

На правах рукописи



ИВАНОВА Галина Алексеевна

**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА
НА БАЗЕ ИНКЛИНОМЕТРА СО СТРУКТУРНОЙ
ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ**

**05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы
(в промышленности и медицине)**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа – 2013

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» на кафедрах теоретических основ электротехники и теоретической механики.

Научные руководители: доктора технических наук, профессора
Заико Александр Иванович,
Терешин Валерий Глебович

Официальные оппоненты: **Миловзоров Георгий Владимирович,**
доктор технических наук, профессор,
Удмуртский государственный университет
(Институт нефти и газа им. М.С. Гущериева),
заведующий кафедрой бурения нефтяных и
газовых скважин;

Емец Сергей Викторович,
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»,
доцент кафедры автоматизации
технологических процессов и производств.

Ведущая организация: НИИ технических систем «Пилот» (г. Уфа).

Защита диссертации состоится «26» декабря 2013 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д-212.288.02 при Уфимском государственном авиационном техническом университете в актовом зале 1-го корпуса по адресу: 450000, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного авиационного технического университета.

Автореферат разослан «22» ноября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, доцент



А. В. Месропян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Развитие наклонно-направленного бурения, строительство горизонтальных скважин, обслуживание старых месторождений стимулируют активную работу в области подземной навигации. К одной из актуальных в современной нефтегазодобывающей промышленности относится проблема контроля пространственного положения ствола скважины. Это обусловлено сложными эксплуатационными условиями: труднодоступностью и большой глубиной (от 2 до 5 км) залегания продуктивных залежей, малой толщиной продуктивных пластов (до 1,5 м), а также повышением требований к точности определения профиля скважин. Решение задачи пространственной ориентации скважины связано с разработкой информационно-измерительных систем (ИИС), позволяющих точно и оперативно получать необходимую информацию и обладающих при этом высокой надежностью.

Для определения параметров скважин используют инклинометрические системы (ИС), перемещающиеся в составе бурового инструмента или опускаемые на кабеле в скважину. В зависимости от используемых в ИС типов датчиков азимута различают магнитометрические (МИ) и гироскопические инклинометры (ГИ).

В настоящее время намечается тенденция к комплексному использованию магнитометрических и гироскопических датчиков в одном измерительном модуле с целью повышения надежности ИИС и исключения необходимости проведения повторного измерения скважины различными типами ИС.

Степень разработанности темы исследования. Методам повышения метрологических характеристик магнитометрических, гироскопических датчиков, а также разработке ИС различных типов посвящены работы Р. И. Алимбекова, Г. Н. Ковшова, Г. Ю. Коловертнова, Ю. Д. Коловертнова,

Г. В. Миловзорова, Н. П. Рогатых, Я. И. Биндера, Steenwyk Donald H. Van, Stewart M. Kohler и др.

Исследования в области разработки ИИС со структурной избыточностью ведутся Ковшовым Г.Н., специалистами НИИ прикладной механики им. акад. В.И. Кузнецова (г. Москва), ЦНИИ «Электроприбор» (г. Санкт – Петербург), ОАО НПФ «Геофизика» и НИИ технических систем «Пилот» (г. Уфа). Однако, в существующих работах не сформулированы единые рекомендации и критерий выбора достоверного измерения на базе гироскопического или магнитометрического модулей.

Цель и задачи работы. Целью диссертационной работы является разработка и исследование ИИС на базе инклинометра со структурной избыточностью, позволяющей повысить надежность и расширить функциональные возможности ИС.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие **задачи**:

1) Аналитический обзор существующих инклинометрических систем и гироскопических датчиков, определение наиболее перспективных направлений дальнейшего развития инклинометрии.

2) Разработка способа определения пространственного положения скважины и реализующей его ИИС на базе инклинометра со структурной избыточностью.

3) Анализ влияния магнитных аномалий и погрешностей гироскопических датчиков на точность разрабатываемой ИИС.

4) Синтез алгоритма выбора оптимального гироскопического датчика для ИИС на основе точностного, эксплуатационного и стоимостного показателей качества.

5) Тестирование алгоритма принятия решения, реализующего способ измерения скважины в виртуальной среде, и обоснование эффективности ИИС со структурной избыточностью. Внедрение результатов работы в разработку ИИС и учебный процесс.

Научная новизна результатов

1) Разработан способ определения пространственных углов искривления скважины и реализующая его модель ИИС на базе инклинометра со структурной избыточностью скважинного модуля, отличающийся использованием в качестве первичных датчиков феррозондов, акселерометров и гироскопов.

