

УДК 550.832

Исследования геофизическими методами технического состояния наклонно-направленных и горизонтальных скважин

А.В. Шумилов

Пермский государственный национальный исследовательский университет

614990, Пермь, ул. Генкеля, 8, корп. 8. E-mail: shum5011@gmail.com

(Статья поступила в редакцию 20 марта 2020 г.)

Рассмотрены проблемы, возникающие при контроле технического состояния скважин: определение качества цементирования, выделение заколонных дефектов и перетоков, участков коррозии, оценка эксцентриситета колонн. Охарактеризованы главные научные направления и программные комплексы в области геофизического контроля технического состояния скважин; технические средства доставки геофизических приборов и аппаратов к забоям горизонтальных скважин; некоторые современные средства для мониторинга работы скважины.

Ключевые слова: *геофизические методы исследования скважин, горизонтальная скважина, программное обеспечение, оценка качества цементирования, технологический комплекс.*

DOI: 10.17072/psu.geol.19.2.140

Введение

При строительстве нефтегазовых скважин (в том числе наклонно-направленных и горизонтальных) заключительной и наиболее важной для последующей эксплуатации операцией является заканчивание. В свою очередь одним из этапов качественного заканчивания скважин является правильный выбор конструкции, когда скважину бурят до кровли продуктивного пласта по технологии, обеспечивающей ускоренную и безаварийную проводку ствола с изоляцией всех вышележащих пластов обсадной колонной и цементированием заколонного пространства, а продуктивный пласт вскрывается по технологии, специально подобранной для этого объекта. Техническое состояние обсаженных скважин оценивается по достоверной информации о ряде факторов, влияющих на качество изоляции цементного кольца и заколонного пространства (контактах цемента, заколонных дефектах и перетоках, коррозии и эксцентриситете колонн).

В процессе эксплуатации скважин вследствие неоднородности фильтрационно-емкостных свойств продуктивных отложений на протяжении всего условно-горизонтального участка ствола и обводнения продукции скважин необходимо опреде-

лять работающие интервалы и выяснять причины поступления воды. Решение этих задач требует комплексного подхода, включающего разработку технических средств, технологических приёмов скважинных исследований и методических рекомендаций по проведению измерений и интерпретации полученных данных.

Доставлять геофизические приборы любой модификации и проводить полноценные информативные геофизические исследования на всём протяжении стволов наклонно-направленных и горизонтальных скважин (как на этапе заканчивания, так и на этапе эксплуатации) должны современные отечественные технологические комплексы для геофизических и гидродинамических исследований эксплуатационных горизонтальных скважин, а также новые программные комплексы обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин (ГИС).

1. Главные научные направления по геофизическому контролю технического состояния скважин

Теоретические основы основных методов оценки качества цементирования обсадных колонн, которыми до сих пор являются аку-

стический и радиометрический, были заложены ещё в 1970-х гг. советскими учёными Д.А. Бернштейном, Ю.А. Гулиным (Гулин, 1975), Б.Н. Ивакиным (Ивакин, 1978), Е.В. Карусом, О.Л. Кузнецовым, П.А. Прямым (Прямов, Бернштейн, 1978). Выделяются следующие научные направления.

В научных центрах Башкортостана в НПФ Геофизика (г. Уфа) и НПП ВНИИГИС (г. Октябрьский) на протяжении многих лет проводились исследования в области акустической цементометрии (АКЦ), гамма-гамма цементометрии (ГГЦ), магнитоимпульсной дефектоскопии колонн (МИД-К).

Безусловным лидером в области АКЦ и ГГЦ был центр в НПФ Геофизика, где работали выдающиеся геофизики: д.т.н. В.М. Коровин, к.т.н. В.Я. Иванов, к.т.н. В.В. Лаптев, к.т.н. Е.В. Семенов, к.т.н. М.А. Сулейманов (Лаптев, Сулейманов и др., 2001; Адиев, Валиуллин и др., 2003).

Исследования в области ГГЦ методами математического моделирования Монте-Карло проводились в Российском государственном университете нефти и газа (РГУНГ) д.т.н. Д.А. Кожевниковым (Кожевников, 1997), а методики обработки и интерпретации многоэлементного мультипольного акустического каротажа – на кафедре ГИС в РГУНГ В.М. Черноглазовым и А.В. Городновым.

В НПП ВНИИГИС д.т.н. Ю.А. Гуторовым (Гуторов, 1996) впервые были проведены физические эксперименты, обосновывающие возможность определения величины микрозазора и угла раскрытия канала по данным разночастотного АКЦ. Д.т.н. Л.Е. Кнеллером, д.т.н. В.А. Сидоровым (Сидоров, 1996), д.т.н. В.К. Теплухиным, к.т.н. А.В.Миллером, к.т.н. А.П. Потаповым (Потапов, Кнеллер, 2000) впервые были разработаны аппаратура и методика обработки данных МИД-К, которая позволяла проводить оценку технического состояния многоколонных конструкций скважин, в том числе и через насосно-компрессорные трубы (НКТ).

В Пермском крае одним из инициаторов исследований методом волнового акустического каротажа (ВАК) для решения разнообразных технических и геологических задач

был д.т.н. И.Н. Жуланов (Жуланов, Семенов и др., 1998).

