



УДК 622.276+550.83:622.241:004

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2019

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ИНФОРМАЦИИ О ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ СКВАЖИН

А.В. Шумилов

Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15)

ANALYSIS OF EXISTING AND DEVELOPMENT OF NEW SOFTWARE SYSTEMS FOR PROCESSING AND INTERPRETATION OF WELL LOG DATA

Aleksandr V. Shumilov

Perm State National Research University (15 Bukireva st., Perm, 614068, Russian Federation)

Получена / Received: 30.04.2019. Принята / Accepted: 01.06.2019. Опубликовано / Published: 28.06.2019

Ключевые слова:

нефтегазовая геофизика, геофизические методы исследования скважин, контроль технического состояния скважин, акустический каротаж, волновой акустический каротаж, дефектоскопия скважин, акустическая цементметрия, радиометрическая цементметрия, профилометрия, программное обеспечение, алгоритмы сжатия, сравнение программных комплексов, архитектура программного обеспечения, объектная модель программы, компонентная модель программы, вейвлет-преобразование.

Key words:

oil and gas geophysics, well logging, control of technical condition of wells, acoustic logging, acoustic wave logging, well flaw detection, acoustic well logging of cement, radiometric well logging of cement, profilometry, software, compression algorithms, comparison of software systems, software architecture, program object model, program component model, wavelet transform.

В настоящее время существует множество пакетов интерпретации данных геофизических исследований скважин (ГИС), позволяющих решать геологические задачи и осуществлять контроль технического состояния скважин. Для оценки состояния скважин используют комплекс геофизических методов, включая акустические, радиоактивные, электромагнитные и др.

В статье выполнен сравнительный анализ возможностей существующих программных комплексов ГИС для контроля технического состояния скважин. Детально проанализированы как пакеты других разработчиков, так и собственная модульная система обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин («СОНАТА»). Рассмотрены возможности программ на всех этапах обработки и интерпретации: поддержка различных форматов данных, оценка качества материала в соответствии с отраслевыми стандартами, поддержка пошаговой обработки, предварительная обработка, определение параметров сигнала, расчет физико-механических свойств и других параметров, обработка данных различных акустических, радиоактивных, электромагнитных методов и профилометрии. Показаны преимущества системы «СОНАТА» по сравнению с существующими программными комплексами.

Подробно проанализировано внутреннее устройство системы «СОНАТА» и служебных пакетов программ, сопровождающих указанный программный комплекс. Представлены важнейшие особенности программной архитектуры системы «СОНАТА»: объектная и компонентная модели, отображающие внутреннее устройство интерпретационного комплекса. Из сопутствующих программ детально проанализированы пакеты сжатия скважинных геофизических данных, их эволюция и разработанные для сжатия алгоритмы.

Многолетний опыт использования модульной системы обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин «СОНАТА» в геофизических организациях России и ближнего зарубежья показал, что программный комплекс является востребованным в нефтесервисных организациях, позволяя решать полный спектр задач контроля технического состояния скважин, предоставляя эргономичный интерфейс и удобный набор средств для формирования итоговых выводов и документов.

Currently, there are many packages of interpretation of data of geophysical studies of wells, allowing to solve geological problems and to monitor the technical condition of wells. To assess the state of wells using a set of methods, including acoustic, radioactive, electromagnetic, etc.

The article presents a comparative analysis of the capabilities of existing well logging packages to control the technical condition of wells. Both packages of other companies and own development - modular system of processing and interpretation of well logging data ("Sonata") are analyzed in detail. The possibilities of programs at all stages of processing and interpretation are considered: support for various data formats, assessment of material quality in accordance with industry standards, support for step-by-step processing, pre-processing, determination of signal parameters, calculation of physical and mechanical properties and other parameters, data processing of various acoustic, radioactive, electromagnetic methods and profile measurement. The advantages of the "Sonata" system in comparison with the existing software systems are shown.

The article analyzes the internals of a system "Sonata" and service software packages accompanying the specified software system. The most important features of the software architecture of the Sonata system are presented: object and component models reflecting the internal structure of the interpretation complex. From the accompanying programs, compression packages of well geophysical data, their evolution and algorithms developed for compression are analyzed in detail.

Many years of experience in the use of a modular system of processing and interpretation of data of geophysical studies of wells "Sonata" in geophysical organizations of Russia showed that the system is in demand in oil service organizations, allowing to solve a full range of problems of monitoring the technical condition of wells, providing an ergonomic interface and a convenient set of tools for the formation of final conclusions and documents.

Шумилов Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры геофизики (тел.: +007 951 951 11 22, e-mail: shum5011@gmail.com).

Aleksandr V. Shumilov – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Geophysics (tel.: +007 951 951 11 22, e-mail: shum5011@gmail.com).

Введение

В настоящее время существует множество программ интерпретации данных геофизических исследований скважин (ГИС) [1–5], позволяющих решать геологические задачи и осуществлять контроль технического состояния скважин. Для оценки состояния скважин используют комплекс методов [1, 4, 6–12], включая акустические, радиоактивные, электромагнитные и др.

В связи с этим является актуальным сравнительный анализ возможностей существующих программных комплексов ГИС для контроля технического состояния скважин. Необходимо рассмотреть возможности программ на всех этапах обработки и интерпретации: поддержка различных форматов данных, оценка качества материала в соответствии с отраслевыми стандартами [13], поддержка пошаговой обработки, предварительная обработка [14], определение параметров сигнала [15, 16], расчет физико-механических свойств и других параметров [6], обработка данных различных акустических, радиоактивных, электромагнитных методов [17, 18] и профилометрии.

Анализ существующих пакетов обработки и интерпретации информации о геофизических исследованиях скважин

Для обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин наиболее широко используются следующие пакеты: «СОНАТА» [19, 20], «Прайм», «Гинтел», «Пангея», «СИАЛ-ГИС», «Камертон», DV-Geo, Geophysics Office, Tigress, «ГеоПоиск», Techlog («Шлюмберге»), LogPWin ООО «Нефтегаз-геофизика». Из указанных программных средств наибольшее распространение на территории Российской Федерации для задач оценки технического состояния скважин и обработки волнового акустического каротажа (ВАК) получили пакеты «Прайм», «Камертон», «ГеоПоиск», Techlog, LogPWin, «СОНАТА» [21–25]. LogPWin имеет различные модули обработки специализированных геофизических методов, но привязан только к аппаратуре, производимой ООО «Нефтегазгеофизика». Платформа Techlog, благодаря многообразию различных модулей, может использоваться для обработки практически любых данных ГИС, однако в силу высокой стоимости применяется в РФ исключительно в небольшом количестве крупными нефтяными и сервисными компаниями, а также имеет ограничение на поддержку ряда отечественных аппаратурных комплексов.

В приведенной ниже табл. 1 представлены сравнительные характеристики каждого комплекса по обработке и интерпретации данных ГИС для задач оценки технического состояния и обработки данных ВАК.