2) Синтезирован алгоритм выбора оптимального гироскопического датчика для ИИС, основанный на точностном, эксплуатационном и стоимостном показателях качества. В качестве точностного показателя используются значения допустимых погрешностей гироскопов, полученные в результате оценки влияния погрешностей первичных датчиков на точность ИИС.

3) Разработан алгоритм принятия решения для ИИС со структурной избыточностью, позволяющий делать вывод о достоверности измерений на базе магнитометрического или гироскопического модулей. В качестве критериев выбора достоверного измерения используется информация о наличии магнитных возмущений и сигналы с первичных датчиков.

Практическая ценность. Предложенная в работе ИИС позволяет повысить надежность ИС, проводить измерения в обсаженной и открытой скважинах, наряду с традиционной задачей пространственной ориентации нефтегазовых скважин, проводить поиск рудных полезных ископаемых, использовать ИС при строительстве различных подземных объектов.

Применение первичных датчиков, построенных на различных физических принципах, позволяет сократить время и стоимость измерений, поскольку не нужно проводить спуск и подъем инклинометра для коррекции состава скважинного модуля в связи с эксплуатационными условиями.

Полученные в процессе исследований результаты в виде рекомендаций для проектирования ИИС на базе инклинометра внедрены в НИИ технических систем «Пилот» (г. Уфа), а также используются в учебном процессе на кафедре

«Теоретическая механика» УГАТУ при изучении раздела «Элементарная теория гироскопических явлений» дисциплины «Теоретическая механика».

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач использовались теоретические методы, включающие: общую теорию пространственной ориентации твердых тел с использованием углов Эйлера-Крылова, матричные методы преобразования координат, элементы теории аналитической геометрии, компьютерное моделирование в пакете Matlab, обработку полученных результатов в Microsoft Excel.

Положения, выносимые на защиту

1) Способ определения пространственных углов искривления скважины на основе обобщенной математической модели ИИС со структурной избыточностью.

2) Алгоритм принятия решения о достоверности измерений, основанный на информации о наличии магнитных возмущений и сигналах с первичных датчиков.

3) Результаты тестирования ИИС в виртуальной среде.

Степень достоверности результатов работы подтверждается корректным использованием математического аппарата, известных научных положений, а также результатами компьютерного моделирования.

Апробация результатов работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях и семинарах: Всероссийской молодежной научной конференции «Мавлютовские чтения» (Уфа, 2010, 2012), V Всероссийской зимней школе-семинаре аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы науки и техники» (Уфа, 2011), XIV конференции молодых ученых «Навигация и управление движением» (Санкт-Петербург, 2012), Международной научно-практической конференции «Измерения: состояние, перспективы развития», ЮУрГУ (Челябинск, 2012), Международной научно-практической конференции «Датчики и системы: методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации» (Пенза, 2012), Всероссийской научно-

технической конференции «Информационные технологии в науке и производстве» (Самара, 2013).

По результатам научных исследований опубликовано 18 печатных работ, в том числе 5 статей в изданиях из перечня, рекомендуемого ВАК, 5 статей в сборниках научных трудов, 6 публикаций в трудах конференций, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, получено положительное решение от 02.09.2013 по заявке № 2012128000 на выдачу патента РФ.

Диссертационная работа отражает результаты исследований, выполненных в рамках работы «Геоинформационный магнитометрический комплекс», призера конкурса научных работ молодых ученых и молодежных научных коллективов на соискание грантов Республики Башкортостан 2012 г., а также конкурса на лучшую работу молодых ученых и научных учреждений Республики Башкортостан в 2013 г.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 111 источников и приложений. Содержит 182 страницы машинописного текста, приложения на 23 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель, задачи исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту, отмечается их научная новизна и практическая значимость. Приводятся сведения об апробации работы и публикациях.

В первой главе выполнен обзор и критический анализ современных разработок ИИС для подземной навигации. Сформулированы основные задачи проведения инклинометрии, приведена классификация ИС, конструктивные, метрологические и эксплуатационные требования, определены направления дальнейшего развития, обоснована перспективность использования различных типов современных гироскопов в составе ИИС.

На сегодняшний день большинство работ, посвященных разработкам МИ и ГИ, направлены на улучшение метрологических характеристик, уменьшение

массогабаритных показателей первичных датчиков, повышение точности измерений, снижение стоимости инклинометрии. При этом недостаточно исследовано направление разработки ИИС со структурной избыточностью, способствующее не только решению перечисленных задач, но и расширению областей применения ИС.

