

УДК 658.51:531.746, 550.8.08

И. В. Гринев, А. Б. Королев, В. Н. Ситников
ООО «Нефтегазгеофизика»

СИСТЕМНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ МЕР ПО ПОВЫШЕНИЮ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИМИ ИНКЛИНОМЕТРАМИ

Формализована методика, позволяющая комплексировать многочисленные меры, применяемые при работе с магнитометрическими инклинометрами на этапах подготовки и эксплуатации прибора, а также при обработке зарегистрированных данных. Показано, что разработанный подход является закономерным шагом в развитии теории и практики инклинометрических измерений, используемых при проведении геофизических работ. Данная методика, помимо повышения точности построения оси ствола скважины, нацелена на снижение конечной стоимости проведения инклинометрических работ.

Ключевые слова: система интеграция, магнитный инклинометр, оптимизация, автоматизация.

В настоящее время требования к точности проходки скважин закономерно растут. Одновременно с этим растет число скважин со сложным профилем, включая субгоризонтальные и горизонтальные скважины, навигация в которых сопряжена с рядом дополнительных проблем. Кроме того, укрепляется тенденция к проведению геофизических исследований скважин во время бурения, что повышает требования, в частности, к инклинометрии в процессе бурения.

В связи с возрастающими требованиями в последние десятилетия было накоплено большое количество как аппаратных, так и программных мер, позволяющих выявлять и минимизировать многочисленные погрешности инклинометрических измерений. Данные меры в большинстве случаев рассматриваются по отдельности без учета возможности их совместного использования в рамках одной системы. Кроме того, систематизации и системной интеграции требуют все этапы во время подготовки, эксплуатации и обработки данных инклинометрической аппаратуры. Таким образом, в большой степени открыт остается вопрос комплексирования этапов и мер во время инклинометрических работ для достижения двух целей:

- повышения точности проходки скважин, включая субгоризонтальные скважины;

— снижения издержек, связанных со всеми этапами инклинометрических работ.

Стоит отметить, что для достижения поставленных целей в последние четверть века появился ряд предпосылок, из которых можно выделить:

— значительное увеличение вычислительных мощностей и объемов внутренней памяти как компьютеров, так и микропроцессоров, используемых при изготовлении датчиков;

— появление в сети Интернет ряда полезных для инклинометрии ресурсов, наличие облачных технологий, а также возможности хранения и обмена данными;

— наличие доступных программных и аппаратных средств удаленного управления и контроля.

В связи с этим целью данной работы является формализация методики комплексирования многочисленных мер, применяемых при работе с магнитометрическими инклинометрами на этапах подготовки и эксплуатации прибора, а также при обработке зарегистрированных данных. Стоит заметить, что этапы производства плат, шасси, охранного кожуха инклинометра здесь не рассматриваются.

Основные этапы в работе с инклинометром

Комплекс работ, которые требуют системной интеграции, можно разделить на три практически независимых друг от друга этапа (рис. 1): наладка, эксплуатация и обработка.

Обычно на каждом из трех приведенных этапов задействованы разные специалисты. Данная работа нацелена на облегчение и повышение стабильности их работы в связи с тем, что неудовлетворительные систематизация и автоматизация процессов приводят к более высоким требованиям к специалистам, что, в частности, выражено в большем времени их профессиональной подготовки.

Этап I: наладка датчика и инклинометра в сборке

Цели этапа:

1. Получение датчика с необходимыми значениями погрешностей.
2. Компоновка инклинометра в сборке геофизических приборов.
3. Привязка точки записи инклинометра.

Схема этапа I представлена на рис. 2.