Из табл. 1 видно, что из представленных программных комплексов наиболее полно покрывает всю необходимую функциональность в области оценки технического состояния и обработки ВАК система «СОНАТА». Ближайшим конкурентом по функциональности является система Techlog («Шлюмберге»), но она не является российской, а также, как было указано выше, слабо поддерживает отечественную аппаратуру и имеет большую стоимость. Достаточно обширный функционал имеют пакеты «ГеоПоиск» и «Прайм», но они в основном используются для обработки и интерпретации стандартных комплексов ГИС в открытом стволе или при контроле за разработкой. Программный комплекс «Камертон» имеет развитые процедуры обработки и интерпретации данных ВАК, но в последнее время его развитие прекратилось.

Разработка модульной системы обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин «СОНАТА»

Программный комплекс «СОНАТА» явился развитием компьютерных программ обработки волнового сигнала «ГИС-Акустика» и «ГИС-АКЦ» [26], которые были предназначены для оценки качества цементирования скважин по данным акустического каротажа (АК).

Основной целью программного комплекса является эффективная обработка и интерпретация данных, зарегистрированных различной геофизической аппаратурой, с использованием разнообразных геофизических методов и методик, не ограничиваясь только акустическим каротажем [27]. При разработке программы «СОНАТА» основное внимание было уделено задачам комплексной оценки технического состояния скважин и обработке данных различными методами [22–25, 28, 29].

Создание такого комплекса программных средств предполагает работу по широкому кругу вопросов, связанных со стандартизацией форматов хранения данных, разработкой информационной модели и ее функционального наполнения [19], включая выбор методов обработки и интерпретации данных, планирование интерфейсов с программной реализацией, тестированием и внедрением [2].

Таблица 1

Сравнительные характеристики программных комплексов

Характеристики				«Прайм»	«Геопоиск»	LogPWin	«Камертон»	Techlog	«СОНАТА»
Поддержка форматов данных	0–5	6–10	11–20						
Оценка качества по отраслевым стандартам									
Предварительная обработка волнового сигнала									
Определение кинематических параметров									
Определение динамических параметров									
Определение спектральных параметров									
Определение азимутальной анизотропии									
Учет геометрии ствола скважины									
Расчет физико-механических свойств									
Оценка коэффициента приточности									
Мастера пошаговой обработки									
Обработка акустической цементометрии (АКЦ)									
АКЦ. Учет скважинных условий*									
Секторная акустическая цементометрия									
Обработка скважинного гамма-дефектоскопа-толщиномера (СГДТ)									
СГДТ. Учет скважинных условий**									
Обработка магнитно-импульсной дефектоскопией									
Обработка многорычажной профилометрии									
Акустическая профилометрия									
Построение отчета									

Примечание: ■ – нет; ■ – да; ■ – частично; * – тип разреза, свойства цемента, конструкция скважины; ** – многоколонная конструкция, уровень жидкости, эксцентриситет и др.

Этот спектр работ выполнялся ООО «Предприятие «ФХС-ПНИГ», под руководством автора данной статьи, вклад которого в разработку программного комплекса «СОНАТА» заключался в построении информационной модели предметной области и определении концептуальных требований потенциальных пользователей.

Проектирование концептуальной модели было основано на анализе решаемых на различных геофизических предприятиях задач по обработке данных. Построение информационной модели предметной области предполагало выделение сущностей, их атрибутов и идентификацию связей между сущностями. Моделирование и построение информационной модели программного обеспечения проводилось с использованием инструмента IBM Rational Software Architect и языка UML (Unified Modeling Language).

Преимущество использования UML для описания информационной модели заключается в том, что UML – унифицированный язык графического описания для объектного моделирования в области разработки программного обеспечения, для моделирования бизнес-процессов, системного

проектирования и отображения организационных структур, который одинаково понятен как специалистам предметной области, так и разработчикам программного обеспечения.

Поэтому в первую очередь был проведен всесторонний анализ предметной области, описаны основные концептуальные требования к разрабатываемому комплексу, построены объектная и компонентная модель системы.

На рис. 1 показана разработанная объектная модель системы, которая позволила описать в рамках единого информационного поля объекты, имеющие разнородную внутреннюю структуру и состав элементов, установить сложные многоуровневые отношения между информационными объектами, выделить как общие, так и индивидуальные свойства объектов.

В отличие от объектной модели, которая рассматривает взаимоотношение между объектами, компонентная модель представляет собой абстрактное представление конструируемой системы, в которой элементами являются реальные компоненты, обеспечивающие реализацию функциональных требований к системе.

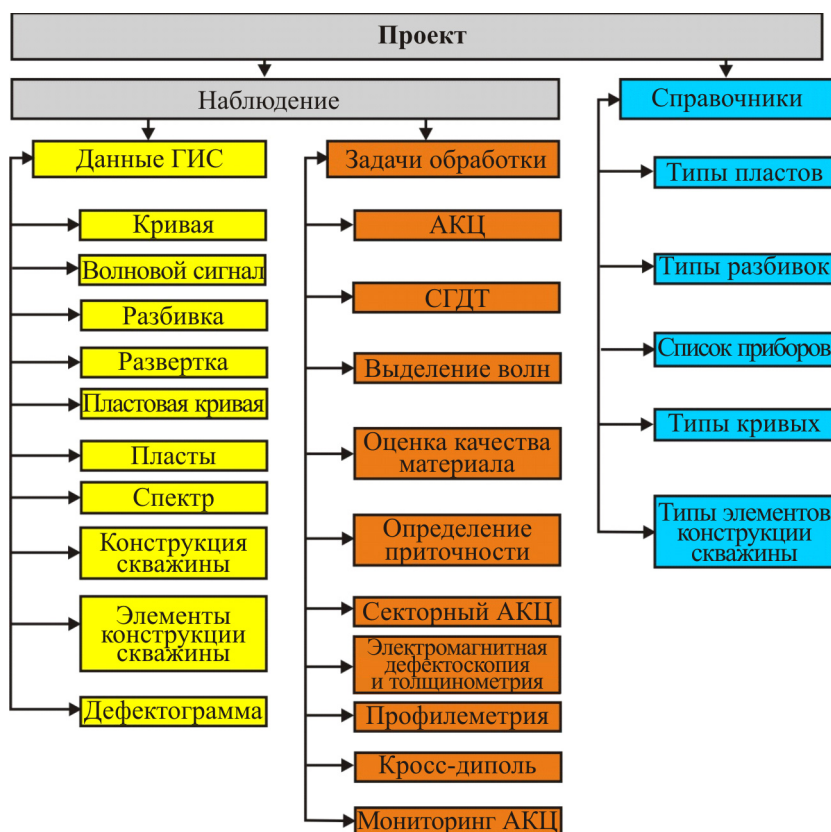


Рис. 1. Объектная модель системы «СОНАТА»

Для одной и той же системы существует множество компонентных моделей в зависимости от концепций проектирования с использованием компонентного подхода. Рассмотрим обобщенный уровень представления модели, используя функции компонентов и совокупность контрактов (интерфейсов) между ними.