Первые приборы кросс-дипольного акустического каротажа (АК) появились в России благодаря специалистам из ООО Нефтегазгеофизика (г. Тверь) под руководством д.т.н. Р.Т. Хаматдинова (Хаматдинов, 1998).

К.М. Тан (Tang, Cheng, 2004) из Китайского нефтяного университета (г. Циндао) создал теорию обработки данных мультипольного АК, стал одним из авторов уникальной инверсионной методики обработки данных кросс-дипольного АК.

Можно выделить следующие главные программные комплексы.

В Башкирском государственном университете (БГУ) под руководством д.т.н. Р.А. Валиуллина и к.т.н. И.С. Ремеева была создана система ГИДРОЗОНД (Рамазанов, Ремеев и др., 1997) для контроля за разработкой, которая потом развилась в систему ПРАЙМ комплексной обработки и интерпретации данных ГИС, в том числе и многоскважинной обработки.

На кафедре геофизических исследований скважин (ГИС) РГУНГ под руководством д.т.н. В.М. Добрынина, к.т.н. В.М. Черноглазова и к.т.н. А.В. Городнова был разработан программный комплекс КАМЕРТОН (Добрынин, Черноглазов, 1996), который позволял проводить обработку данных волнового акустического каротажа, оценку данных гидродинамических исследований скважин, интерпретацию акустической цементометрии.

В компании ГИФТС под руководством д.т.н. В.С. Афанасьева (Афанасьев В.С., Афанасьев С.В., 2005) велась работа по созданию программной системы ГИНТЕЛ, которая в первую очередь предназначалась для комплексной интерпретации данных ГИС в открытом стволе для терригенных разрезов скважин.

Еще одна группа разработчиков программного обеспечения работает в ООО Предприятие «ФХС-ПНГ» (г. Пермь) под руководством автора статьи, реализуя программные комплексы ГИС-Акустика, ГИС-АКЦ, СОНАТА (Белов, Жуланов и др., 2002; Шумилов, 2007). В этой статье представлен анализ работ других авторов, нацеленный на выявление узких мест и давший направление для разработки программных комплексов в

ООО Предприятие «ФХС-ПНГ» в конце 1990-х гг., а также других технологий, необходимых для работ в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах.

2. Сравнение программных комплексов по геофизическому контролю технического состояния скважин

Общий список программных систем обработки и интерпретации данных ГИС для контроля технического состояния скважин

включает: ПРАЙМ, ГИНТЕЛ, ПАНГЕЯ, СИАЛ-ГИС, КАМЕРТОН, DV-Geo, GeophysicsOffice, Tigress, Геопоиск, Techlog, LogPWin, ГИС-АКЦ.

Наибольшее распространение на территории РФ для оценки технического состояния скважин и обработки волнового акустического каротажа получили пакеты ПРАЙМ, КАМЕРТОН, Геопоиск (Что такое «Геопоиск», 2020), Techlog, LogPWin, ГИС-АКЦ (рис. 1).

Характеристика	Прайм	Геопоиск	LogPWin	Камертон	Techlog	ГИС-АКЦ
Поддержка форматов данных	до 10	до 20	до 5	до 5	до 10	до 20
Оценка качества материала в соответствии с отраслевыми стандартам	Да	Нет	Частично	Частично	Частично	Частично
Предварительная обработка волнового сигнала	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично
Определение кинематических параметров	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично
Определение динамических параметров	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично
Определение спектральных параметров	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично
Определение азимутальной анизотропии	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично
Учет геометрии ствола скважины	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично
Расчет физико-механических свойств	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично
Оценка коэффициента приточности	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично
Мастера пошаговой обработки	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично
Обработка АКЦ	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично
АКЦ. Учет скважинных условий (тип разреза, св-ва цемента, конструкция скважины)	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично
Секторное АКЦ	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично
Обработка СГДТ	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично
СГДТ. Учет скважинных условий (многоканальная конструкция, уровень жидкости, эксцентриситет и др.)	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично
Обработка МИД	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично
Обработка многорычажной профилометрии	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично
Акустическая профилометрия	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично
Построение отчета	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично	Частично

– Да
 – Нет
 – Частично

Рис. 1. Сравнительные характеристики программных комплексов обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин

Часть программ была упомянута в предыдущем разделе, рассмотрим оставшиеся.

Программа LogPWin имеет различные модули обработки специализированных геофизических методов, но привязана только к аппаратуре, производимой ООО Нефтегазгеофизика (Программное обеспечение, 2020). Платформа Techlog (Шлюмберге) (Techlog, 2020) 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 отечественной аппаратуры.

Программный комплекс ГИС-АКЦ (Белов, Жуланов и др., 2002) был создан группой специалистов, возглавляемой автором статьи, но обладал узким

функциональным кругом характеристик и был заменен позже модульной системой СОНАТА.

На рис. 1 представлены сравнительные характеристики каждого из комплексов по обработке и интерпретации данных ГИС для задач оценки технического состояния и обработки данных волнового акустического каротажа (ВАК). Из рис. 1 видно, что в представленных программных комплексах отсутствует необходимый полный набор функций для оценки технического состояния скважин и обработки волнового сигнала. Это послужило толчком для создания нового программного комплекса СОНАТА (Шумилов, 2007)

3. Методики сжатия акустических данных и программные пакеты сжатия

Первые разработки в области сжатия акустического каротажа в РФ были выполнены Р.Д. Ахметсафиним и А.А. Булгаковым в НПФ Геофизика (Ахметсафин, Булгаков, 2002). Они предложили использовать алгоритмы на основе дискретного косинусного преобразования (ДКП) для сжатия акустического сигнала. Предложенный подход позволял обеспечить сжатие данных акустического каротажа в 8 раз в обсаженной скважине и в 15 раз в открытом стволе с относительной погрешностью 2%.