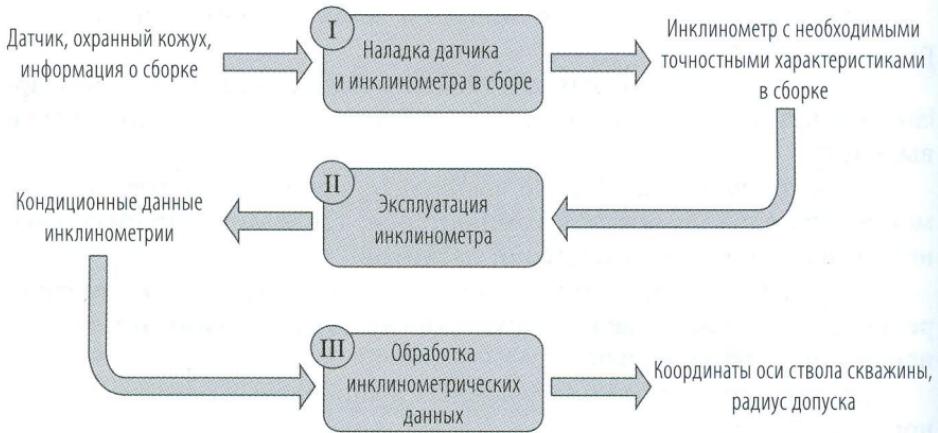


Рис. 1. Этапы работы по получению инклинометрических данных

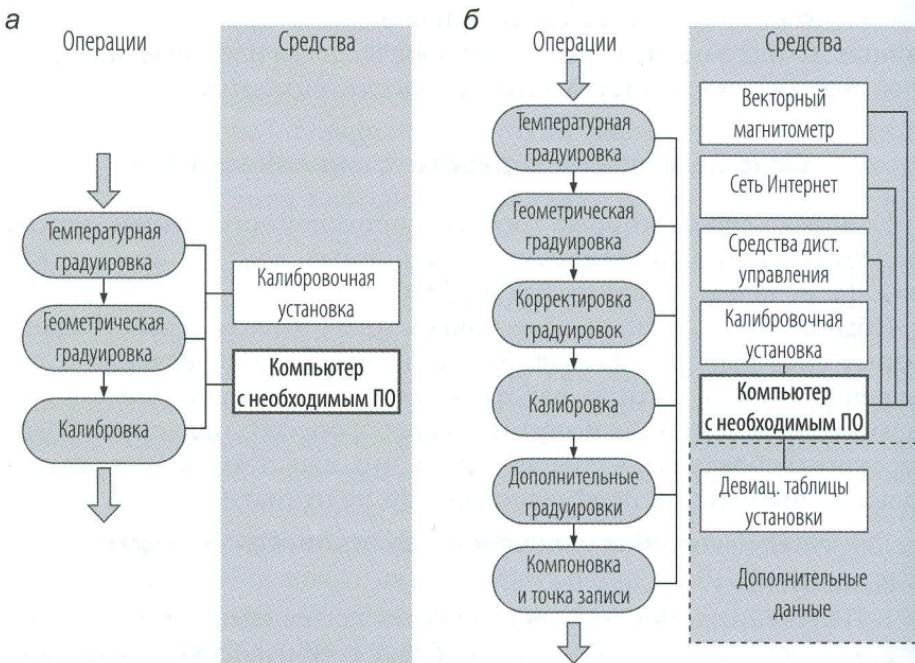


Рис. 2. Схема этапа I (наладка датчика и инклинометра в сборке): а – стандартная; б – расширенная

В сравнении с классической схемой наладки инклинометра (рис. 2, а) подразумевается использование следующих дополнительных средств:

1) векторный магнитометр, установленный в метрологической лаборатории для фиксации изменений геомагнитного поля (ГМП) во время метрологических работ [2]. Использование данного устройства позволяет не только провести корректировку на вариации ГМП, но и повысить стабильность метрологических работ в связи с возможностью их проведения в периоды возбужденной магнитосферы;

2) средства дистанционного управления (удаленный доступ через сеть Wi-Fi, управление программой калибровки при помощи презентера);

3) сеть Интернет для получения необходимых данных, сохранения копии базы данных, а также удаленного доступа к компьютеру в метрологической лаборатории;

4) калибровочная установка с автоматическим заданием положений с отснятыми таблицами девиации лимбов базовых углов.

Порядок операций в рамках расширенного варианта этапа I, а также связь с используемыми средствами представлены на рис. 2, б.

Температурная и геометрические градуировки, а также калибровка датчика являются привычными действиями при наладке инклинометрического датчика. В связи с этим подробно остановимся на других, указанных на схеме операциях.

Корректировка градуировок построена на параллельных с температурной градуировкой измерениях вариаций ГМП с целью их дальнейшего учета в файлах температурной и геометрической градуировок. Данный блок состоит из двух пунктов: 1) корректировка температурной градуировки с учетом вариаций ГМП и диапазонов первичных данных; 2) пересчет геометрической градуировки с учетом корректировки температурных зависимостей.