Пусть $M[L]$ – множество интерфейсов, относящихся к определению функций компонентов. Каждому I можно сопоставить интерфейс In , который описывает интерфейс как клиент-серверное взаимодействие с соответствующими методами и структурами данных. В соответствии с этим каждому интерфейсу можно сопоставить пару In и Out , которые будем называть определяющим представлением In и реализующим представлением Out (что соответствует входному и выходному интерфейсам). In определяет условия и цель интерфейса со стороны клиента, а Out задает аспект реализации интерфейса со стороны сервера.

После того как все In и Out определены, их можно группировать в различных сочетаниях для элементов C . Рассмотрим произвольную совокупность In_j, Out_j . В нее входят одновременно определяющее и реализующее представления для одного и того же интерфейса.

Каждая полученная совокупность C и I входит в модель компонента или является шаблоном компонента. Фактически каждый шаблон содержит некоторое множество определяющих и реализующих представлений интерфейсов. По этим представлениям в дальнейшем осуществляется сопоставление шаблонов и интерфейсов реальных программных компонентов.

Модель компонентной системы имеет вид

$$M_{\text{КС}} = (CL_m(Lm_1, \dots, Lm_n), P_1, \dots, P_m), CL_n(In_1, \dots, In_k), D_i,$$

где CL_m – компоненты из множества реализаций в разных языках L ; $P(P_1, \dots, P_m)$ – множество предикатов, соответствующих процессам сборки или конфигурации программного средства на основе реализаций компонентов CL_m и интерфейсов In ; CL_n – множество интерфейсов компонентов; D_i – множество данных.

Модель компонентной системы $M_{\text{КС}}$ состоит из множества функций (объектов), реализаций, предикатов, интерфейсов и данных.

Условие целостности системы заключается в существовании для каждого компонента C_x из C , имеющего исходный интерфейс In , компонента C_z с соответствующим входным

интерфейсом $СIn_2$, и контракта $Cont_2$, входящего в состав множества $С$.

Процесс построения $M_{кc}$ включает в себя создание компонентной среды, выявление начальных компонентов и определенного множества интерфейсов в соответствии с функциональными требованиями к компонентной системе. Суть

моделирования системы – представить модель $M_{кc}$ так, чтобы для любого элемента системы существовал компонент из $С$ или он мог быть получен из $С'$ посредством конечного числа допустимых операций компонентной алгебры.

На рис. 2 показана разработанная компонентная модель программного комплекса «СОНАТА».

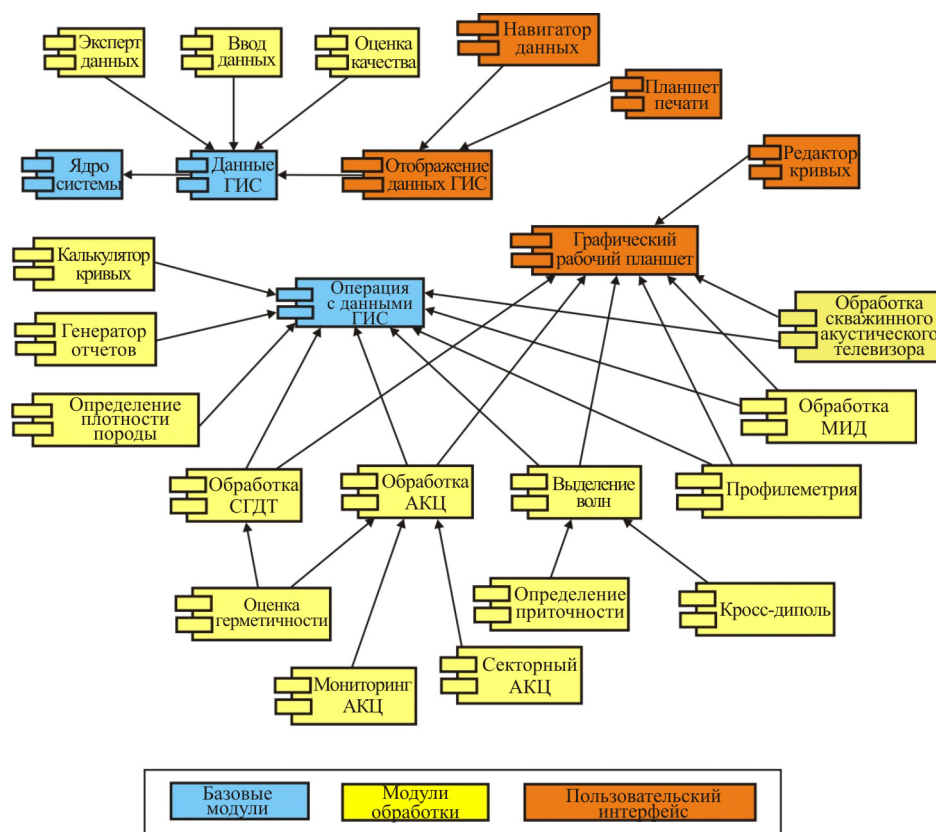


Рис. 2. Компонентная модель системы СОНАТА

Разработанный программный комплекс «СОНАТА» включает следующие основные модули [30]: обработка и интерпретация данных акустической цементометрии (АКЦ); обработка и интерпретации данных скважинного гамма-дефектоскопа-толщиномера (СГДТ); совместная интерпретация данных АКЦ и СГДТ (определение герметичности заколонного пространства); обработка и интерпретация ВАК в открытом стволе, включая модули выделения волн, получения кинематических, динамических и спектральных характеристик волн, расчета физико-механических свойств пород, определения приточных интервалов по полной энергии волнового сигнала [9]; определение плотности породы по комплексу нейтронного и гамма-каротажа; обработка данных скважинного акустического телевизора [9, 31]; обработка данных магнитоимпульсной дефектоскопии [29, 32];

обработка данных секторной акустики [23, 33]; обработка кросс-дипольного АК [24, 34].

Основные возможности программы, кроме указанных выше: ввод данных из большинства известных геофизических форматов (LIS, LAS и др.), экспорт данных в различные форматы; проверка качества полевых данных, включая проверку качества волновых сигналов; предварительная обработка, коррекция и подготовка данных; редактирование глубин и привязка данных по глубине; интерпретация данных АКЦ и гамма-гамма-цементометрии, их комплексная интерпретация; обработка данных акустической шумометрии; профилеметрия ствола скважины [35, 36]; построение по результатам комплексной интерпретации заключения, включающего подробную поинтервальную характеристику скважины, технического состояния, местоположение элементов конструкции,

различную статистику, в том числе в интервалах детальных исследований.