Подход, развивающий идеи Р.Д. Ахметсафина, был предложен автором статьи при создании программы сжатия ВАК (Сжатие ВС) (Заичкин, Шумилов и др., 2002). Принципиальным отличием разработанной методики от подхода, описанного Р.Д. Ахметсафиним и А.А. Булгаковым, явилась возможность задания допустимой величины искажений сигнала на различных участках, что позволяет добиться оптимального соотношения минимальных искажений полезного сигнала к максимальной степени сжатия.

Дальнейшим шагом в развитии методики сжатия акустических данных явилась работа В.М. Коровина (Коровин, Адиев и др., 2004), в которой он предложил использовать дискретное вейвлет-преобразование для сжатия первых 3-4 периодов головных волн АК, что позволяет достичь 30-кратной степени сжа-

тия. Такой подход оправдан для задач оценки качества цементирования по состоянию контакта на границе цемент-колонна и для оценки параметров продольной волны в открытом стволе. Однако современные методики обработки и интерпретации данных АК как в обсаженной скважине, так и в открытом стволе приводят к необходимости использования всего спектра регистрируемых волн (продольная, поперечная, волна Стоунли, волна по колонне). Кроме того, появлялись новые методы ГИС, которые регистрировали значительные объемы данных (электромагнитная дефектоскопия, акустические, микроимиджеры, многорычажная профилометрия, оптоволоконные технологии).

На рис. 2 представлены сравнительные характеристики программных пакетов.

Степень сжатия зависит от следующих основных факторов: исходные данные и параметры регистрации (разрядность аналого-цифрового преобразователя (АЦП), шаг дискретизации сигнала, шаг по глубине и др.); допустимая погрешность при обработке данных ГИС; соотношение долей регистрируемой информации, необходимой для количественной обработки, и используемой, например, только для качественной визуализации. В зависимости от перечисленных факторов для разных методов ГИС и разных условий регистрации может быть достигнута различная степень сжатия.

Из анализа рис. 2 следует, что изначальная нацеленность на акустический каротаж ограничивала применимость методик сжатия. В то же время многометодная ГИС-интерпретация требует операций не только с АК, но и с другими геофизическими методами.

Из рассмотренных решений только стандартные архиваторы позволяют сжимать данные ГИС любых методов помимо акустических, которым индифферентно, какие данные подаются на вход алгоритма сжатия. Однако для программного пакета сжатия, имеющего дело с большим набором различных методов ГИС, необходима процедура предварительной настройки, подбора предварительных преобразований и вейвлет-функции для достижения наиболее эффективного сжатия многомерных данных.

№ п/п	Характеристика	Программные пакеты сжатия геофизических данных				
		Сжатие ВС	Ахметсафин	Коровин	Геопоиск	Архиваторы ZIP и RAR
1	Методика	ДКП	ДКП	ДВП	ДКП	Сжатие без потерь
2	Степень сжатия	8–30	8–15	15–30	10–15 без потери; 20–30 с незначительной потерей	3–5
3	Акустический каротаж					
4	Другие данные ГИС					
5	Настройки погрешности					
6	Разбивка на информативные блоки			Только первые фазы сигнала	Выбирается временное окно и отбрасывается остальная часть	
7	Предобработка данных					

– Да
 – Нет
 – Частично

Рис. 2. Сравнение характеристик программных пакетов сжатия геофизических данных

Ограничения рассмотренных пакетов были преодолены в программном комплексе Сжатие ГИС (Шумилов, Белов, 2014), основанном на использовании дискретного вейвлет преобразования (ДВП).

4. Технические средства доставки геофизических приборов и аппаратов к забоям горизонтальных скважин

Для рассмотрения выбраны (Килейко, Козыряцкий, 2002): стандартный геофизический кабель (ГК), жёсткий геофизический кабель (ЖГК), жёсткий сталеполимерный кабель (ЖСПК, мини – *CoiledTubing*), гибкие насосно-компрессорные трубы (ГНКТ, *CoiledTubing*), скважинный трактор (Allahar, Krieger, 2003) (рис. 3).

Приведенные результаты расчётов показывают, что доставку приборов в наклонно-направленные участки стволов скважин с зенитными углами, достигающими 68° , не имеющих осложнений в виде уступов, можно осуществлять как с помощью жёсткого геофизического кабеля (ЖГК), так и с помощью стандартного геофизического кабеля (ГК).

В обсаженных скважинах, за счёт уменьшения сил трения, доставку приборов можно производить до глубин, где зенитные углы достигают 75° . При увеличении наклона скважин до 85° вероятность достижения забоя при длине интервала в 150 м составит 0,75 с уменьшением до 0,25 при увеличении длины до 500 м. При помощи установок с ЖСПК исследования можно проводить в скважинах с более сложной траекторией и длиной ствола до 500 м (вероятность 0,75). ГНКТ позволяет проводить исследования в скважинах с длиной горизонтального ствола до 800 м, а при его удлинении до 1000 м вероятность доставки составит 0,5.