Недостаточное внимание уделяется вопросам внедрения новых, современных первичных датчиков с повышенными эксплуатационными характеристиками в скважинный модуль ИС. К перспективным моделям гироскопов, помимо традиционно используемых динамически настраиваемых (ДНГ), следует отнести: волоконно-оптические (ВОГ), волновые твердотельные (ВТГ) и микромеханические гироскопы (ММГ).

Во второй главе приведены структурная схема и обобщенная математическая модель ИИС с использованием углов Эйлера-Крылова, предложен способ определения углов искривления скважины, позволяющий принимать решение о достоверности измерений на основе показаний гироскопического, гравиметрического и магнитометрического модулей.

Структурная схема разрабатываемой ИИС показана на рисунке 1. В состав ИИС входит скважинный модуль и наземное устройство, передача информации между которыми осуществляется по каналу связи. Проекции магнитного поля Земли h_i , ускорения свободного падения g_i и угловой скорости Земли ω_i , измеренные соответственно феррозондами, акселерометрами и гироскопами, передаются в наземное устройство, где происходит вычисление пространственных углов скважины: азимута α , зенита θ и визира φ .

Принципы построения конкретных алгоритмов вычисления параметров α , θ и φ сводятся к выявлению зависимостей ортов $\vec{e}_i$ ($i = 1, 2, 3$) неподвижного базиса R_e , связанного с Землей, от измеряемых физических величин.



Рисунок 1 – Структурная схема ИИС

Выражения для вычисления пространственных и магнитных углов имеют следующий вид:

$$\alpha_{\omega} = \arctg \left[\frac{(D_1 \cdot A_2 - D_2 \cdot A_1) \cdot \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2}}{A_3 \cdot (D_1 \cdot A_1 + D_2 \cdot A_2) - D_3 \cdot (A_1^2 + A_2^2)} \right], \quad \theta = \arctg \left[\frac{1}{A_3} \cdot \sqrt{A_1^2 + A_2^2} \right],$$

$$\alpha_h = \arctg \left[\frac{(T_1 \cdot A_2 - T_2 \cdot A_1) \cdot \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2}}{A_3 \cdot (T_1 \cdot A_1 + T_2 \cdot A_2) - T_3 \cdot (A_1^2 + A_2^2)} \right] + \beta, \quad \varphi = \arctg \left(-\frac{A_2}{A_1} \right), \quad (1)$$

$$\nu = \arcsin \left[\frac{T_1 \cdot A_1 + T_2 \cdot A_2 + T_3 \cdot A_3}{\sqrt{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2} \cdot \sqrt{T_1^2 + T_2^2 + T_3^2}} \right], \quad \beta = \alpha_{\omega} - \alpha_h,$$

$$\varphi_{\text{ш}} = \arcsin \left[- \left(\frac{A_1 D_1 + A_2 D_2 + A_3 D_3}{\sqrt{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2} \cdot \sqrt{D_1^2 + D_2^2 + D_3^2}} \right) \right],$$

где $\alpha_{\omega}, \alpha_h$ – азимут, рассчитанный для комбинаций $(\vec{g}, \vec{\omega})$ и $(\vec{h}, \vec{g})$ соответственно, A_i, D_i, T_i ($i=1,2,3$) – выходные сигналы, поступающие с триады акселерометров, гироскопов и феррозондов, β – угол магнитного склонения, ν – угол магнитного наклона, $\varphi_{\text{ш}}$ – географическая широта местности.

Регистрировать влияние внешних факторов на работоспособность ИИС и делать вывод о достоверности измерений предлагается на базе опорных

значений углов магнитного наклона ν_o и склонения β_o . Эти величины известны заранее, их расчет осуществляется по известным координатам местности. В процессе измерения значения ν и β могут быть также вычислены по показаниям выходных сигналов с соответствующих датчиков. Оценка величины расхождения опорных магнитных углов и рассчитанных $\Delta\nu$ и $\Delta\beta$ позволяет делать вывод о достоверности измерений на базе гироскопического, магнитометрического или обоих модулей. Если значения $\Delta\nu$ и $\Delta\beta$ не превышают допустимые величины, на экран выводятся значения пространственных углов, рассчитанных по формулам (1) на основе информации с магнитометрического и гироскопического блоков. В противном случае на экран выводятся значения на основе сигналов с гироскопического блока.