Дополнительные градуировки – блок из четырех компонент:

1. Градуировочные коэффициенты для модуля ГМП.
2. Градуировочные коэффициенты для наклонения ГМП.
3. Дополнительная таблица корректировок базовых углов.
4. Дополнительная таблица корректировок для субвертикальных положений [3].

Пункты 1 и 2 рассчитываются на основе данных, отснятых во время геометрической градуировки, а 3 и 4 – на основе данных калибровки.

Напомним, что корректировка, вносимая на основе калибровочной таблицы, позволяет повысить точность измерений базовых углов приблизительно в два раза, а индивидуальные градуировочные коэффициенты позволяют измерять модуль и наклонение ГМП приблизительно в три раза точнее в сравнении со стандартным случаем, когда расчет проводится на основе файла базовой градуировки. Более точные значения модуля и наклонения ГМП необходимы, в частности, при расчете влияния поля остаточной намагниченности (ПОН) бурильной колонны и сборки геофизических приборов [4, 5], а также при контроле качества измерений [6].

Компоновка и точка записи – блок, нацеленный на минимизацию погрешностей, связанных с использованием датчика в инклинометре и далее в сборке геофизических приборов. Состоит из трех пунктов:

1. Установка датчика в охранный корпус инклинометра с минимумом установочных погрешностей.

2. Компоновка сборки геофизических приборов с учетом рекомендаций, позволяющих минимизировать погрешности инклинометрии [7].

3. Привязка точки записи не к расположению блоков первичных преобразователей, а к середине жесткой части сборки.

Средства дистанционного управления включают в себя аппаратные средства типа презентер для упрощения градуировочных и калибровочных работ, а также сети Wi-Fi и Интернет.

Данные блоки хорошо поддаются автоматизации и повышают конечную точность, стабильность, а также снижают стоимость проводимых инклинометрических работ. При условии автоматизации работы установки [8], а также наличии удаленных управления и контроля за работой установки, проведение наладочных работ становится практически полностью автоматизированным. Оператор в данном случае требуется только для фиксации датчика в калибровочной установке, извлечения после завершения всех необходимых работ, а также при установке датчика в охранный кожух и в сборку геофизических приборов.

Этап II: эксплуатация инклинометра

Цель этапа: получение кондиционных инклинометрических данных.

Режим эксплуатации инклинометра в сборке на кабеле достаточно подробно описан в руководстве по проведению инклинометрических работ [9]. Аналогичных рекомендаций для эксплуатации автономных приборов, насколько известно авторам, не существует.

Данные регистрируемых инклинометрических измерений передаются по кабелю или записываются в память прибора. Обычно записывается два набора данных: первичные данные и расчетные величины.

Стандартный алгоритм расчета во время эксплуатации подразумевает фиксированный набор формул расчета, один набор градуировочных коэффициентов для расчета базовых углов и дополнительных параметров, а из внешних параметров учитывается только значение температуры. В большинстве случаев никакие алгоритмы к расчетным данным в процессе эксплуатации (рис. 3) не применяются.