Для нового поколения технологических комплексов необходим функционал, который позволял бы с наибольшей вероятностью доставлять приборы в скважины с горизонтальной частью до 1000 м.

На рис. 4 представлены оценки вероятности выполнения геофизических исследований и работ в горизонтальных скважинах с различными техническими и технологическими особенностями выполнения измерений, а также влияния конструктивных параметров технических средств доставки на качество результатов ГИС.

№ п/п	Условия выполнения ГИРС	Длина условно-горизонтального участка, м	Вероятностная (экспертная) оценка доставки приборов и технологичности выполнения ГИРС				
			ГК	ЖГК	ЖСПК	ГНКТ	Трактор
1	Наклонно-направленные участки с зенитным углом до 68° в открытом стволе и 75° в колонне	0	1	1	1	1	1
2	Зенитный угол 75 – 85°	150	0	0,75	1	1	1
		300	0	0,5	1	1	1
		500	0	0,25	0,75	1	1
		800	0	0	0,5	1	1
3	Зенитный угол 85 – 90°	500	0	0	0,5	1	1
		800–1000	0	0	0	0,5	1
		1000–2500	0	0	0	0	1
4	Горизонтальная	1000	0	0	0	0	1
5	С восходящим участком	150	0	0,25	0,25	1	1
		300	0	0	0,25	1	1
		500	0	0	0	0,25	1
		800	0	0	0	0,25	1
6	Чередование восходящих и нисходящих участков (волнообразное)	150	0	0,25	0,75	1	1
		300	0	0	0,5	1	1
		500	0	0	0,25	1	1
		800–1000	0	0	0	0,5	1
7	Возможность выполнения ГИРС в скважинах, оборудованных циркуляционными клапанами для выполнения МГРП	150	0	0,5	1	1	0
		300	0	0	0,75	1	0
		500	0	0	0,25	1	0
		800–1000	0	0	0	0,75	0

– Да
 – Нет
 0,75
 0,5
 0,25
– Частично

Рис. 3. Оценка возможностей средств доставки геофизических приборов в горизонтальные скважины в зависимости от траектории ствола

Доставка приборов через байпасные системы, которыми могут оборудоваться скважины, эксплуатируемые ЭЦН, не может быть реализована в условиях наиболее широко применяемых их конструкций (обсадные колонны диаметром 168 и 178 мм, насос 117 мм) из-за несоответствия диаметров системы Y-tool и трактора. К примеру, минимальный диаметр, при котором работает трактор R-218 компании Welltec, составляет 65 мм.

Ограничения в выполнении прострелочно-взрывных работ с помощью трактора вызваны недостаточностью его механической прочности, что в условиях резко выражено-

го динамического характера воздействия знакопеременных давлений при взрывах, может привести к выходу его из строя. ГНКТ и ЖСПК, помимо снижения вероятности доставки с увеличением длины условно-горизонтальных участков, не исключает возможные погрешности в привязке глубины.

Скважинный трактор является также единственным средством доставки, которое оказывает отрицательное влияние на качество результатов ГИС посредством искажения температурного поля за счёт выделения тепла электродвигателем, нарушения распределения фаз флюида вследствие интенсивного

№ п/п	Условия выполнения ГИРС	Вероятностная (экспертная) оценка доставки приборов и технологичности выполнения ГИРС				
		ГК	ЖГК	ЖСПК	ГНКТ	Трактор
1	Исследование скважин по технологии спуска под глубинно-насосное оборудование	1	0,25	0	0	1
2	Доставка приборов через байпасные системы (технологии Y-tool)	1	1	0,75	0,75	0
3	Выполнение прострелочно-взрывных работ (торпедирование, перфорация, установка взрывных пакеров)	1	1	0,5	0,75	0,25
4	Точность привязки результатов измерений по глубине	1	0,5	0,75	0,75	1
5	Вероятность обеспечения необходимой скорости движения приборов	1	0,75	1	1	0,5
6	Искажение температурного поля, распределения фаз и перемешивание флюида при проведении ГИРС	0	0	0	0	1
7	Сравнительные показатели себестоимости технологического оборудования	0	0	0,5	1	0,75

■ - Да ■ - Нет ■ 0,75 ■ 0,5 ■ 0,25 - Частично

Рис. 4. Технологические особенности выполнения работ в горизонтальных скважинах различными средствами доставки геофизических приборов

раскручивания трактора с прибором на подъёме и перемешивания жидкости при буксировке прибора.

Наиболее существенные погрешности в измерении глубины возникают при выполнении геофизических исследований и работ в скважинах на ЖГК. Это связано со свойствами кабеля сохранять остаточную деформацию, вызванную намоткой на барабан каротажного подъёмника.

Как следует из анализа, ни один из существовавших методов не удовлетворял всем критериям, что вызвало необходимость разработки нового технологического комплекса для доставки геофизических приборов к забоям горизонтальных скважин (Килейко, Савич и др., 2007).