Технологичность использования программы повышается за счет наличия мастеров обработки, помогающих в пошаговом режиме получать необходимые результаты. Возможность описания шаблонов ввода позволяет автоматизировать ввод дополнительной информации по скважине и выдачу заключения.

Таким образом, разработанный программный комплекс «СОНАТА» является эффективным инструментом по оценке технического состояния скважин, включающим технологию комплексной обработки и интерпретации широкого спектра геофизических методов. Использование единого программного комплекса для оценки технического состояния скважины, включающего универсальную обработку данных, полученных большинством геофизических приборов как российского, так и зарубежного производства, позволило значительно сократить время получения комплексного заключения, при этом использование информации, получаемой на различных этапах строительства скважины, начиная от исследований в открытом стволе, кондукторе и до исследований технического состояния эксплуатационной колонны и колонны насосно-компрессорных труб, позволило значительно повысить достоверность и информативность проводимого мониторинга состояния скважины, особенно в интервалах многоколонной конструкции и сложных геолого-технических условиях.

Создание служебных пакетов программ, предназначенных для сжатия и хранения материалов ГИС

Одна из особенностей волнового акустического каротажа – значительно больший объем данных по сравнению с аналоговыми кривыми. Соответственно, возрастают требования к устройствам для хранения данных и передачи информации, а также к программам обработки и интерпретации. Сжатие исходных данных без потерь с помощью стандартных программ-архиваторов может обеспечить степень сжатия в среднем в 1,5–3,0 раза, что часто является недостаточным условием для передачи данных. Сжатие данных ВАК может быть применено: для передачи полевого материала ВАК по низкоскоростным цифровым каналам связи от удаленных полевых партий в интерпретационные службы, расположенные на базе; архивирования

исходного и обработанного материала; обмена данными между подразделениями организаций.

Программа «Сжатие ВС» [37] стала одним из первых шагов по унификации форматов хранения и представления данных волнового акустического каротажа. Требования к алгоритму сжатия данных ВАК: обеспечение оперативной доставки сжатых данных для интерпретации; погрешность параметров, извлекаемых из волнового сигнала до и после сжатия, находится в пределах регламентированных значений; выполнение сжатия с потерей данных после того, как весь материал записан; сжатие для архивирования с минимальными допустимыми искажениями для всего сигнала. Указанные требования были реализованы в программе «Сжатие ВС», обеспечивающей: поддержку большинства форматов записи волнового сигнала; совместимость с программным обеспечением «СОНАТА» по форматам данных; задание допустимой величины искажений сигнала на различных участках, что позволяет добиться оптимального соотношения «минимальные искажения полезного сигнала/максимальная степень сжатия»; возможность визуального сравнения сигнала до и после сжатия; предварительную оценку степени сжатия сигнала; удаление неинформативных частей сигнала до первых вступлений и в конце сигнала; упаковку совместно с волновым сигналом каротажных кривых и обработанных данных, получаемых программным обеспечением «СОНАТА».

Дальнейшее развитие программы было ограничено ее нацеленностью на сжатие только сигналов волнового акустического каротажа. Также были желательны повышение скорости упаковки и распаковки данных и уменьшение погрешностей при плохом качестве волнового сигнала и искажений низких амплитуд при определенных настройках параметров сжатия. Все это обусловило необходимость значительных изменений и способствовало созданию новой программы «Сжатие ГИС» [28, 38]. Для оперативной передачи ГИС-данных большого объема необходимо применять алгоритмы, позволяющие с минимальными погрешностями в информативных частях исходных данных обеспечивать степень сжатия на порядок выше стандартных алгоритмов сжатия без потерь. Исходные данные могут быть разбиты на различные информативные блоки, и для каждого блока установлена своя степень погрешности/сжатия. Это позволяет сильнее сжимать менее информативные участки и,

наоборот, оставлять более информативные участки с меньшими искажениями. Степень сжатия в пределах допустимой погрешности рассчитываемых параметров для различных методов в зависимости от решаемых геолого-геофизических задач может значительно отличаться и составлять от нескольких до десятков и сотен раз.

В основе методики сжатия в программе «Сжатие ГИС» использован принцип вейвлет-преобразования данных [39, 40].

Суть методики заключается в следующем.

Исходными данными являются матрица вещественных чисел $F_{mn}F_{mn}$ (геофизические данные) и коэффициент сжатия $K \in (0; 1)$.

Алгоритм сжатия следующий:

- В зависимости от типа геофизических данных исходные данные F_{mn} могут подвергаться предварительному преобразованию (без потери точности) $Y(F_{mn})$. Обязательным условием выбора преобразования Y является наличие обратного преобразования Y^{-1} , такого, что $F_{mn} = Y^{-1}(Y(F_{mn})F_{mn})$.

- К двумерным данным $F_{mn}F_{mn}$ применяется вейвлет-преобразование с использованием двумерного вейвлета. Подбор вейвлета осуществляется автоматически в зависимости от исходных данных. Критерием подбора является минимизация функционала $\Psi\left(\frac{\Delta}{K}\right)$, где Δ – относительная погрешность рассчитываемых параметров в результате сжатия.

Пусть имеется матрица исходных данных размером $m \times n$. Применяется одномерное вейвлет-преобразование к каждой строке матрицы. Для каждой строки получаем матрицу

$$\begin{pmatrix} d_1^1 & d_2^1 & d_3^1 & d_4^1 & \dots & d_{N/2}^1 \\ d_1^2 & d_2^2 & d_3^2 & \dots & d_{N/4}^2 & \\ & & \dots & & & \\ d_1^M & d_2^M & \dots & d_K^M & & \\ s_1^M & s_2^M & \dots & s_K^M & & \end{pmatrix}.$$

Данная матрица преобразуется в массив таким образом, что коэффициенты усреднения оказываются первыми

$$s_1^M, s_2^M, \dots, s_K^M, d_1^M, d_2^M, \dots, d_K^M, \dots, \\ d_1^2, d_2^2, d_3^2, \dots, d_{N/4}^2, d_1^1, d_2^1, d_3^1, d_4^1, \dots, d_{N/2}^1.$$

Из полученных массивов составляется новая матрица размером $m \times n$. Аналогичные действия применяются к каждому столбцу новой матрицы.

- К полученным коэффициентам вейвлет-преобразования применяется алгоритм исключения, т.е. обнуляются все коэффициенты, кроме N наибольших, где $N = m \times n(1 - K)$.

- Коэффициенты вейвлет-преобразования представляются в виде одномерного вещественного массива.

- Полученный массив вещественных чисел подвергается выбранному типу квантования. Результатом является массив байтов.

- Полученный массив байтов сжимается с использованием какого-либо стандартного алгоритма сжатия без потерь.

Восстановление сигнала происходит в обратном порядке с применением обратного одномерного вейвлет-преобразования.