Рассмотренный способ реализации ИИС эффективен при использовании в составе гироскопического модуля датчиков с малой величиной дрейфа. В противном случае, например, при использовании ММГ, необходима процедура компенсации дрейфа. Для повышения точности измерений на базе ММГ, предлагается осуществлять начальную выставку и оценку начальной погрешности гироскопов в устье скважины с использованием спутниковых навигационных систем (рисунок 2). Коррекция измерений резервного гироскопического модуля по показаниям магнитометрического модуля реализована следующим образом.

Если величина $\Delta\nu$ не превышает допустимое значение, принимается решение об отсутствии магнитных вариаций и работоспособности блока феррозондов (рисунок 2). На экран оператора выводятся значения углов, рассчитанных по показаниям с магнитометрического блока, а величина абсолютной погрешности $\Delta\beta_i$ поступает в запоминающее устройство (ЗУ).

Если величина $\Delta\nu$ превышает критическое значение, принимается решение о достоверности измерений на базе гироскопов. Для компенсации дрейфа от значения α_ω отнимается абсолютная погрешность угла магнитного склонения, записанная на предыдущем цикле измерений $|\Delta\beta_{i-1}|$.

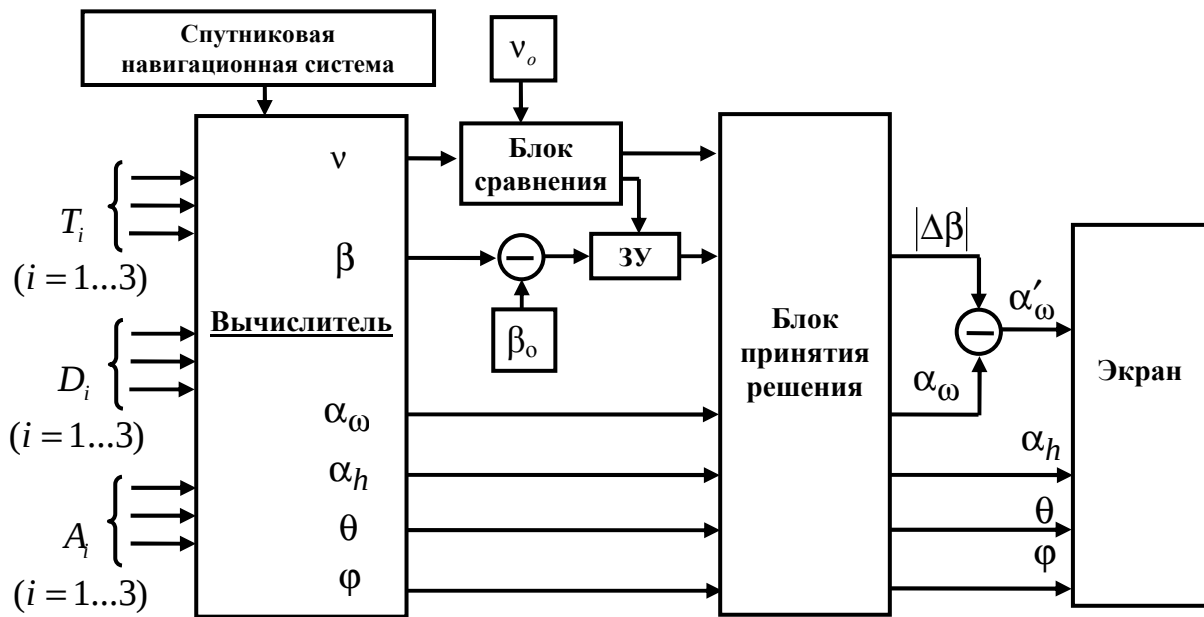


Рисунок 2 – Блок обработки информации ИИС на базе ММГ

В третьей главе приведены результаты анализа влияния магнитных аномалий и погрешности гироскопических датчиков на точность ИИС, получены допустимые пределы флуктуации значений угла магнитного наклона Δv , а также допустимые значения относительной погрешности масштабного коэффициента (МК) и величины случайного дрейфа гироскопов.