5. Мониторинг работы наклонно-направленных и горизонтальных скважин

Внедрение оптоволоконных технологий распределённых термометрии и шумометрии

при мониторинге работы скважин открыло широкие перспективы для решения технологических задач контроля целостности колонн и качества крепи (Kersey, Gysling et al., 1999; Wippich, Dessau, 2003). Нарушения определяются в рабочем режиме скважины без её остановки, а решения о необходимости и способе ремонта могут приниматься без потерь добычи продукции.

Таким образом, актуальна разработка новых технологий, часть из которых реализована путем предварительного спуска геофизических приборов под глубинный насос (Попов, Савич и др., 2004).

Обрабатывать и интерпретировать результаты мониторинга работы скважины необходимо вместе с результатами интерпретации комплекса контроля качества крепления скважин акустическими, радиометрическими и электромагнитными методами. С одной стороны, диагностируемое ухудшение состояние крепи относительно планового создаёт предпосылки к возникно-

вению в процессе работы скважины законных перетоков и негерметичности колонн. С другой стороны, обнаружение перетока и негерметичности методами мониторинга требует проверки состояния крепи, оценённого при строительстве или ремонте скважины. В связи с этим в модульной системе обработки и интерпретации данных ГИС (СОНАТА) предусмотрена возможность работы с данными шумомерии и термометрии (Савич, Шумилов и др., 2006).

Существует ряд аналитических решений, описывающих поступление пластовых жидкостей к забоям горизонтальных скважин. Графоаналитические методы интерпретации восстановления давления КВД разработаны достаточно давно, они теоретически обоснованы и долгое время широко применялись. Их недостатком следует считать неучет наличия горизонтальной части ствола (методы разработаны для условно вертикальных скважин). При этом в настоящее время остается довольно актуальной задача оценки достоверности определения фильтрационных параметров с учетом или неучетом наличия горизонтальной части ствола скважины при разных способах интерпретации. Сложность данной задачи усугубляется тем, что, по сути, все эти методы являются косвенными, т. е. ни один из них нельзя принять за истину. Решение задачи может быть найдено на пути разработки многомерных математических моделей, позволяющих определять дебиты скважин в рассматриваемых условиях по комплексу геолого-технических показателей, полученных в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах (Шумилов, 2019). Проведение постоянных гидродинамических измерений в процессе работы горизонтальной скважины может обеспечить возможность оценки достоверности определения фильтрационных параметров при реализации различных косвенных методов и при отсутствии информации об их точных значениях.

Заключение

Таким образом, проанализировав возможности существовавших в конце 1990 – начале 2000-х гг. программных комплексов обработки и интерпретации геофизических данных, а также технологических комплек-

сов на каротажном кабеле, автор сформулировал следующие направления исследований, реализованные в системе СОНАТА в программе Сжатие-ГИС, в технологическом комплексе для доставки приборов к забоям горизонтальных скважин и в технологиях мониторинга работы скважины.

1. Создать новые и усовершенствовать существующие методические обеспечения и компьютерные технологии контроля технического состояния скважин методами волнового акустического и гамма-гамма плотностного радиоактивного каротажей, электромагнитной дефектоскопии и толщинометрии, механической и акустической профилометрии.

2. Обосновать, разработать информационную модель и функционально наполнить новую модульную систему обработки и интерпретации геофизических данных контроля технического состояния скважин методами акустического, радиоактивного и электромагнитной каротажей.

3. Обосновать и разработать пакет программ предобработки данных, направленных на сжатие, компактное хранение и передачу информации геофизических исследований скважин, включающих данные контроля технического состояния скважин методами акустического, радиоактивного и электромагнитной каротажей.

4. Разработать новое семейство кабельных технологических комплексов для доставки геофизических приборов к забоям горизонтальных скважин.

5. Создать программное обеспечение для проведения расчетов с целью определения усилий транспортировки геофизических приборов к забоям и осевых усилий, возникающих на кабеле при их подъеме для различных типов кабельных технологий доставки приборов в горизонтальные скважины.

6. Адаптировать модульную систему обработки и интерпретации геофизических данных контроля качества крепи, полученных в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах, к возможностям технологий исследования под глубинным оборудованием в межремонтный период и опволоконной термометрией.

7. Разработать многомерные математические модели, позволяющие определять деби-

ты скважин в рассматриваемых условиях по комплексу геолого-технических показателей, полученных в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах.