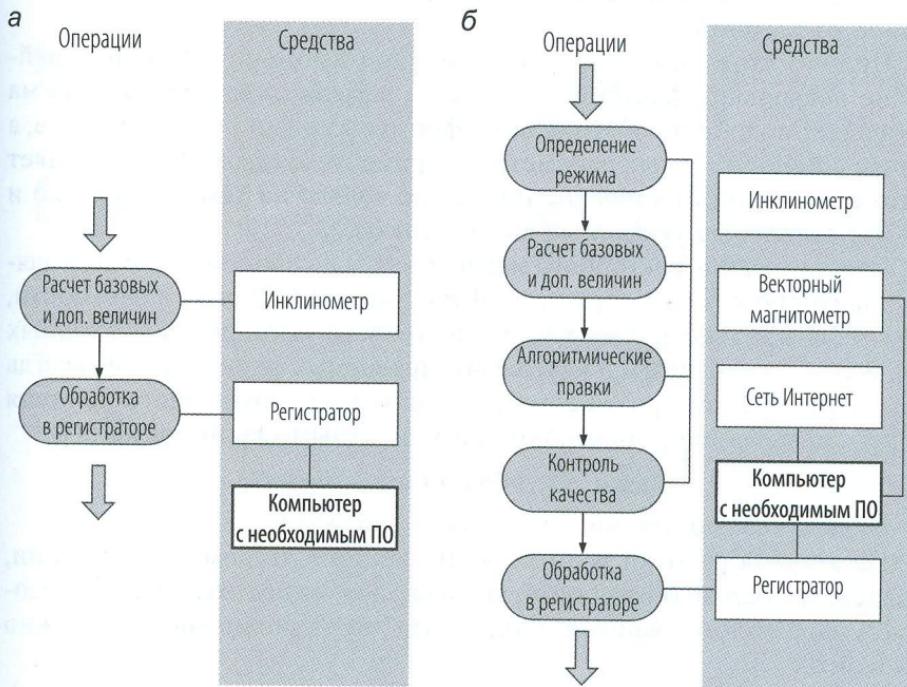


Рис. 3. Схема этапа II (эксплуатация инклинометра): а – стандартная; б – расширенная

Авторы предлагают существенно расширить учет по каждому из указанных пунктов. Градуировочную таблицу следует использовать для расчета базовых углов, а для расчета дополнительных параметров (модуля и наклонения ГМП) использовать свои градуировочные таблицы (см. этап I), которые обеспечивают кратное увеличение точности.

Существенное повышение точности (до 200%) базовых углов в субвертикальных и иных положениях обеспечивают дополнительные корректировки, рассчитываемые на основе построенных калибровочных таблиц (см. этап I).

Предлагается также расширить объем учитываемых параметров до следующего списка:

- температура;
- ориентация в пространстве;
- поле остаточной намагниченности;
- вращение и вибрации;
- зависимость изменения гравитационного и геомагнитного полей

Земли от глубины.

Причем стоит иметь в виду, что возможно одновременное действие нескольких факторов. Их учет в рамках определения режима позволяет подобрать оптимальные формулы расчета базовых углов, а также дополнительных параметров. Кроме того, такой учет позволяет применить алгоритмические правки не только на температуру, но и на все остальные указанные выше пункты.

Использование векторного магнитометра на данном этапе позволяет зафиксировать существенные флуктуации ГМП, что, в частности, может быть учтено при контроле качества зарегистрированных данных [6]. В то же время прямой учет зафиксированных флуктуаций не всегда возможен на всем протяжении скважины из-за возможного наличия пород, обладающих повышенными магнитными свойствами [1].

Этап III: обработка данных

Цель этапа: построение оси ствола скважины.

На этапе обработки данных, в сравнении с этапом эксплуатации, появляется ряд возможностей, которые позволяют комплексно разобрать зарегистрированные данные. Из таких возможностей можно выделить:

1. Анализ данных целиком (по всему исследуемому интервалу), что недоступно на этапе эксплуатации. Такой анализ позволяет с высокой точностью определить невязку, провести анализ ПОН и т. д.

2. Сопоставление с данными других методов (профилеметрия, кавернometрия и т. д.).

3. Сопоставление с данными инклинометрии во время бурения.

Порядок обработки инклинометрических данных обычно не регламентирован, что является существенным недостатком. В данной работе авторы предлагают системную интеграцию мер обработки зарегистрированных данных на этапе их обработки (рис. 4).