Разработанная методика позволяет адаптировать сжатие данных практически для любых больших многомерных данных промыслово-геофизических методов при условии, если известен способ извлечения информативных параметров из исходных данных.

Основные характеристики программного комплекса «Сжатие ГИС»: загрузка данных ГИС из различных полевых форматов; просмотр загруженных данных в графическом виде; оценка качества полевого материала с выдачей заключения; предварительная обработка и подготовка исходных данных; формирование и заполнение бланка оператора; экспорт данных в различные форматы обмена данных; быстрое сжатие и распаковка полевого материала; максимальная степень сжатия в пределах допустимой погрешности геофизических методов; сжатие и распаковка данных ГИС большого объема (сотни мегабайтов); сжатие данных акустического каротажа, магнитно-импульсной дефектоскопии, скважинной профилометрии и др. Всего установлено 211 рабочих мест программы «Сжатие ГИС» в различных геофизических организациях.

Был выполнен анализ сжатия исходных данных для различных методов ГИС (АКЦ, широкополосный ВАК, акустическая профилометрия, магнитно-импульсная дефектоскопия и др.), проведена оценка погрешности информативных параметров до и после сжатия для каждого метода. Показано, что при допустимой относительной погрешности степень сжатия для различных геофизических методов может варьироваться от 10 до 100 раз. Средняя степень сжатия для комплекса геофизических методов по оценке технического состояния колонн составляет 20 раз.

На рис. 3 показано, что максимальная степень сжатия достигается для приборов секторной акустической цементометрии (МАК-СК) и магнитно-импульсной дефектоскопии (МИД-К).

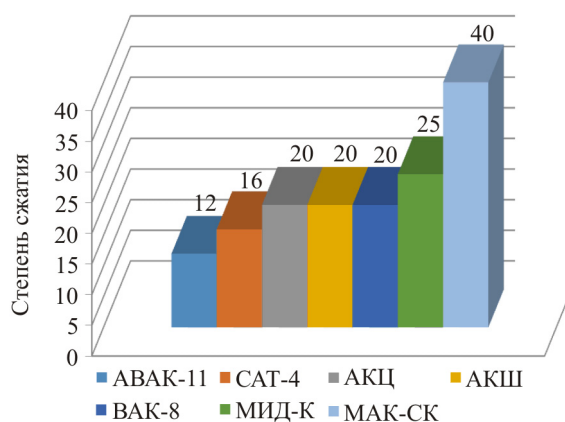


Рис. 3. Примерная степень сжатия для различных методов и приборов в пределах допустимой погрешности рассчитываемых параметров

Таким образом, разработанная методика и программа «Сжатие ГИС» позволяют решить проблему оперативной передачи исходных геофизических данных большого объема со скважины в интерпретационные центры.

В настоящее время свыше 50 различных предприятий РФ, Казахстана, Туркмении, Вьетнама, Сербии используют разработанные программные комплексы «СОНАТА» и «Сжатие ГИС» в производственном режиме.

Выводы

Анализ существующих программных комплексов показал, что большинство из них имеют те или иные недостатки, что связано либо с длительной историей формирования пакета программ, когда новые инструменты не подходят к старой архитектуре, либо с узкой направленностью, когда не все скважинные методы используются.

Разработанный программный комплекс «СОНАТА» является эффективным инструментом по оценке технического состояния скважин и обработке данных ВАК, включающим технологию комплексной обработки и интерпретации широкого спектра геофизических методов.

Многолетний опыт использования модульной системы обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин «СОНАТА» в геофизических организациях России показал, что система является востребованной в нефтесервисных организациях, позволяя решать полный

спектр задач контроля технического состояния скважин, предоставляя эргономичный интерфейс и удобный набор средств для формирования итоговых выводов и документов.

Разработанная методика и программное обеспечение сжатия многомерных данных ГИС позволяют эффективно решать проблему подготовки и доставки больших объемов геофизической информации из удаленных полевых партий в интерпретационные центры по медленным каналам связи, что, в свою очередь, способствует решению актуальную проблему оперативной выдачи заключения по комплексу ГИС заказчику геофизических работ.

Библиографический список

1. Аксельрод С.М. Исследование профиля притока в горизонтальных скважинах // Каротажник. – 2005. – Вып. 5–6. – С. 301–335.
2. Акустические исследования в нефтегазовых скважинах: состояние и направления развития (обзор отечественных и зарубежных источников информации) / В.Ф. Козьяр, Д.В. Белоконов, Н.В. Козьяр, Н.А. Смирнов // Каротажник. – 1999. – Вып. 63. – С. 10–117.
3. Белов С.В. Моделирование и стандартизация параметров волнового поля в акустическом каротаже для оценки качества цементирования скважин: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Пермь, 2004.
4. Белов С.В. Оценка качества данных ВАК // Новые технологии для нефтегазовой промышленности: тезисы докладов научного симпозиума. – Уфа: Геофизика, 2003. – С. 86–88.
5. Белов С.В., Шумилов А.В. Повышение достоверности определения качества цементирования обсаженных скважин по данным акустической цементометрии // Высокие технологии в промышленной геофизике: тезисы докладов научного симпозиума. – Уфа: Геофизика, 2004. – С. 31–33.
6. Сжатие ГИС: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013611532 от 23.01.2013 / Белов С.В., Гладкий С.Л., Заичкин Е.В., Наугольных О.В., Ташкинов И.В., Шумилов А.В. – Москва: Роспатент, 2013.
7. Модуль обработки данных секторной акустической цементометрии: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008615595 от 24.11.2008 / Белов С.В., Заичкин Е.В., Наугольных О.В., Ташкинов И.В., Гуляев П.Н., Шумилов А.В. – Москва: Роспатент, 2008.