Выходной сигнал феррозонда при условии наличия геомагнитных вариаций (ГМВ) Δh , обусловленных наличием обсадных колонн или расположением рудных пород вблизи скважины, имеет вид: $T'_i = T_i + \Delta T = k_T \cdot (h_i + \Delta h) + T_o$. Подставляя в формулы (1) значения выходных сигналов феррозондов при условии отсутствия и наличия ГМВ, в результате получили абсолютную погрешность измерения азимута $\Delta \alpha$. Величина $\Delta \alpha$ согласно технической инструкции по проведению геофизических исследований не должна превышать значение $\pm 2^\circ$. Введенное ограничение позволило оценить допустимые значения ГМВ ($\epsilon_h = \frac{\Delta h}{h} \cdot 100\%$) и Δv . Результаты расчетов для различных месторождений приведены в таблице 1.

На рисунке 3 показаны распределения абсолютных погрешностей азимута $\Delta \alpha$ и угла магнитного наклона Δv во всем диапазоне визирных ϕ и

зенитных углов θ при $\varepsilon_h = 0,85 \%$, $\alpha = 45^\circ$ для месторождения $\varphi_{\text{ш}} = 60,95^\circ$.

Таблица 1 – Допустимые значения ГМВ ε_h и абсолютной погрешности угла магнитного наклонения Δv

Месторождения	Аскино (Республика Башкортостан)	Нижневартовск (Ханты- Мансийский автономный округ)	Ноябрьск и Муравленко	Красно- селькуп	Тазовский	Мессояхские и Новопор- товское месторождения
			Ямало-Ненецкий автономный округ			
Широта, град	56,05	60,95	63,2	65,7	67,45	70
ε_h , %	1	0,85	0,75	0,65	0,6	0,5
Δv , град	<0,586	<0,493	<0,424	<0,367	<0,348	<0,289

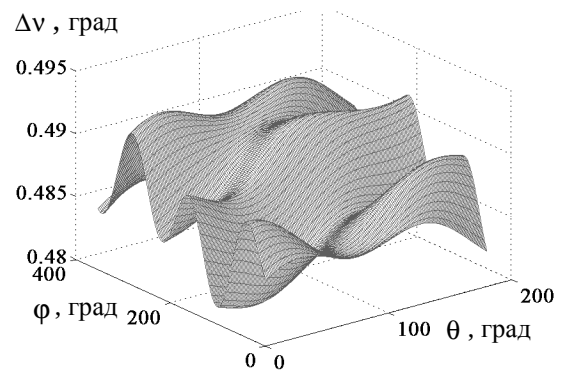
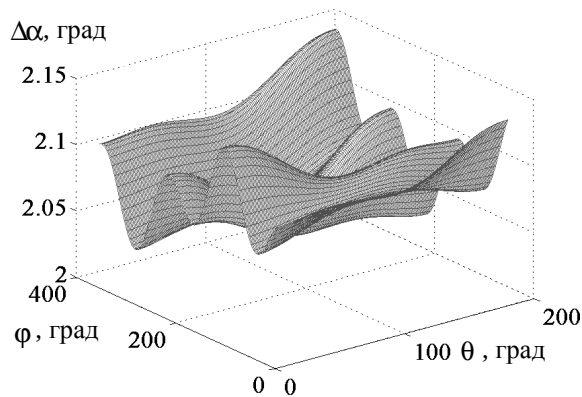


Рисунок 3 – Зависимость $\Delta\alpha$ и Δv от φ и θ при $\varepsilon_h = 0,85 \%$

Оценка влияния погрешностей гироскопов на точность ИИС и введение ограничения на величину $\Delta\alpha$ показали, что в состав измерительного модуля ИИС можно включать гироскопические датчики, величины относительной погрешности МК ε и случайного дрейфа d которых не превышают значения: 4,5 % и 0,3 град/час для широты 57°; 4 % и 0,27 град/час для широты 60°; 3,5 % и 0,25 град/час для широты 63°; 2,5 % и 0,16 град/час для широты 73°.

В четвертой главе предложен подход к выбору гироскопического датчика для ИИС, основанный на точностном, массогабаритном, эксплуатационном и стоимостном показателях.

Исходное множество альтернатив для использования в составе ИИС сформировано из моделей датчиков ВОГ, ДНГ, ВТГ и ММГ. На первом уровне проверяется основное условие по требуемой точности: из рассмотрения исключаются модели, величина дрейфа и относительная погрешность МК которых превышают полученные в главе 3 значения. На втором уровне

происходит деление гироскопов по трем габаритным диапазонам: $D_{in} \leq 40$ мм, $D_{in} \leq 70$ мм, $D_{in} \leq 90$ мм, согласно габаритам существующих ИС. Третий уровень представляет собой сравнение датчиков, по следующим критериям: Парето, интегральный, «стоимость-эффективность». Сравнение проводится по эксплуатационным показателям качества: допустимые удары на прочность, допустимые вибрации и максимальная рабочая температура.