Библиографический список

- Адиев Я.Р., Валиуллин Р.А., Коровин В.М., Шилов А.А.* Системный контроль технического состояния скважин // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд-во «АИС», 2003. Вып. 111 – 112. С. 169 – 178.
- Афанасьев В.С., Афанасьев С.В.* Система автоматизированной визуальной интерпретации результатов геофизических исследований скважин Gintel 2005: описание и руководство пользователя / ООО «Геоинформационные технологии и системы». 2005. 910 с.
- Ахметсафин Р.Д., Булгаков А.А.* Сжатие данных при акустическом каротаже // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд-во «АИС», 2002. Вып. 90. С. 51 – 56.
- Белов С.В., Жуланов И.Н., Тапкинов И.В., Шумилов А.В.* Программа «ГИС-АКЦ» – эффективное средство контроля качества цементирования обсадных колонн // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд-во «АИС», 2002. Вып. 93. С. 90 – 94.
- Гулин Ю.А.* Гамма-гамма метод исследования нефтяных скважин. М.: Недра, 1975. 160 с.
- Гуторов Ю.А.* Формирование оптимального геофизического комплекса для оценки технического состояния обсаженных скважин // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд-во «АИС», 1996. Вып. 20. С. 61 – 67.
- Добрынин В.М., Черноглазов В.Н., Городнов А.В.* Новые возможности контроля за разработкой месторождений // Нефтяное хозяйство. 1996. № 6. С. 29 – 32.
- Жуланов И.Н., Семенов А.А., Матяшов С.В.* Опыт применения цифровой регистрации и обработки волнового сигнала АК в ОАО «Пермнефтегеофизика» // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд-во «АИС», 1998. Вып. 51. С. 110 – 114.
- Заичкин Е.В., Шумилов А.В., Белов С.В., Тапкинов И.В.* Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «Сжатие полного волнового пакета акустического каротажа» (Сжатие ВС) № 2002612073 от 11.12.2002 / РОСПАТЕНТ М., 2002.
- Ивакин Б.Н., Карус Е.В., Кузнецов О.Л.* Акустический метод исследования скважин. М.: Недра, 1978. 320 с.
- Килейко Е.С., Козыряцкий Н.Г., Корженевский А.Г., Напольский В.А., Савич А.Д., Шумилов А.В.* Инструкция по выбору комплекса геофизических исследований и средств доставки приборов на забой в процессе бурения и эксплуатации горизонтальных скважин: руководящий документ РД 440-001-01 Тверь, 2002. С. 1 – 15.
- Килейко Е.С., Савич А.Д., Шумилов А.В.* Геофизический контроль эксплуатации действующих горизонтальных скважин при помощи технологии «Латераль» // Вестник «Горное эхо» / Горный институт УрО РАН. Пермь, 2007. Вып. 2 (28). С. 17 – 22.
- Кожеевников Д.А.* Проблемы интерпретации данных ГИС // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд-во «АИС», 1997. Вып. 34. С. 7 – 27.
- Коровин В.М., Адиев Р.Я., Булаев В.И., Барышев В.И., Лесников В.В.* Передача данных акустического каротажа по цифровым каналам связи // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд-во «АИС», Вып. 2 (115). С. 59 – 65.
- Лаптев В.В., Сулейманов М.А., Семёнов Е.В., Иванов В.Я., Хамитов Р.А.* Программно-управляемый аппаратно-методический комплекс АМК-2000 для контроля технического состояния и качества цементирования скважин // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд-во «АИС», 2001. Вып. 86. С. 79 – 86.
- Попов С.В., Савич А.Д., Шумилов А.В.* Технология предварительного спуска геофизических приборов под глубинный насос – основа мониторинга разработки нефтегазовых месторождений // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: матер. регион. науч.-практ. конф. Перм. гос. ун-та. Пермь, 2004. С. 215 – 219.
- Потапов А.П., Кнеллер Л.Е.* Математическое моделирование и интерпретация материалов скважинной импульсной электромагнитной толщинометрии // Геофизика. 2000. Вып. 5. С. 27 – 30.
- Программное обеспечение / ООО «Нефтегаз-геофизика». 2020. URL: <http://www.karotazh.ru/ru/programs> (дата обращения: 28.05.2020).*
- Прямов П.А., Бернштейн Д.А.* Руководство по применению акустических и радиометрических методов контроля качества цементирования нефтяных и газовых скважин / ВНИИНЕФТЕПРОМГеофизика. Уфа, 1978. 109 с.
- Рамазанов А.Ш., Ремеев И.С., Гумеров И.Р., Юсим Ю.М., Булгаков Р.Б.* Автоматизированная система обработки данных гидродинамического зондирования пластов «ГИДРОЗОНД» // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 1997. Вып. 30. С. 74 – 76.
- Савич А.Д., Шумилов А.В., Черных И.А., Лагойда Д.В.* Технология непосредственного замера термодинамических параметров работы скважины // Нефтяное хозяйство. 2006. № 1. С. 72 – 75.

Сидоров В.А. Магнитоимпульсная дефектоскопия и толщинометрия колонн // Нефтяное хозяйство. 1996. № 10. С. 12 – 14.

Хаматдинов Р.Т. Компьютерные технологии ГИС // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд-во «АИС», 1998. Вып. 47. С. 74 – 77.

Что такое «Геопоиск»? // Геопоиск, 2020. URL: <http://www.geopoisk.com/practice.htm> (дата обращения: 28.05.2020).

Шумилов А.В. Исследование притока жидкости в скважинах с горизонтальным окончанием ствола вероятностно-статистическими методами // Нефтяное хозяйство. 2019. № 12. С. 136 – 139.

Шумилов А.В. Программный комплекс «Соната» – новый уровень развития современного геофизического предприятия // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд-во «АИС», 2007. Вып. 2 (155). С. 67 – 78.

Шумилов А.В., Белов С.В. Новый программный комплекс «Сжатие ГИС» // НТВ «Каротаж-

ник». Тверь: Изд-во «АИС», 2014. Вып. 11 (245). С. 76 – 89.

Allahar J.A., Krieger K. Horizontal Production Logging Using Tractor Technology - a First for Trinidad // SPI 81118, Caribbean Petroleum Engineering Conference. Port-of Spain, Trinidad, West Indies, 27-30 April, 2003.

Kersey A. D., Gysling D. L., Bostick F. X. Fiber-Optic Systems for Reservoir Monitoring // World Oil. 1999. October. P. 91 – 97.

