влияния скважинного прибора при акустической цементометрии // Новые технологии в геологии и геофизике. Доклады III Российско-китайского симпозиума. Уфа, 2004. С.90-96. (Соавторы: Белов С.В., Шумилов А.В., Заичкин Е.В.)

6. Сжатие данных волнового акустического каротажа на основе дискретного косинус-преобразования. Сборник докладов научно-практической конференции по проблемам современной геофизики. ОАО «Пермнетегеофизика». Пермь, 2004 С.11-13. (Соавторы: Заичкин Е.В.)

7. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «Модульная система обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин (Соната)» // Москва, РОСПАТЕНТ, 22.01.2004, № 2004610273. (Соавторы: Белов С.В., Заичкин Е.В., Наугольных О.В., Шумилов А.В.)

8. Методы оптимизации алгоритмов сжатия данных ВАК // Высокие технологии в промышленной геофизике. Третий научный симпозиум. Тезисы докладов. Уфа, 2004. С.51-52. (Соавторы: Заичкин Е.В., Шумилов А.В., Наугольных О.В.)

9. Программа «ГИС-АКЦ» - эффективное средство контроля качества цементирования обсадных колонн // Каротажник, №93. С.90-94. (Соавторы: Белов С.В., Жуланов И.Н., Шумилов А.В.)

10. Развитие технологии обработки и интерпретации данных волнового акустического каротажа // Каротажник, №51. С.29-35. (Соавторы: Семенцов А.А., Белов С.В., Жуланов И.Н., Шумилов А.В.)

11. Совершенствование методики обработки данных СГДТ // Горное эхо (Вестник Горного института УрО РАН), №2, Пермь, 2005. с. 29-32.

12. Требования к современным системам обработки и интерпретации волнового акустического каротажа // Каротажник, №65. С.40-45. (Соавторы: Семенцов А.А., Жуланов И.Н., Белов С.В., Шумилов А.В.)

13. Выделение волн при акустическом каротаже методом максимального подобия // Сборник докладов молодежной научно-практической конференции по проблемам современной геофизики. ОАО «Пермнетегеофизика». Пермь, 2006. С. (Соавторы: Шилов А.А.)

14. Совершенствование технологии обработки данных ГИС в программном комплексе «Соната» // Новые достижения в области геофизических исследований скважин. Доклады IV Российско-китайского симпозиума. Уфа, 2006. (Соавторы: Белов С.В., Заичкин Е.В., Наугольных О.В., Шилов А.Н., Шумилов А.В.)