Для получения количественной оценки предпочтения было проведено сравнение согласно интегральному критерию. Упорядочение альтернатив и принятие решения реализовано при помощи взвешенной суммы, весовые коэффициенты которой были рассчитаны согласно методу Фишберна при условии равнозначности показателей качества. При учете стоимостного показателя происходит перераспределение предпочтения выбора гироскопов.

Предложенный алгоритм был применен к исходному множеству из 40 датчиков. Согласно критерию Парето в множество оптимальных альтернатив для ИС с диаметром до 40 мм вошли ДНГ-15, ДНГ-5, с диаметром до 70 мм – FOG52, ДНГ-15, ДНГ-5, ГВК-6, ГВК-18, ВТГ «Медикон», ТВГ-3, ТВГ-4, с диаметром до 90 мм – FOG52, FOG53, ДНГ-15, ДНГ-5, ГВК-6, ГВК-18, ВТГ «Медикон», ТВГ-3, ТВГ-4.

В таблицах 2, 3 представлены датчики, показавшие лучшие результаты для интегрального критерия и критерия «стоимость-эффективность».

Используемый многокритериальный подход показал перспективность дальнейшего использования ВТГ в составе ИС.

Таблица 2 – Результаты сравнения по интегральному критерию

$D_{in} \leq 40$ мм			$D_{in} \leq 70$ мм			$D_{in} \leq 90$ мм		
Модель	Тип	Интегральная оценка	Модель	Тип	Интегральная оценка	Модель	Тип	Интегральная оценка
ДНГ-15	ДНГ	0,278	FOG52	ВОГ	0,129	FOG52	ВОГ	0,113
ДНГ-5	ДНГ	0,256	ВТГ «Медикон»	ВТГ	0,118	FOG53	ВОГ	0,108
КИНД 05-081	ДНГ	0,233	ТВГ-3	ВТГ	0,118	ВТГ «Медикон»	ВТГ	0,105
МГ-4	ДНГ	0,233	ТВГ-4	ВТГ	0,118	ТВГ-3	ВТГ	0,105

Таблица 3 – Результаты сравнения по критерию «стоимость-эффективность»

$D_{in} \leq 40$ мм			$D_{in} \leq 70$ мм			$D_{in} \leq 90$ мм		
Модель	Тип	Экономический показатель	Модель	Тип	Экономический показатель	Модель	Тип	Экономический показатель
ДНГ-15	ДНГ	1,215	ВТГ «Медикон»	ВТГ	1,921	ВТГ «Медикон»	ВТГ	2,243
КИНД 05-081	ДНГ	1,021	ТВГ-3	ВТГ	1,921	ТВГ-3	ВТГ	2,243
ДНГ-5	ДНГ	0,994	ДНГ-15	ДНГ	1,172	ДНГ-15	ДНГ	1,375
МГ-4	ДНГ	0,817	ТВГ-4	ВТГ	1,153	ТВГ-4	ВТГ	1,346

В пятой главе получены условия, позволяющие судить об адекватности измерений на базе гироскопического и магнитометрического модулей, синтезирован алгоритм принятия решения о достоверности измерений и протестирована работа ИИС в виртуальной среде.

При проведении виртуального эксперимента и тестирования ИИС была выявлена необходимость введения дополнительных условий, позволяющих судить о достоверности измерений на базе гироскопических и магнитометрических датчиков. В качестве таких условий предложено использовать отклонения экспериментальных показаний гироскопов ΔD и феррозондов ΔT от опорных значений, абсолютную погрешность широты

$$\Delta \varphi_{\text{ш}} \text{ и условие пересечения интервалов: } \alpha \in \begin{cases} (\alpha_{\omega} - 2; \alpha_{\omega} + 2), \\ (\alpha_h - 2; \alpha_h + 2). \end{cases}$$

Результаты предварительного эксперимента показали, что относительная частота выполнения условий $(\Delta D_i < \Delta T_i)$ и $(\Delta \varphi_{\text{ш}i} < \Delta v_i)$ повышается с ростом ε_h . Таким образом, разработанный алгоритм основан на попарном сравнении величин ΔD и ΔT , $\Delta \varphi_{\text{ш}}$ и Δv , оценке величины Δv , а также проверке наличия или отсутствия пересечения интервалов. Результатом принятия решения являются следующие варианты: $\alpha = \alpha_h$, $\alpha = \alpha_{\omega}$, $\alpha = \frac{\alpha_h + \alpha_{\omega}}{2}$.