Tang X.M., Cheng A. Quantitative Borehole Acoustic Methods // Pergamon. 2004. Vol. 24, 1st Edition.

Techlog Wellbore Software Platform // Schlumberger, 2020. URL: <https://www.software.slb.com/products/techlog> (дата обращения: 28.05.2020).

Wippich M., Dessau K. L. Tunable Lasers and Fiber-Bragg-Grating Sensors // Industrial Physicist. 2003. June/July. P. 24 – 27.

Geophysical Studies of the Technical Condition of Wells

A.V. Shumilov

Perm State University

8 bedg, 8 Genkelya Str., Perm 614990, Russia

E-mail: shum5011@gmail.com

Our paper considers the problems arising during the monitoring of the technical condition of wells: determining the quality of cementing, identification of column defects and overflows, corrosion areas, evaluating the eccentricity of the columns. The main research areas and software systems in the field of geophysical control of the technical condition of wells, technical means of delivery of geophysical instruments and apparatus to the bottom of horizontal wells, some modern tools for monitoring well operation are characterized.

Key words: *geophysical methods for well research; horizontal well; software; cementing quality assessment; technological complex.*

References

Adiyev YA.R., Valiullin R.A., Korovin V.M., Shilov A.A. 2003. Sistemnyy kontrol tekhnicheskogo sostoyaniya skvazhin [System control of the technical condition of wells]. NTV Karotazhnik. AIS, Tver. 111-112:169-178. (in Russian)

Afanasyev V.S., Afanasyev S.V. 2005. Sistema avtomatizirovannoy vizualnoy interpretatsii rezultatov geofizicheskikh issledovaniy skvazhin Gintel2005. Opisanie i rukovodstvo polzovatelya. [The system of automated visual interpretation of the results of geophysical exploration of wells Gintel2005. Description and user manual] OOO Geoinformatsionnyye tekhnologii i sistemy, p. 910. (in Russian)

Akhmetzafin R.D., Bulgakov A.A. Szhatie dannyykh pri akusticheskom karotazhe [Data com-

pression during acoustic logging]. Karotazhnik. 90:51-56. (in Russian)

Belov S.V., Zhulanov I.N., Tashkinov I.V., Shumilov A.V. 2002. Programma «GIS-AKTS» - effektivnoye sredstvo kontrolya kachestva tsementirovaniya obsadnykh kolonn [The GIS-ACW program is an effective tool for controlling the quality of casing cementation]. Karotazhnik. 93:90-94. (in Russian)

Gulin Yu.A. 1975. Gamma-gamma metod issledovaniya neftyanykh skvazhin [Gamma-gamma method for oil wells study]. Nedra, Moskva, p. 160. (in Russian)

Gutorov Yu.A. 1996. Formirovaniye optimalnogo geofizicheskogo kompleksa dlya otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya obsazhennykh skvazhin [Formation of an optimal geophysical complex for assessing the technical condition of cased wells]. Karotazhnik. 20:61-67. (in Russian)