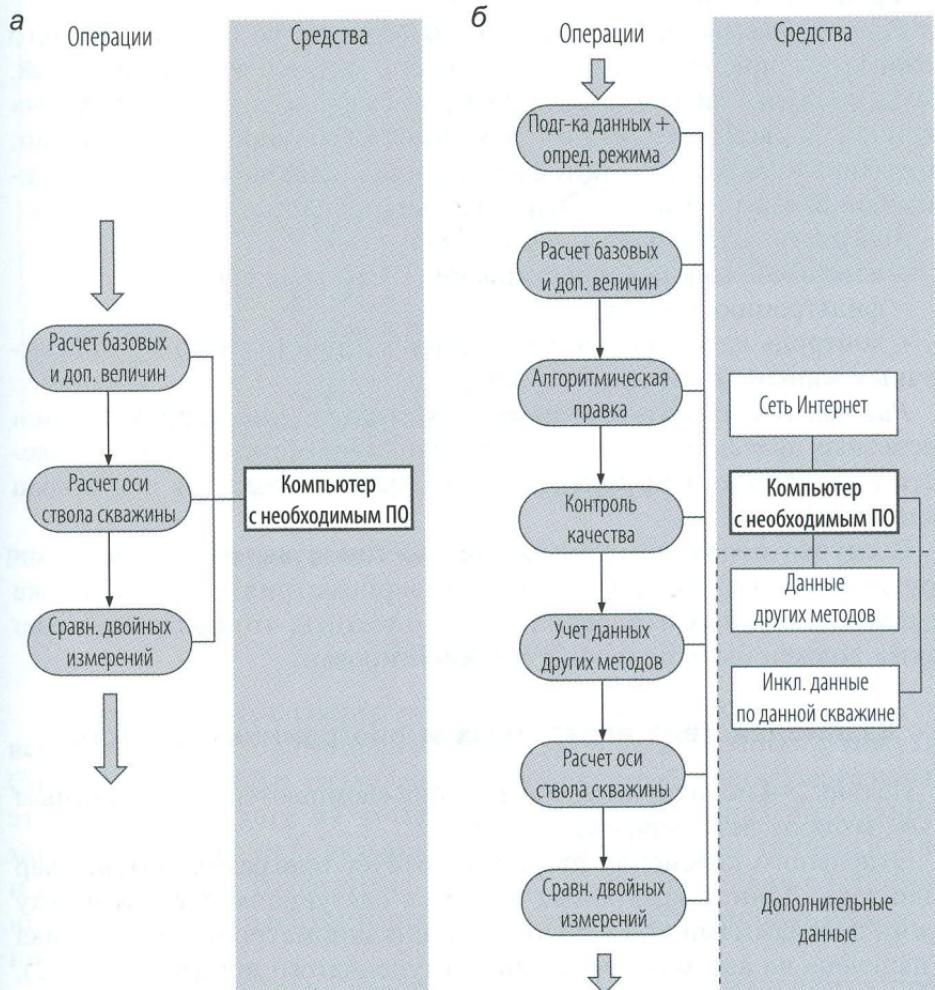


Рис. 4. Схема этапа III (обработка данных): а – стандартная; б – расширенная

Рассмотрим порядок обработки данных.

Подготовка данных:

- устранение единичных выбросов;
- устранение ударных воздействий;
- устранение влияния кондуктора, муфт и иных источников сильных магнитных влияний.

Определение режима, в котором находился инклинометр во время измерений (см. этап II).

Расчет базовых и дополнительных величин: на основе текущего режима выбирается оптимальный набор формул для вычислений. Как и в случае эксплуатации, расчеты базовых и дополнительных величин проводятся при помощи разных градуировочных таблиц. Эти данные также уточняются при помощи дополнительных корректировок базовых углов и субвертикальных положений (см. этап I).

Алгоритмические правки включают:

- алгоритмические корректировки (ПОН, вращение и т. д.);
- фильтрацию данных;
- контроль качества данных инклинометрии (с учетом файла суточных вариаций магнитного поля).

Расчет оси ствола скважины. Методические корректировки расчетных значений оси ствола скважины (применение методов расчета в зависимости от кривизны и ориентации участков оси ствола скважины).

В случае необходимости возможно сопоставление с данными других методов (профилеметрия, кавернометрия и др.), а также сравнение двойных измерений. Стоит отметить, что последний этап также должен быть подробно регламентирован.

Взаимодействие аппаратных и программных средств

На рис. 2–4 используется обозначение «компьютер с необходимым ПО», которое детализировано на рис. 5.

Отдельного пояснения на рис. 5 требует программа «Менеджер наладки». Данная программа является связующим звеном между всеми программами этапа подготовки инклинометрического датчика и нацелена на автоматизацию многоступенчатого процесса (рис. 2), на каждом этапе которого требуется контроль качества проведенных работ.