Результаты тестирования алгоритма подтвердили эффективность включения первичных датчиков различной физической природы в измерительный модуль ИИС. Так на широте $\Delta \varphi_{\text{ш}} = 56,05^\circ$ точность

восстановления азимута при ГМВ $\varepsilon_h = 1,5\%$ увеличилась в 1,66 раза, а при $\varepsilon_h = 3\%$ в 3,83 раза, на широте $\Delta\varphi_{ш} = 67,45^\circ$ в 2,62 и 6,56 раза соответственно.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1) В результате анализа работ в области ИС было выявлено, что на сегодняшний день недостаточно исследовано направление разработки ИИС со структурной избыточностью, отсутствуют единые рекомендации и критерий выбора достоверного измерения на базе гироскопического или магнитометрического модулей. Недостаточное внимание также уделяется вопросам внедрения современных гироскопических датчиков в скважинный модуль ИС.

2) Разработана схема и способ реализации ИИС, позволяющие расширить функциональные возможности ИС: наряду с традиционной задачей пространственной ориентации нефтегазовых скважин, проводить поиск рудных полезных ископаемых, использовать ИС при строительстве различных подземных объектов.

3) Для анализа влияния ГМВ на точность ИИС предложено использовать величину флуктуации угла магнитного наклона Δv . Значение Δv рассчитывается индивидуально для каждого месторождения. В результате расчетов для высоких широт получены следующие значения: $\Delta v < 0,348^\circ$ и $\Delta v < 0,289^\circ$; для средних широт – $\Delta v < 0,586^\circ$, $\Delta v < 0,493^\circ$, $\Delta v < 0,424^\circ$, $\Delta v < 0,367^\circ$.

Оценка влияния погрешностей гироскопических датчиков на точность ИС показала, что в состав измерительного модуля ИИС можно включать гироскопические датчики относительная погрешность МК и случайный дрейф которых не превышают следующие значения: $\varepsilon_{np} = 4,5\%$ и $d_{np} = 0,3$ град/час для широты 57° ; $\varepsilon_{np} = 4\%$ и $d_{np} = 0,27$ град/час для широты $60,95^\circ$; $\varepsilon_{np} = 3,5\%$ и $d_{np} = 0,25$ град/час для широты $63,2^\circ$; $\varepsilon_{np} = 2,5\%$ и $d_{np} = 0,16$ град/час для широты 73° .

4) Синтезирован алгоритм выбора гироскопических датчиков для ИИС. При реализации процедуры выбора использовались точностные, габаритные, эксплуатационные и стоимостные характеристики. Выявлена перспективность дальнейшего использования ВТГ в составе ИС, обусловленная высокими эксплуатационными показателями датчика, а также тенденцией, направленной на снижение массогабаритных показателей.

5) Разработанный алгоритм принятия решения для ИИС позволяет делать вывод о достоверности измерений по итогам оценки допустимой флуктуации угла магнитного наклона $\Delta\nu$, отклонения экспериментальных показаний гироскопов ΔD и феррозондов ΔT от опорных значений, абсолютной погрешности широты $\Delta\varphi_{ш}$ и условия пересечения интервалов α_{ω} и α_h . Проведенное тестирование в виртуальной среде показало, что предложенная ИИС позволяет повысить точность восстановления азимутального угла в условиях магнитных аномалий и неработоспособности первичных датчиков. Так при ГМВ $\varepsilon_h = 3\%$ точность восстановления азимута увеличилась в 5,19 раза на средних широтах и в 7,68 раза на высоких широтах.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых журналах из списка ВАК:

1. **Иванова, Г. А.** Перспективы использования волоконно-оптических гироскопов в инклинометрической технике / В. Г. Терешин, Г. А. Иванова // Вестник УГАТУ. – 2011. – Т. 15, №1 (41). – С. 148 – 152.

2. **Иванова, Г. А.** К вопросу выбора динамически настраиваемых и волоконно-оптических гироскопов для инклинометрической системы / В. Г. Терешин, Г. А. Иванова // Вестник УГАТУ. – 2012. – Т. 16, №1 (46). – С. 62 – 69.

3. **Иванова, Г. А.** Критерии выбора гироскопических датчиков для инклинометрической системы / В. Г. Терешин, Г. А. Иванова // Нефтегазовое дело. – 2012. – Т. 10, №1. – С. 152 – 158.