- Dobrynin V.M., Chernoglazov V.N., Gorodnov A.V.* 1996. Novye vozmozhnosti kontrolya za razrabotkoy mestorozhdeniy [New Opportunities for Monitoring of the Field Development]. *Neftyanoye khozyaystvo*, 6:29-32. (in Russian)
- Zhulanov I.N., Sementsov A.A., Matyashov S.V.* 1998. Opyt primeneniya tsifrovoy registratsii i obrabotki volnovogo signala AK v OAO «Permneftegeofizika» [The experience of using the digital recording and processing of the AL wave signal at OJSC Permneftegeofizika]. *Karotazhnik*. 51:110-114. (in Russian)
- Zaichkin Ye.V., Shumilov A.V., Belov S.V., Tashkinov I.V.* Svidetelstvo ob ofitsialnoy registratsii programmy dlya EVM «Szhatiye polnogo volnovogo paketa akusticheskogo karotazha» (Szhatiye VS) [Certificate of official registration of the computer program “Compression of the full wave packet of acoustic logging” (Compression of WS)] № 2002612073, 11.12.2002. Moskva, ROSPATENT. (in Russian)
- Ivakin B.N., Karus Ye.V., Kuznetsov O.L.* 1978. Akusticheskiy metod issledovaniya skvazhin [Acoustic method for wells research]. Nedra, Moskva, p. 320. (in Russian)
- Kileyko Ye.S., Kozyryatskiy N.G., Korzhenevskiy A.G., Napolskiy V.A., Savich A.D., Shumilov A.V.* 2002. Rukovodyashchiy dokument RD 440-001-01 «Instruktsiya po vyboru kompleksa geofizicheskikh issledovaniy i sredstv dostavki priborov na zaboy v protsesse bureniya i ekspluatatsii gorizontallynykh skvazhin» [Guiding document RD 440-001-01 “Instructions for the selection of a complex of geophysical surveys and means for delivering devices to the face during drilling and operation of horizontal wells”]. TK-440, Tver, pp. 1-15. (in Russian)
- Kozhevnikov D.A.* 1997. Problemy interpretatsii dannykh GIS [Problems of interpretation of well logging data]. *Karotazhnik*. 34:7-27. (in Russian)
- Korovin V.M., Adiyev R.YA., Bulayev V.I., Baryshev V.I., Lesnikov V.V.* 2004. Peredacha dannykh akusticheskogo karotazha po tsifrovym kanalamsvyazi [Transmission of acoustic logging data through digital communication channels]. *Karotazhnik*. 2 (115):59-65 p. (in Russian)
- Laptev V.V., Suleymanov M.A., Semonov Ye.V., Ivanov V.YA., Khamitov R.A.* 2001. Programmno-upravlyayemyy apparaturno-metodicheskiy kompleks AMK-2000 dlya kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya i kachestva tsementirovaniya skvazhin [Software-controlled hardware-methodical complex AMK-2000 for monitoring the technical condition and quality of well cementation]. *Karotazhnik*. 86:79-86. (in Russian)
- Popov S.V., Savich A.D., Shumilov A.V.* 2004. Tekhnologiya predvaritelnogo spuska geofizicheskikh priborov pod glubinnyy nasos – osnova monitoringa razrabotki neftegazovykh mestorozhdeniy [The technology of preliminary descent of geophysical instruments under a deep pump is the basis for monitoring the development of oil-and-gas fields]. In: *Geologiya i poleznyye iskopayemye Zapadnogo Urala*. PGNIU, Perm, pp. 215-219. (in Russian)
- Potapov A.P., Kneller L.Ye.* 2000. Matematicheskoye modelirovaniye i interpretatsiya materialov skvazhinnoy impulsnoy elektromagnitnoy tolshchinometrii [Mathematical modeling and interpretation of borehole pulsed electromagnetic thickness measurement materials]. *Geofizika*. 5:27-30. (in Russian)
- Programmnoye obespecheniye [Software] // OOO «Neftegazgeofizika», 2020. URL: http://www.karotazh.ru/ru/ programs (accessed on 28.05.2020).*
- Pryamov P.A., Bernshteyn D.A.* 1978. Rukovodstvo po primeneniyu akusticheskikh i radiometricheskikh metodov kontrolya kachestva tsementirovaniya neftaykh i gazovykh skvazhin [Guidance on the use of acoustic and radiometric methods for monitoring the quality of cementing of oil-and-gas wells]. VNIINEFTE-PROMGeofizika, Ufa, p. 109. (in Russian)
- Ramazanov A.Sh., Remejev I.S., Gumerov I.R., Yusim Yu.M., Bulgakov R.B.* 1997. Avtomatizirovannaya sistema obrabotki dannykh gidrodinamicheskogo zondirovaniya plastov «GIDROZOND» [Automated data processing system for hydrodynamic sounding of layers "HYDROZOND"]. *Karotazhnik*. 30:74-76. (in Russian)
- Savich A.D., Shumilov A.V., Chernykh I.A., Lagoyda D.V.* 2006. Tekhnologiya neposredstvennogo zamera termodinamicheskikh parametrov raboty skvazhiny [Technology for direct measurement of thermodynamic parameters of a well]. *Neftyanoye khozyaystvo*. 1:72-75. (in Russian)
- Sidorov V.A.* 1996. Magnitoimpulsnaya defektoskopiya i tolshchinometriya kolonn [Magnetopulse defectoscopy and thickness gauge of columns]. *Neftyanoye khozyaystvo*. 10:12-14. (in Russian)
- Khamatdinov R.T.* 1998. Kompyutornyye tekhnologii GIS [Well logging computer technology]. *Karotazhnik*. 47:74-77. (in Russian)
- Chto takoye «Geopoisk»? [What is Geopoisk?]. Geopoisk, 2020. URL: http://www.geopoisk.com/practice.htm (accessed on 28.05.2020) (in Russian)*
- Shumilov A.V.* 2019. Issledovaniye pritoka zhidkosti v skvazhinakh s gorizontalnym okonchaniyem stvola veroyatnostno-statisticheskimi metodami [The study of fluid flow in wells with hor-

izontal end of the trunk by probabilistic-statistical methods]. *Neftyanoye khozyaystvo*. 12:136-139 (in Russian)

Shumilov A.V. 2007. Programmnyy kompleks «Sonata» - novyy uroven razvitiya sovremennogo geofizicheskogo predpriyatiya [The Sonata software package is a new level of development of the modern geophysical enterprise]. *Karotazhnik*. 2(155):67-78. (in Russian)

Shumilov A.V., Belov S.V. 2014. Novyy programmnyy kompleks «Szhatie GIS» [New software complex "Compression of well logging"]. *Karotazhnik*. 11(245):76-89. (in Russian)

Allahar J.A., Krieger K. 2003. Horizontal Production Logging Using Tractor Technology - a First

for Trinidad. SPI 81118, Caribbean Petroleum Engineering Conference. Port-of Spain, Trinidad, West Indies, 27-30 April, 2003.

Kersey A. D., Gysling D. L., Bostick F. X. 1999. Fiber-Optic Systems for Reservoir Monitoring. *World Oil*. October, pp. 91-97.

Tang X.M., Cheng A. 2004. Quantitative Borehole Acoustic Methods. Volume 24, 1st Edition, Pergamon.

Techlog Wellbore Software Platform. Schlumberger, 2020. URL: <https://www.software.slb.com/products/techlog> (accessed on 28.05.2020).

Wippich M., Dessau K. L. 2003. Tunable Lasers and Fiber-Bragg-Grating Sensors. *Industrial Physicist*. June/July, pp. 24-27.