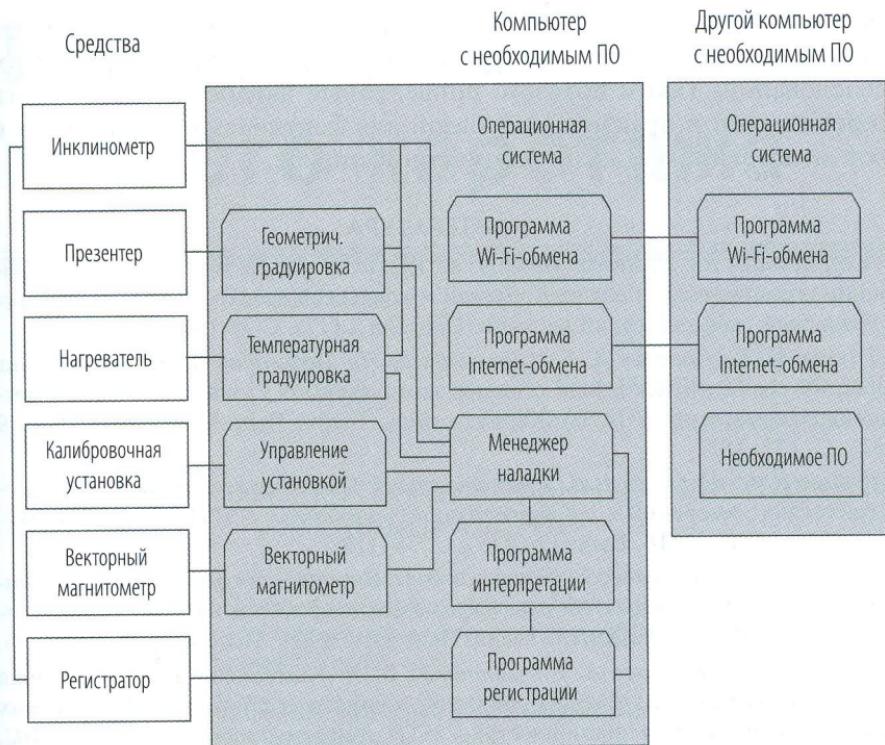


Рис. 5. Взаимодействие аппаратных и программных средств

Заключение

Рассмотрен весь спектр работ, связанных с инклинометром, за исключением работ по производству датчика и охранного кожуха. Совокупность работ разделена на независимые последовательные этапы. Для каждого из этапов проведена системная интеграция многочисленных мер, связанных как с повышением точности, так и со снижением трудозатрат. Помимо этого проведена системная интеграция аппаратных и программных средств, используемых в инклинометрии.

В условиях высоких требований к точности, появившихся программных и аппаратных возможностей, а также многочисленных мер

компенсации погрешностей, данные методические разработки являются закономерным этапом в развитии теории инклинометрических исследований. Таким образом, приведенные наработки могут стать теоретической и практической базой для фактической реализации в производственном и эксплуатационном циклах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астраханцев Ю. Г., Белоглазова Н. А., Глухих И. И., Иголкина Г. В. и др. Вариации геомагнитного поля на Кольской и Уральской сверхглубоких скважинах // Уральский геофизический вестник. 2010. № 2 (17). С. 4–15.
2. Гринев И. В., Королев А. Б., Ситников В. Н., Тихомиров А. Н. Мониторинг вариаций геомагнитного поля с целью комплексного уточнения инклинометрических измерений // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2016. Вып. 9 (267). С. 172–185.
3. Гринев И. В., Королев А. Б., Ситников В. Н. Повышение точности инклинометрических измерений в субвертикальных скважинах // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2016. Вып. 12 (270). С. 98–113.
4. Гринев И. В., Королев А. Б., Ситников В. Н. Влияние остаточной намагниченности бурильной колонны и сборки геофизических приборов на показания инклинометра // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2019. Вып. 4 (298). С. 87–95.
5. Гринев И. В., Королев А. Б., Ситников В. Н. Компенсация влияния поля остаточной намагниченности бурильной колонны и сборки геофизических приборов на показания инклинометра // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2020. Вып. 1 (301). С. 104–111.
6. Гринев И. В., Королев А. Б., Ситников В. Н. Контроль качества инклинометрических измерений. Учет суточных вариаций магнитного поля // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2015. Вып. 12 (258). С. 99–108.
7. Гринев И. В., Королев А. Б., Ситников В. Н. Компоновка сборки геофизических приборов с целью минимизации погрешностей инклинометра // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2021. Вып. 2 (308). С. 89–94.
8. Патент RU 2249689 С2, 10.04.2005. Автоматизированная установка для калибровки инклинометров / З. Г. Гарейшин, В. М. Лобанков, О. К. Полев, Н. А. Пономарев, А. Ф. Морозов, О. Л. Рыжиков. Заявка № 2002124111/28 от 10.09.2002.
9. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах (РД 153-39.0-072-01). Тверь: ГЕРС, 2002. 272 с.

Рецензент доктор техн. наук, проф. Г. В. Миловзоров