4. **Иванова, Г. А.** Интегрированная измерительная система для подземной навигации на базе феррозондов, акселерометров и гироскопов / А. И. Заико, Г. А. Иванова // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2012. – №6. – С. 285 – 292. URL: http://www.ogbus.ru/authors/ZaikoAI/ZaikoAI_1.pdf.

5. **Иванова, Г. А.** Интегрированная измерительная инклинометрическая система / Г. А. Иванова // Вестник УГАТУ. –2013. – Т. 17, №1 (54). – С. 158 – 163.

Авторское свидетельство и патент:

6. Программа выбора оптимального датчика при проектировании навигационной измерительной системы / Г. А. Иванова // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012614212 от 12.05.2012.

7. Способ определения углов искривления скважины / А. И. Заико, Г. А. Иванова // Решение о выдаче патента от 02.09.2013 по заявке № 2012128000.

В других изданиях:

8. **Иванова, Г. А.** Спутниковые навигационные системы: проблемы и области применения / В. Г. Терешин, Г. А. Иванова // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: межвузовский научный сборник. – Уфа: УГАТУ, 2008. – С. 57 – 63.

9. **Иванова, Г. А.** Развитие теории и практики волоконно-оптических гироскопов / В. Г. Терешин, Г. А. Иванова. – Уфа, 2008. – 42 с. – Деп. в ВИНТИ 03.06.08, № 478–В2008.

10. **Иванова, Г.А.** К оценке погрешности волоконно-оптического гироскопа / В. Г. Терешин, Г. А. Иванова // Электроника, автоматика и измерительные системы: межвузовский научный сборник. – Уфа: УГАТУ, 2009. – С. 75 – 77.

11. **Иванова, Г.А.** О влиянии погрешности гироскопического датчика на точность инклинометрической системы / Г. А. Иванова // Мавлютовские чтения: материалы всероссийской молодежной научной конференции. – Уфа: УГАТУ, 2010. Том 2. С. 38 – 40.

12. **Иванова, Г. А.** К вопросу выбора гироскопических датчиков для инклинометрической системы / В. Г. Терешин, Г. А. Иванова. – Уфа, 2010. –18 с. – Деп. в ВИНТИ 28.09.10, № 551–В2010

13. **Иванова, Г. А.** Применение волоконно-оптических гироскопов в системах подземной навигации / Г. А. Иванова // Актуальные проблемы в науке и технике: сборник трудов V-ой Всероссийской зимней школы-семинара аспирантов и молодых ученых. – Уфа: УГАТУ, 2011. Том 4 – С. 115 – 118.

14. **Иванова, Г. А.** О влиянии дрейфа волоконно-оптического гироскопа на точность инклинометрической системы / В. Г. Терешин, Г. А. Иванова // Электроника, автоматика и измерительная техника: межвузовский сборник научных трудов. – Уфа: УГАТУ, 2011. – С. 207 – 211.

15. **Иванова, Г. А.** Инклинометрическая система на базе современных гироскопических датчиков / Г. А. Иванова // Мавлютовские чтения: материалы всероссийской молодежной научной конференции. – Уфа: УГАТУ, 2012. Том 2. – С. 119 – 121.

16. **Иванова, Г. А.** Интегрированная информационно-измерительная система для подземной навигации / А. И. Заико, Г. А. Иванова // Измерения: состояние, перспективы развития: материалы научно-практической конференции. – Челябинск: ЮУрГУ, 2012. – С. 112 – 113.

17. **Иванова, Г. А.** Измерительная инклинометрическая система для подземной навигации / А. И. Заико, Г. А. Иванова // Датчики и системы: методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации: труды научно-практической конференции. – Пенза: ПГУ, 2012. – С. 195 – 199.

18. **Иванова, Г. А.** Интегрированная измерительная инклинометрическая система / А. И. Заико, Г. А. Иванова // Информационные технологии в науке и производстве: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Самара: СамГТУ, 2013. – С. 35 – 39.

Диссертант

Иванова Г.А.

ИВАНОВА Галина Алексеевна

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА
НА БАЗЕ ИНКЛИНОМЕТРА СО СТРУКТУРНОЙ
ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ

05.11.16 – Информационно-измерительные и управляющие системы
(в промышленности и медицине)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 21.11.2013. Формат 60 x 84 1/16
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 1,0. Уч. - изд. л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № 619.

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный
технический университет
Центр оперативной полиграфии
450000, Уфа – центр, ул. К. Маркса, 12