8. Модуль обработки данных кросс-дипольного акустического каротажа: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014610980 от 22.01.2014 / Белов С.В., Заичкин Е.В., Ташкинов И.В., Шумилов А.В. – Москва: Роспатент, 2014.
9. Модуль обработки данных акустического профилемера: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015616006 от 28.05.2015 / Белов С.В., Заичкин Е.В., Наугольных О.В., Ташкинов И.В., Шумилов А.В. – Москва: Роспатент, 2015.
10. Модульная система обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин (СОНАТА): Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004610273 от 22.01.2004 / Белов С.В., Заичкин Е.В., Наугольных О.В., Ташкинов И.В., Шумилов А.В. – Москва: Роспатент, 2004.
11. Соната-ЭМДСТ: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008610496 от 28.01.2008 / Белов С.В., Заичкин Е.В., Наугольных О.В., Ташкинов И.В., Шилов А.А., Шумилов А.В. – Москва: Роспатент, 2008.
12. Программный комплекс «Соната-2019» (Модульная система обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин): Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019610488 от 11.01.2019 / Белов С.В., Ташкинов И.В., Шумилов А.В. – Москва: Роспатент, 2019.
13. Бурдин Д.Л., Чухлов А.С., Шумилов А.В. Геофизические исследования скважин: регистрирующие системы и оборудование: учебное пособие. – Пермь: Издательство Пермского государственного университета, 2010. – 154 с.
14. Блаттер К. Вейвлет-анализ. Основы теории. – Москва: Техносфера, 2004. – 280 с.
15. Сжатие полного волнового пакета акустического каротажа (Сжатие ВС): Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002612073 от 11.12.2002 / Заичкин Е.В., Шумилов А.В., Белов С.В., Ташкинов И.В. – Москва: Роспатент, 2002.
16. Каротаж акустической эмиссии в цикле повышения нефтеотдачи и контроля источников обводнения месторождения / Дрягин В.В., Иванов Д.Б., Черных И.А., Шумилов А.В. // Каротажник. – 2014. – Вып. 10 (244). – С. 57–64.
17. Косков В.Н. Геофизические исследования скважин: учебное пособие. – Пермь: Издательство Пермского государственного технического университета, 2004. – 122 с.
18. Обработка данных акустической профилометрии в программном комплексе «Соната» / Д.Н. Крючатов, О.В. Наугольных, И.В. Ташкинов, А.В. Шумилов // Каротажник. – 2015. – Вып. 10 (256). – С. 105–115.
19. Магнитоимпульсная дефектоскопия-толщинометрия скважин – эффективное средство информационного обеспечения контроля технического состояния обсадных колонн / В.Н. Даниленко, В.В. Даниленко, Л.Е. Кнеллер, А.П. Потапов // Каротажник. – 2005. – Вып. 7 (134). – С. 172–185.
20. Наугольных О.В., Белов С.В., Шумилов А.В. Подавление помех в массиве данных ультразвуковой профилометрии // Каротажник. – 2016. – Вып. 10 (268). – С. 74–84.
21. Опыт использования методики выделения приточных зон на месторождениях в Пермской области / С.В. Белов, И.Н. Жуланов, А.А. Семенцов, А.В. Шумилов // Каротажник. – 2000. – Вып. 67. – С. 54–57.
22. Опыт электромагнитной дефектоскопии нефтяных скважин с многоколонной конструкцией в Пермской области / А.В. Шумилов, С.А. Калташев, В.А. Мельник, Г.М. Толкачев, Л.Л. Петухова // Каротажник. – 2000. – Вып. 67. – С. 28–35.
23. Особенности оценки качества цементирования нефтегазовых скважин средствами секторной акустики / О.В. Наугольных, С.В. Белов, А.В. Шумилов, П.Н. Гуляев // Новые достижения в технике и технологии ГИС: тезисы докладов научно-практической конференции. – Уфа: Геофизика, 2009. – С. 244–246.
24. Оценка технического состояния нефтегазовых скважин по комплексу геофизических методов в программном комплексе СОНАТА / С.В. Белов, Е.В. Заичкин, О.В. Наугольных, И.В. Ташкинов, А.В. Шумилов, А.А. Шилов // Материалы V Российско-китайского симпозиума по промысловой геофизике. – Уфа: Геофизика, 2008. – С. 134–142.
25. Потапов А.П., Даниленко В.Н. Магнитоимпульсная дефектоскопия – толщинометрия нефтегазовых скважин // Вести газовой науки. – 2014. – № 4. – С. 188–195.
26. Технологии геофизических исследований в бурящихся и эксплуатационных горизонтальных скважинах / А.Д. Савич, И.А. Черных, А.В. Шумилов, В.И. Костицын // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной основателю горизонтального бурения А.М. Григоряну. – Казань: Слово, 2017. – С. 246–249.

27. Применение магнитоимпульсной дефектоскопии для контроля технического состояния эксплуатационной колонны / М. Се, А.П. Потапов, О.Л. Сальникова, А.В. Шумилов // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: сборник трудов по материалам международной научно-практической конференции. – Пермь: Издательский центр Пермского государственного национального исследовательского университета, 2018. – С. 324–328.

28. Требования к современным системам обработки и интерпретации материалов волнового акустического каротажа / А.А. Семенов, И.Н. Жуланов, С.В. Белов, И.В. Ташкинов, А.В. Шумилов // Каротажник. – 1999. – Вып. 65. – С. 40–45.

29. Ташкинов И.В., Шумилов А.В. Современные подходы к оценке качества цементирования акустическими методами // Нефть. Газ. Инновации. – 2016. – № 10. – С. 26–30.

30. Ташкинов И.В., Шумилов А.В. Стандартизация интерпретации акустического контроля цементирования с учетом свойств цемента. – Москва, Геофизика, 2016. – Вып. 5. – С. 62–67.

31. Шумилов А.В. Новые технологии скважинных электромагнитных методов в Пермском крае // Материалы 42-й сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского. – Пермь: Издательство Пермского государственного университета, 2015. – С. 224–226.

32. Шумилов А.В., Белов С.В., Ташкинов И.В. Обработка данных кросс-дипольного акустического каротажа в программном комплексе СОНАТА // Каротажник. – 2014. – Вып. 10 (244). – С.114–126.

33. Шумилов А.В., Заичкин Е.В. Сжатие многомерных данных геофизических методов исследования скважин на основе вейвлет-преобразования // Геофизика. – 2014. – Вып. 4. – С. 46–53.

34. Определение качества цементирования скважин: Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ (ГИС-АКЦ) № 2000610746 от 16.08.2000 / Шумилов А.В., Жуланов И.Н., Белов С.В., Ташкинов И.В. – Москва: Роспатент, 2000.

35. Assous S., Elkington P. Shearlets and sparse representation for microresistivity borehole image inpainting // Geophysics. – 2018. – 83 (1). – P. 1502–1511. DOI: 10.1190/geo2017-0279.1

36. Alford R.M. Shear data in the presence of azimuthal anisotropy // 56th Annual International Meeting. SEG, 1986. DOI: 10.1190/1.1893036

37. Continuous shear wave logging / J. Zemanek, F.A. Angona, D.M. Williams, R.L. Caldwell // Paper U. 25th Annual Logging Symposium Transactions: Society of Professional Well Log Analysts, 1984.

38. Overview of high-angle and horizontal well formation evaluation: issues, learnings, and future directions / Q.R. Passey, H. Yin, C.M. Rendeiro, D.E. Fitz // SPWLA 46th Annual Logging Symposium, June 26–29, 2005.

39. Salomon D. Data compression: the complete reference. – Springer: Verlag Inc., New York, 2004. – 1092 p. DOI: 10.1007/978-1-84628-603-2

40. Tang X., Chunduru R.K. Simultaneous inversion of formation shear-wave anisotropy parameters from cross-dipole acoustic-array waveform data // Geophysics. – 1999. – 64 (5). – P. 1502–1511. DOI: 10.1190/1.1444654

References

1. Akselrod S.M. Issledovanie profilia pritoka v gorizontalnykh skvazhinakh [Investigation of the flow profile in horizontal wells]. *Karotazhnik*, 2005, iss. 5-6, pp. 301-335.

2. Koziar V.F., Belokon D.V., Koziar N.V., Smirnov N.A. Akusticheskie issledovaniia v neftegazovykh skvazhinakh: sostoianie i napravleniia razvitiia. (obzor otechestvennykh i zarubezhnykh istochnikov informatsii) [Acoustic studies in oil and gas wells: state and directions of development. (review of domestic and foreign sources of information)]. *Karotazhnik*, 1999, iss. 63, pp. 10–117.

3. Belov S.V. Modelirovanie i standartizatsiia parametrov volnogo polia v akusticheskom karotazhe dlia otsenki kachestva tsementirovaniia skvazhin [Modeling and standardization of wavefield parameters in acoustic logging to assess the quality of well cementing]. Ph. D. thesis. Perm, 2004.

4. Belov S.V. Otsenka kachestva dannykh VAK [Evaluation of the quality of VAK data]. *Novye tekhnologii dlia neftegazovoi promyshlennosti: tezis dokladov nauchnogo simpoziuma*. Ufa, Geofizika, 2003, pp.86-88.

5. Belov S.V., Shumilov A.V. Povyslenie dostovernosti opredeleniia kachestva tsementirovaniia obsazhennykh skvazhin po dannym akusticheskoi tsementometrii [Improving the reliability of determining the quality of cementing cased wells according to acoustic cement bond log]. *Vysokie tekhnologii v promyslovoi geofizike. Tezis dokladov nauchnogo simpoziuma*. Ufa, Geofizika, 2004, pp.31-33.

6. Belov S.V., Gladkii S.L., Zaichkin E.V., Naugolnykh O.V., Tashkinov I.V., Shumilov A.V. Szhatie GIS [GIS compression]. Svidetelstvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM no. 2013611532 ot 23.01.2013. Moscow, Rospatent, 2013.
7. Belov S.V., Zaichkin E.V., Naugolnykh O.V., Tashkinov I.V., Guliaev P.N., Shumilov A.V. Modul obrabotki dannykh sektornoj akusticheskoi tsementometrii [Sector-wide acoustic cement bond log data processing module]. Svidetelstvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM no.2008615595 ot 24.11.2008. Moscow, Rospatent, 2008.
8. Belov S.V., Zaichkin E.V., Tashkinov I.V., Shumilov A.V. Modul obrabotki dannykh kross-dipolnogo akusticheskogo karotazha [Cross-dipole acoustic logging data processing module]. Svidetelstvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM no. 2014610980 ot 22.01.2014. Moscow, Rospatent, 2014.
9. Belov S.V., Zaichkin E.V., Naugolnykh O.V., Tashkinov I.V., Shumilov A.V. Modul obrabotki dannykh akusticheskogo profilemera [Acoustic profiler data processing module]. Svidetelstvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM no.2015616006 ot 28.05.2015. Moscow, Rospatent, 2015.
10. Belov S.V., Zaichkin E.V., Naugolnykh O.V., Tashkinov I.V., shumilov a.v. modulnaia sistema obrabotki i interpretatsii dannykh geofizicheskikh issledovani skvazhin (sonata) [Modular system for processing and interpretation of well logging data (SONATA)]. Svidetelstvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM no.2004610273 ot 22.01.2004. Moscow, Rospatent, 2004.
11. Belov S.V., Zaichkin E.V., Naugolnykh O.V., Tashkinov I.V., Shilov A.A., Shumilov A.V. Sonata-EMDST [Sonata-EMDST]. Svidetelstvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM no.2008610496 ot 28.01.2008. Moscow, Rospatent, 2008.
12. Belov S.V., Tashkinov I.V., Shumilov A.V. Programmnyi kompleks "Sonata-2019" (Modulnaia sistema obrabotki i interpretatsii dannykh geofizicheskikh issledovani skvazhin) [Software complex "Sonata-2019" (Modular system for processing and interpretation of well logging data)]. Svidetelstvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM no.2019610488 ot 11.01.2019. Moscow, Rospatent, 2019.
13. Burdin D.L., Chukhlov A.S., Shumilov A.V. Geofizicheskie issledovaniia skvazhin: registriruiushchie sistemy i oborudovanie [Well logging: recording systems and equipment]. Perm, Izdatel'stvo Permskogo gosudarstvennogo universiteta, 2010, 154 p.
14. Blatter K. Veivlet-analiz. Osnovy teorii [Wavelet analysis. Fundamentals of theory]. Moscow, Tekhnosfera, 2004, 280 p.
15. Zaichkin E.V., Shumilov A.V., Belov S.V., Tashkinov I.V. Szhatie polnogo volnovogo paketa akusticheskogo karotazha (Szhatie VS) [Compression of the full wave packet of the acoustic logging (VS compression)]. Svidetelstvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM no.2002612073 ot 11.12.2002. Moscow, Rospatent, 2002.
16. Driagin V.V., Ivanov D.B., Chernykh I.A., Shumilov A.V. Karotazh akusticheskoi emissii v tsikle povysheniia nefteotdachi i kontroliia istochnikov obvodneniia mestorozhdeniia [Acoustic emission logging in enhancing oil recovery and field watering sources control]. *Karotazhnik*, 2014, iss. 10 (244), pp.57-64.
17. Koskov V.N. Geofizicheskie issledovaniia skvazhin [Well logging]. Perm, Izdatel'stvo permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2004, 122 p.
18. Kriuchatov D.N., Naugolnykh O.V., Tashkinov I.V., Shumilov A.V. Obrabotka dannykh akusticheskoi profilemetrii v programmnom komplekse "Sonata" [Sonic profile logging data processing by a "Sonata" software package]. *Karotazhnik*, 2015, iss.10 (256), pp.105-115.
19. Danilenko V.N., Danilenko V.V., Kneller L.E., Potapov A.P. Magnitoimpul'snaia defektoskopiia-tolshchinometriia skvazhin - effektivnoe sredstvo informatsionnogo obespecheniia kontroliia tekhnicheskogo sostoianiia sostoianiia obsadnykh kolonn [Magnetic impulse defectoscopy-thickness gauging of wells is an effective means of information support for monitoring the technical condition of casing strings]. *Karotazhnik*, 2005, iss.7 (134), pp.172-185.
20. Naugolnykh O.V., Belov S.V., Shumilov A.V. podavlenie pomekh v massive dannykh ultrazvukovoi profilemetrii [Noise suppression in the ultrasonic profile-measurements dataset]. *Karotazhnik*, 2016, iss.10 (268), pp.74-84.
21. Belov S.V., Zhulanov I.N., Sementsov A.A., Shumilov A.V. Opyt ispolzovaniia metodiki vydeleniia pritochnykh zon na mestorozhdeniia v Permskoi oblasti [Experience in the use of methods for allocating inflow zones in the fields in the Perm region]. *Karotazhnik*, 2000, iss.67, pp.54-57.
22. Shumilov A.V., Kaltashev S.A., Melnik V.A., Tolkachev G.M., Petukhova L.L. Opyt

elektromagnitnoi defektoskopii neflianykh skvazhin s mnogokolonnoi konstruksiei v Permskoi oblasti [Experience of electromagnetic flaw detection of oil wells with a multi-column design in the Perm Region]. *Karotazhnik*, 2000, iss.67, pp.28-35.

23. Naugolnykh O.V., Belov S.V., Shumilov A.V., Guliaev P.N. Osobennosti otsenki kachestva tsementirovaniia neftegazovykh skvazhin sredstvami sektornoi akustiki [Features of assessing the quality of cementing oil and gas wells by means of sector acoustics]. *Novye dostizheniia v tekhnike i tekhnologii gis. Tezisy dokladov nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Ufa, Geofizika, 2009, pp.244-246.

24. Belov S.V., Zaichkin E.V., Naugolnykh O.V., Tashkinov I.V., Shumilov A.V., Shilov A.A. Otsenka tekhnicheskogo sostoiianiia neftegazovykh skvazhin po kompleksu geofizicheskikh metodov v programnom komplekse SONATA [Evaluation of the technical condition of oil and gas wells using a set of geophysical methods in the SONATA software package]. *Materialy V rossiisko-kitaiskogo simpoziuma po promyslovoi geofizike*. Ufa, Geofizika, 2008, pp.134-142.

25. Potapov A.P., Danilenko V.N. Magnitoimpulsnaia defektoskopiia - tolshchinometriia neftegazovykh skvazhin [Magnetic pulse testing - oil and gas well thickness gauging]. *Vesti gazovoi nauki*, 2014, no.4, pp.188-195.

26. Savich A.D., Chernykh I.A., Shumilov A.V., Kostitsyn V.I. Tekhnologii geofizicheskikh issledovaniia v buriashchikhsia i ekspluatatsionnykh gorizontalnykh skvazhinakh [Technologies for geophysical research in drilling and production horizontal wells]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi osnovateliu gorizontalnogo bureniia A.M. Grigorianu*. Kazan, Slovo, 2017, pp.246-249.

27. Se M., Potapov A.P., Salnikova O.L., Shumilov A.V. Primenenie magnitoimpulsnoi defektoskopii dlia kontroliia tekhnicheskogo sostoiianiia ekspluatatsionnoi kolonny [The use of magnetic pulse testing for the control of the technical condition of the production string]. *Teoriia i praktika razvedochnoi i promyslovoi geofiziki. Sbornik trudov po materialam mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Perm, Izdatelskii tsentr Permskogo gosudarstvennogo natsionalnogo issledovatel'skogo universiteta, 2018, pp.324-328.

28. Sementsov A.A., Zhulanov I.N., Belov S.V., Tashkinov I.V., Shumilov A.V. Trebovaniia k sovremennym sistemam obrabotki i interpretatsii materialov volnovogo akusticheskogo karotazha [Requirements for modern systems of processing and interpretation of wave acoustic logging materials]. *Karotazhnik*, 1999, iss.65, pp.40-45.

29. Tashkinov I.V., Shumilov A.V. Sovremennye podkhody k otsenke kachestva tsementirovaniia akusticheskimi metodami [Novell approaches for assessing the quality of cementing acoustic logs]. *Neft. Gaz. Innovatsii*, 2016, no.10, pp.26-30.

30. Tashkinov I.V., Shumilov A.V. Standartizatsiia interpretatsii akusticheskogo kontroliia tsementirovaniia s uchetom svoistv tsementa [New approach to cbl interpretation taking into account cement properties]. Moscow, Geofizika, 2016, iss.5, pp.62-67.

31. Shumilov A.V. Novye tekhnologii skvazhinnykh elektromagnitnykh metodov v Permskom krae [New technologies of downhole electromagnetic methods in the Perm region]. *Materialy 42 sessii mezhdunarodnogo nauchnogo seminara im. D.G. Uspenskogo*. Perm, Izdatelstvo Permskogo gosudarstvennogo universiteta, 2015, pp.224-226.

32. Shumilov A.V., Belov S.V., Tashkinov I.V. Obrabotka dannykh kross-dipolnogo akusticheskogo karotazha v programnom komplekse SONATA [Cross-dipole acoustic logging data processing in the SONATA software package]. *Karotazhnik*, 2014, iss.10 (244), pp.114-126.

33. Shumilov A.V., Zaichkin E.V. Szhatie mnogomernykh dannykh geofizicheskikh metodov issledovaniia skvazhin na osnove veivlet-preobrazovaniia [Compression of multidimensional data of geophysical well survey methods based on wavelet transform]. *Geofizika*, 2014, iss.4, pp.46-53.

34. Shumilov A.V., Zhulanov I.N., Belov S.V., Tashkinov I.V. Opredelenie kachestva tsementirovaniia skvazhin [Determining the quality of cementing wells]. Svidetelstvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM no.2000610746 ot 16.08.2000. Moscow, Rospatent, 2000.

35. Assous S., Elkington P. Shearlets and sparse representation for microresistivity borehole image inpainting. *Geophysics*, 2018, 83(1), pp.1502-1511. DOI: 10.1190/geo2017-0279.1

36. Alford R.M. Shear data in the presence of azimuthal anisotropy. *56th Annual International Meeting*. SEG, 1986. DOI: 10.1190/1.1893036

37. Zemanek J., Angona F.A., Williams D.M., Caldwell R.L. Continuous shear wave logging. *Paper U. 25th Annual Logging Symposium Transactions: Society of Professional Well Log Analysts*, 1984.

38. Passey Q.R., Yin H., Rendeiro C.M., Fitz D.E. Overview of high-angle and horizontal well formation evaluation: issues, learnings, and future directions. *SPWLA 46th Annual Logging Symposium*, 2005.

39. Salomon D. *Data compression: the complete reference*. Springer, Verlag Inc., New York, 2004, 1092 p. DOI: 10.1007/978-1-84628-603-2

40. Tang X., Chunduru R.K. Simultaneous inversion of formation shear-wave anisotropy parameters from cross-dipole acoustic-array waveform data. *Geophysics*, 1999, 64(5), pp.1502-1511. DOI: 10.1190/1.1444654

Просьба сослаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Шумилов А.В. Анализ существующих и разработка новых программных комплексов обработки и интерпритации информации о геофизических исследованиях скважин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2019. – Т.19, №2. – С.162–174. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.2.6

Please cite this article in English as:

Shumilov A.V. Analysis of existing and development of new software systems for processing and interpretation of well log data. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2019, vol.19, no.2, pp.162-174. DOI: 10.15593/2224-9923/2019.2.6